

АЗƏРБАЙҶАН ССР ЕЛМЛƏР АКАДЕМИЈАСЫНЫН

ХƏБƏРЛƏРИ

ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ФИЗИКА-ТЕХНИКА ВƏ РИЈАЗИЈЈАТ ЕЛМЛƏРИ СЕРИЈАСЫ



СЕРИЯ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ И МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК

6

1967

АЗƏРБАЙҶАН ССР ЕА НƏШРИЈЈАТЫ
ИЗДАТЕЛЬСТВО АН АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР
БАКЫ — БАКУ

С. З. ОМАРОВ, М. С. ГАДЖИЕВ, Е. Б. ГУСЕВ

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОЧНОЙ
ПРОЗРАЧНОСТИ В ШЕМАХИНСКОЙ АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ
ОБСЕРВАТОРИИ (гора Пиркули)

Учет атмосферного поглощения обязателен во многих фотометрических, спектральных и других наблюдательных работах. Для характеристики оптических свойств атмосферы в данном месте на каждой обсерватории проводятся специальные наблюдения в целях определения коэффициента прозрачности и выяснения степени постоянства последнего со временем. Особенно это необходимо для Шемахинской астрофизической обсерватории, в которой устанавливаются крупные инструменты. До сего времени в Пиркулях не проводилось исследования прозрачности атмосферы.

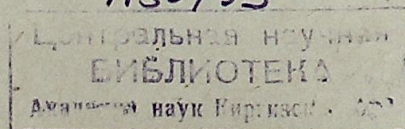
Таблица 1

Дата	Звезда	m	S_p	h (в мерид.)	Дата	Звезда	m	S_p	h (в мерид.)
4.5. I. 65	ϵ Cas	1 ^m .51	B3	68°N	20—21.1.11.65	ξ Tau	3 ^m .75	B6	58°5
	β Aur	2.07	AO	86N		23 Tau	4.26	B6	73
	ξ Tau	3.00	B3	70		d Eri	5.72	B8	41
	δ Ori	2.48	BO	49		O Tau	3.80	C5	58
	α Au	2.23	K2	72		O ² Eri	4.48	KO	41
	μ And	2.28	KO	89N					
5.6. I 65	η Boo	2.80	GO	67.5	22—23.7.65	QC20923	5.15	B7	40
	β Aur	2.07	AO	86N		α BOO	5.26	AO	78.5
	ξ Tau	3.00	B2	70		τ Peg	4.65	A5	72.5
	η Leo	3.58	AO	66		56 Peg	4.98	KO	74
3—4. II	λ Boo	4.26	AO	85N	16—17.8.66	37 Lib	4.83	K1	39
	β Leo	2.23	A4	64		ψ BOO	4.67	K2	76
	$\mu_{1,2}$ Leo	2.61	KO	69		λ Her	4.48	KO	75
	λ Boo	2.26	A1	85° N		β And	2.37	MO	84
						O Her	3.38	AO	77.5
						μ And	3.94	A2	87°

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ: Ч. М. Джуварлы (редактор), Г. А. Абдуллаев (зам. редактора), А. И. Гусейнов (зам. редактора), Г. Н. Агаев, Д. А. Бабаев, Д. Б. Баясанов, М. А. Джавадов, А. Х. Мирзаджанзаде, Г. Ф. Султанов, А. А. Эфендизаде, К. Х. Сафаров (отв. секретарь).

Адрес: г. Баку, Коммунистическая, 10. Редакция „Известий Академии наук Азербайджанской ССР (серия физико-технических и математических наук)“

1750793



В настоящей работе была поставлена задача: определить фактор ослабления в земной атмосфере для ночного времени. Определение ночной прозрачности в ШАО АН Азербайджанской ССР (плато горы Пиркули; $H = 1450$ м, $\lambda = 3^{\circ}14'20''$, $\varphi = 40^{\circ}46'20''$) было проведено фотоэлектрическим способом как наиболее точным. Использовался звездный электрофотометр с фотоумножителем ФЭУ-33 и питающей

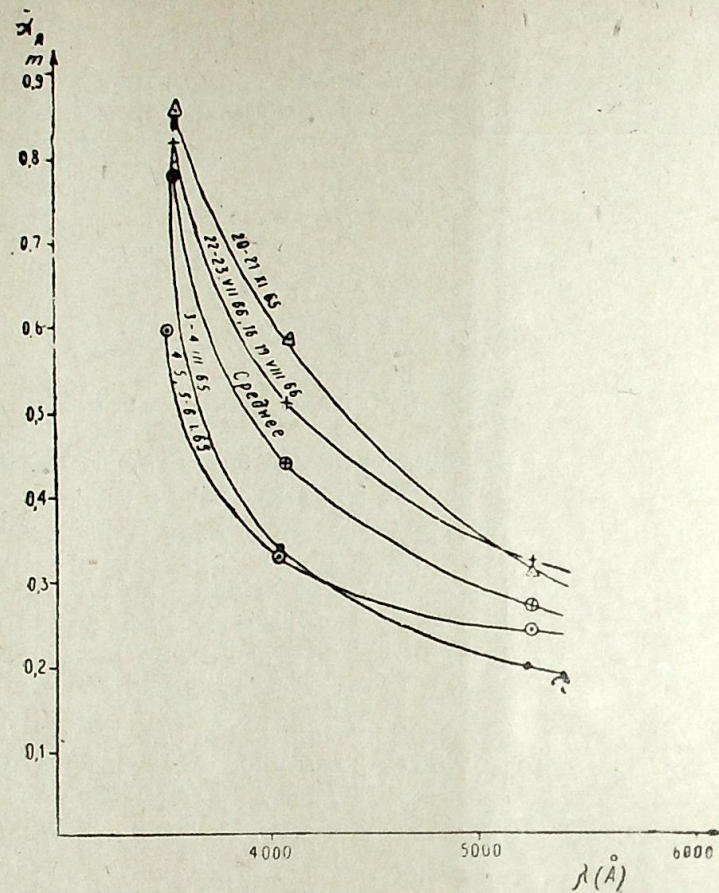


Рис. 1

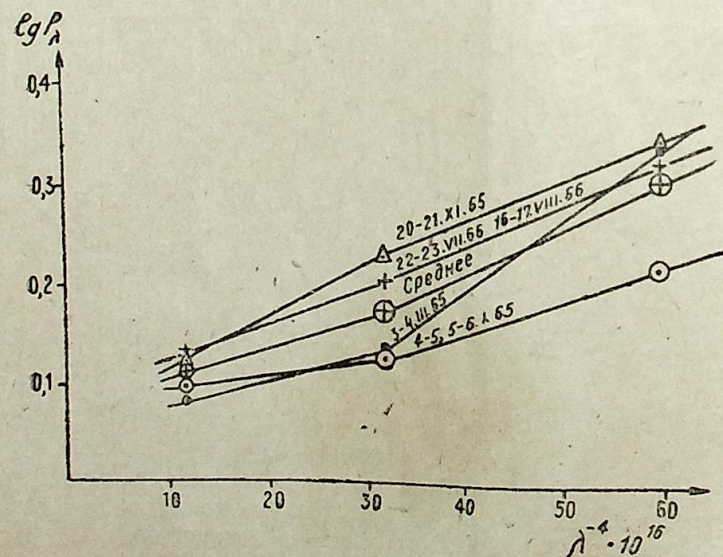


Рис. 2

Таблица 2

Дата	Белые звезды										Красные звезды									
	$\bar{\sigma}_{\text{инт.}}$	$\bar{\rho}_{\text{инт.}}$	$\bar{\alpha}_{\text{м}}$	$\bar{\rho}_{\text{м}}$	$\bar{\alpha}_{\text{с}}$	$\bar{\rho}_{\text{с}}$	$\bar{\alpha}_{\text{ф}}$	$\bar{\rho}_{\text{ф}}$	$\bar{\sigma}_{\text{инт.}}$	$\bar{\rho}_{\text{инт.}}$	$\bar{\alpha}_{\text{м}}$	$\bar{\rho}_{\text{м}}$	$\bar{\alpha}_{\text{с}}$	$\bar{\rho}_{\text{с}}$	$\bar{\alpha}_{\text{ф}}$	$\bar{\rho}_{\text{ф}}$	$\bar{\sigma}_{\text{инт.}}$	$\bar{\rho}_{\text{инт.}}$	$\bar{\alpha}_{\text{м}}$	$\bar{\rho}_{\text{м}}$
4—5. I 65	0.385	0.735	0.256	0.752	0.340	0.731	0.590	0.581	0.303	0.755	0.204	0.802	0.307	0.750	0.452	0.661	—	—	—	—
5—6. I 65	0.298	0.760	0.240	0.802	0.302	0.757	0.580	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3—4. III 65	0.300	0.759	0.240	0.840	0.330	0.721	0.859	0.457	0.270	0.780	0.170	0.855	0.320	0.745	0.810	0.474	—	—	—	—
20—21. XI 65	0.479	0.646	0.342	0.731	0.600	0.575	0.861	0.453	0.384	0.703	0.300	0.759	0.560	0.597	0.830	0.466	—	—	—	—
22—23. VII 66	0.458	0.656	0.359	0.719	0.544	0.607	0.866	0.451	0.369	0.713	0.325	0.741	0.501	0.631	0.820	0.470	—	—	—	—
16—17. VIII 66	0.450	0.661	0.375	0.708	0.500	0.631	0.775	0.490	0.379	0.705	0.250	0.794	0.475	0.646	0.750	0.501	—	—	—	—
Среднее	0.387	0.703	0.302	0.770	0.436	0.666	0.754	0.490	0.340	0.737	0.250	0.796	0.433	0.682	0.732	0.521	—	—	—	—

оптикой 200 мм рефлектора. Наблюдения проводили в интегральном свете и в трех лучах—фильтры желтый ЖС-18, синий СС-5 и ультрафиолетовый УФС-6. Эффективные длины волн для системы фотоумножитель плюс фильтр приблизительно равны 5400, 4200 и 3600 Å.

В течение 1965—1966 годов наблюдения проводились 6 ночей, которые выбирались в интервалы дней с устойчивой хорошей погодой. Звезды выбирали таким образом, чтобы для данной ночи были и восходящие и заходящие звезды, проходящие в разных частях неба. Сведения о программных звездах соответственно датам наблюдений приведены в табл. 1. Звездные величины (система RHP) и спектральные классы (система Маунт—Вильсон) заимствованы из каталога Бечвара [1].

С целью получения среднего коэффициента прозрачности для данной ночи был применен классический метод Бугера, который с меньшей затратой времени позволял выполнить поставленную задачу. В длинные ночи до и после меридиана наблюдались одни и те же звезды, по ним строились двухсторонние линии Бугера. В короткие ночи усреднялись данные по восходящим и заходящим звездам. Удвоение прямых Бугера не наблюдалось (за исключением ночи 20—21. XII 1965 г.).

Результаты обработки полученного материала приведены в табл. 2. Представлены значения средних факторов ослабления света и средних коэффициентов прозрачности в земной атмосфере, усредненных отдельно для белых и красных звезд, наблюдаемых за ночь. Данные приводятся для интегрального света и для каждого фильтра.

На рис. 1 показана зависимость фактора ослабления от длины волны. Нужно отметить, что у нас система эффективных длин волн определена приблизительно, так как при их определении не учитывались спектральные классы наблюдаемых звезд и влияние оптики телескопа. Кроме того, летние и зимние наблюдения проводились через поляроид, так как в эти ночи параллельно велись поляризметрические наблюдения. Спектральное пропускание нашего поляроида исследовано не было, но если исходить из сведений, имеющих в литературе [2], то из-за влияния поляроида эффективная длина волны фильтра УФС-6 плюс фотоумножитель сместится в красную сторону.

На рис. 2 изображена зависимость $\lg \rho_\lambda$ от λ^{-4} .

Анализируя полученный материал, можно сделать следующие заключения:

1. Изменение прозрачности в течение ночи очень мало (за исключением 20—21. II 1965).

2. Рассеяние в атмосфере оказалось близким к релеевскому (рис. 2, $\tau_\lambda = a\lambda^{-4} + C$).

3. Прозрачность на Пиркулях в целом не хуже, чем в обсерваториях, имеющих примерно такие же географические условия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Antonin Bervar, Atlas Coeli II Katalog, 1950.
2. Домбровский В. А. „Астроном. ж.“ т. XXX, вып. 6, 1953.

К. П. МАМЕДОВ, З. И. СУЛЕЙМАНОВ

ТЕРМОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЧИСТОТЫ АМОРФНОГО СЕЛЕНА НА ТЕПЛОТУ ПРЕВРАЩЕНИЯ

Согласно диаграмме состояния селен при комнатной температуре может существовать как в аморфном, так и в различных модификациях кристаллического состояния (по рентгеновским данным имеются α - и β -модификации моноклинной фазы и гексагональная фаза). Однако наиболее устойчивой из всех является гексагональная фаза. Переход из метастабильного аморфного состояния в гексагональную кристаллическую фазу сопровождается выделением тепла. Удельную теплоту этого экзотермического превращения можно определить, в частности, из дифференциально-термографических исследований процесса кристаллизации.

Целью предлагаемой работы является термографическое определение удельной теплоты кристаллизации селена, имеющего различную степень чистоты в аморфном состоянии. Анализ закона Ньютона [1] о теплопередаче в процессе нагрева показывает, что для общего случая в области фазового перехода в образце уравнение будет иметь вид

$$K_{\text{обр}} S = L \int_0^m dx + m \int_0^{\Delta T_{\text{max}}} \Delta C dT + K \int_0^t (T_{\text{п}} - T_{\text{эп}}) dt, \quad (1)$$

где $K_{\text{обр}}$ —коэффициент теплопередачи к образцу через единицу площади; $K = K_{\text{эт}} - K_{\text{обр}}$ —разность коэффициентов теплопередачи к эталону и к образцу; S —площадь под дифференциальной кривой ΔT ; L —удельный тепловой эффект превращения; $\Delta C = C_{\text{обр}} - C_{\text{эт}}$ —разность удельных теплоемкостей; t —время. Из (1) следует, что если теплоемкость эталона очень близка к теплоемкости образца и в процессе превращения теплоемкость образца не меняется (или это изменение, как в случае кристаллизации селена, очень мало), то при полном превращении вещества можно писать

$$Q = L \cdot m = K_{\text{обр}} S - K \int_0^t (T_{\text{п}} - T_{\text{эп}}) dt; \quad (2)$$

Q —количество тепла, выделяемого при полном превращении исходного образца. При равенстве коэффициентов теплопередачи к образцу и эталону уравнение (2) примет вид

$$Q = K_{\text{обр}} \cdot S. \quad (3)$$

Л. Г. Берг, В. Я. Аносов [2] указали, что соотношением (3) можно определить теплоту фазовых превращений путем сопоставления пло-

шадей, соответствующих двум эффектам, имеющим место в образце, если теплота превращения одного из них известна. Для такого определения достаточно оба эффекта записать на одной термограмме и сопоставить соответствующие площади.

В частности, если образец состоит из смеси двух веществ, для одного из которых известна теплота превращения $Q_{из}$, то из соотношения

$$Q_{пр} = \frac{\Delta S_{пр}}{\Delta S_{из}} \cdot Q_{из}$$

можно оценить теплоту превращения неизвестного сопоставлением площадей, записанных на одной термограмме. Однако можно полагать, что в общем случае имеет место изменение теплопроводности в ходе нагрева и фазового перехода, вследствие чего теплопроводность в ходе первого и второго перехода будет различной. Кроме того, точность измерения площади под дифференциальной кривой ΔT , которая обусловлена тепловым эффектом превращения, невысокая. В основном ошибка измерения площади связана с тем, что по термограмме начало и конец процесса трудно точно установить, так как дифференциальная разность ΔT до начала эффекта не равна нулю. Последняя связана с трудностями подбора образца и эталона с равными коэффициентами теплопередачи. Это обстоятельство значительно уменьшает точность полученных результатов методом, приведенным выше. Как было показано [3], ошибки в определении теплоты, выделенной при фазовом переходе, связанной с неточностью измерения площади, можно избежать путем экстраполяции значений ΔT предложенным в работе методом. При этом удастся вычислить теплоту превращения:

$$Q = mc\Delta T_{\max} \quad (4)$$

Это выражение справедливо при теплоизоляции образца, так как в данном случае выделяемое тепло полностью пойдет на нагрев образца.

Ввиду того, что при термографическом анализе не достигается полной теплоизоляции образца и эталона, и сам процесс при данной температуре сравнительно длителен, максимальная разность $\Delta T_{\max} = T_{обр} - T_{эт}$, полученная на каждой термограмме, записанной при данной температуре, будет меньше $\Delta T_{\max}$, входящего в (4). Естественно, $\Delta T_{\max}$ будет меняться в зависимости от скорости хода превращения, которая задается скоростью нагрева образца и эталона. Экспериментальные значения $\Delta T_{\max}$ при каждой температуре определяются достаточно точно, что позволяет найти значение $\Delta T_{\max}$ путем экстраполяции $T \rightarrow \infty$, которая соответствует бесконечно быстрой скорости процесса.

В работе различная скорость нагрева образца и эталона достигалась различием исходной температуры печи, в которую погружали эталон ZnO и образец (аморфный селен) в теплоизолированных, но одинаковых платиновых стаканчиках. Выбор эталона ZnO связан с тем, что его теплопроводность, теплоемкость и температуропроводность близка к тем же характеристикам селена. Этим можно, в частности, объяснить качество термографических записей, одна из которых представлена на рис. 1.

Из термографической записи следует монотонный нагрев образца и эталона до температуры перехода, где ΔT мало отличается от нуля. В данной статье приведены результаты термографических определений теплот превращений — теплот кристаллизации селена высокой чистоты В-5 и технического селена с чистотой 99,992%, где содержание примесей не контролируется. Для этого получены термограммы

от образцов селена указанной чистоты при различных скоростях нагрева $\frac{dT}{d\tau}$, которые заданы исходной температурой печи: 176; 206; 225 и 241°C. При этих скоростях нагрева площадь под кривой ΔT остается почти постоянной (в пределах точности измерения), хотя и имеет место существенное изменение значений $\Delta T'_{\max}$. Изменение максимального отклонения дифференциальной кривой $\Delta T'_{\max}$ в зависимости от скорости нагрева для обоих образцов иллюстрируют данные таблицы.

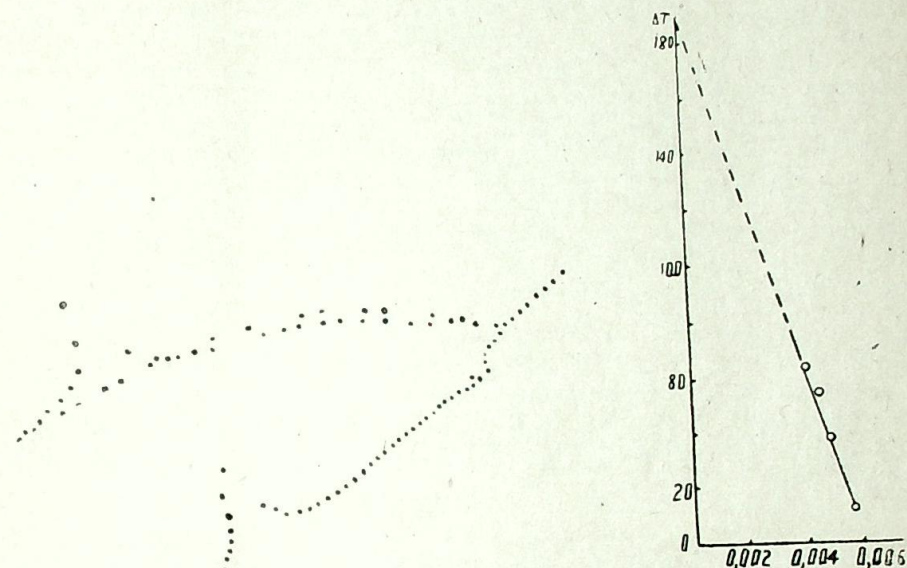


Рис. 1. Термографическая запись, полученная на многоточечном электронном потенциометре ЭПП-09.

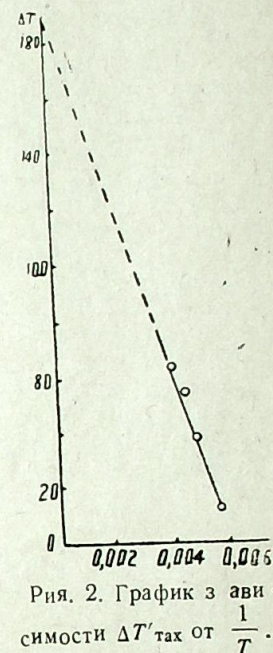


Рис. 2. График зависимости $\Delta T'_{\max}$ от $1/T$.

На основании полученных результатов были построены зависимости $\Delta T'_{\max}$ от $1/T$ для Se В-5 и технического селена, экстраполяцией которых были найдены максимальные значения $\Delta T_{\max}$ для соответствующих образцов (рис. 2).

$T, ^\circ\text{C}$	$\frac{dT}{d\tau}$ град/сек	$\Delta T_{\max}$ (техн. Se)	$\Delta T'_{\max}$ (В-5)	S град·сек. (техн. Se)	S град·сек. (В-5)
241	120/250 = 0,48	59	63	3590	3920
225	100/250 = 0,4	48	54	3400	3900
205	83/250 = 0,33	41,5	38	3510	4070
176	63/250 = 0,25	14	14	3550	4030

Для селена В-5 значение $\Delta T_{\max} = 184^\circ\text{C}$, а для технического селена $\Delta T_{\max} = 177^\circ\text{C}$. Расчеты теплот превращения дали следующие значения: $Q = 15,6$ кал/г для селена В-5, и $Q = 15$ кал/г для технического селена.

Известно, что площадь, заключенная под дифференциальной кривой ΔT , соответствует теплоте превращения Q , и остается постоянной при различных скоростях процесса нагрева данного образца.

Площади, оцененные методом параллельной палетки [4] приведены в таблице, из которой следует, что они действительно почти постоянны для образца данной чистоты. Ошибка в измерении площади ΔS чистого и технического селена составила, соответственно: $\Delta S' = 1,44\%$, $\Delta S'' = 1,64\%$, в то время как их площади существенно отличаются: $\Delta S''' = 12,5\%$, что значительно превосходит точность измерения. Эти результаты показывают, что кристаллизация аморфного селена зависит от чистоты: для селена В-5 и технического селена 99,992% теплота кристаллизации, определенная термографическим методом, равна 15,6 и 15 кал, соответственно. Полученные результаты можно объяснить на основе механизма кристаллизации селена. Фазовый переход с точки зрения термодинамики — переход из метастабильного аморфного в более стабильное кристаллическое состояние, а с точки зрения структуры селена — разрыв длинных цепочек атомов аморфного селена на более короткие цепочки и укладка их в определенную решетку. При этом переходе выделяется тепло. Увеличение теплоты кристаллизации с ростом чистоты аморфного селена, следовательно, может свидетельствовать об уменьшении дефектов в сравнительно длинных цепях селена, тогда как ухудшение чистоты (или увеличение дефектов в аморфном селене) будет увеличивать число сравнительно коротких цепочек, при упаковке которых количество выделяемого тепла должно уменьшаться.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берг Л. Г. Тр. Совещания по термографии, 1961.
2. Берг Л. Г., Аносов В. Я. „ДАН СССР“, 31, 578, (1941).
3. Семеновский Ю. В. „Заводская лаборатория“, 1, 1956.
4. Мамедов К. П., Сулейманов З. И., Зейналов В. З. „Азерб. хим. ж.“, 1965, № 4.

К. П. Мамедов, З. И. Сулейманов

Термографик усулла аморф селенин тэмизлик дэрэчэсинин кристаллашма хүсуси истилижинэ тэ'сиринин тэдгиги

ХҮЛАСЭ

Дифференциал термографик усулла аморф селенин тэмизлик дэрэчэсинин кристаллашма истилижинэ тэ'сири тэдгиги едилмишдир. Тэдгигат тэмизлиги јүксэк олан В-5 (99,99999%) вэ техники селенин (99,992%) үзэриндэ апарылмышдыр.

Нэтичэлэр кэстэрир ки, селенин аморф—кристал кечидинин хүсуси истилижи онун тэмизлик дэрэчэсиндэн асылы олуб, 15,6 вэ 15,0 кал/г-дыр.

М. Я. АГАРУНОВ, С. Н. ГАДЖИЕВ, К. А. КАРАШАРЛИ, Ю. Р. НАГДАЛИЕВА

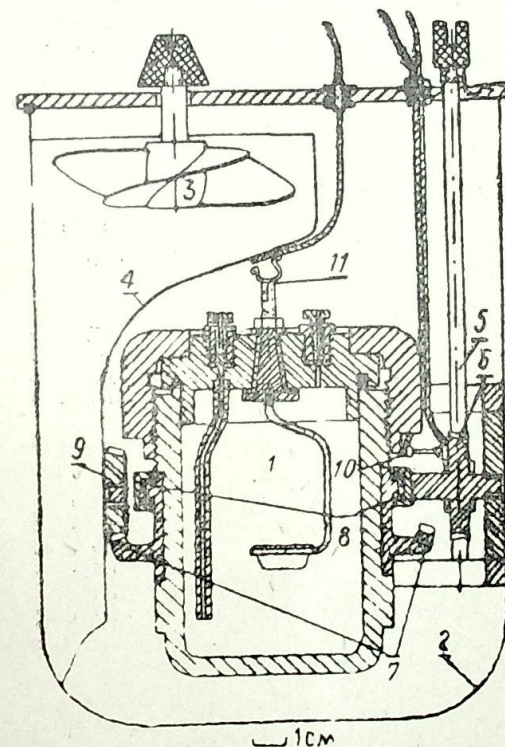
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

II. Калориметр с вращающейся бомбой*

Применение Поповым и Широких [1] движущейся бомбы явилось крупным шагом в калориметрии с бомбой. Но с сожалением следует отметить, что этот метод, который ныне стал незаменимым во многих случаях, а в будущем, как мы думаем, полностью вытеснит калориметрию со стационарной бомбой, нашел пока более широкое развитие и применение за границей [2—4]. В последние годы в Советском Союзе создан [5] калориметр с вращающейся бомбой, который успешно применяется для определения теплот сгорания галогенорганических соединений.

В данной же статье приводится описание собранного нами для определения теплот сгорания кремнийхлорорганических соединений калориметра с вращающейся вокруг двух осей танталовой бомбой. Как известно, такая конструкция является наиболее эффективной по точности результатов.

В сосуд ранее описанного [6] калориметра, изготовленного в



Схематический чертеж калориметрического сосуда с вращающейся бомбой:

1—танталовая бомба; 2—калориметрический стакан; 3—пропеллерная мешалка; 4—ширма; 5, 6—червячная передача механизма вращения бомбы; 7—коническая шестерня на внутреннем обде подшипника; 8—тефлоновая прокладка подшипника; 9—неподвижная шестерня; 10—термистор (для наглядности на рис. расположение перемещено); 11—контакт токоподвода.

* Начало см. в „Изв. АН. Азерб. ССР, серия физ.-техн. и матем. наук“. 1966, № 3, 57.

МАИ по принципу калориметра Купса [7], вставлен съемный механизм, вращающий бомбу. Этот механизм (рис.) построен по конструкции, описанной в [4]. Вращательное движение к бомбе вокруг ее поперечной оси передается от синхронного двигателя (3000 об/мин) через карданное соединение и червячную передачу, уменьшающую число оборотов в 220 раз. Бомба укреплена в подшипнике скольжения (на тефлоне). На внутреннем ободе подшипника установлена коническая шестерня, которая, сцепляясь с неподвижной шестерней, приводит бомбу во вращательное движение и вокруг ее продольной оси со скоростью 4 об/мин. Все трущиеся поверхности механизма обложены тефлоном. Мешалка сосуда и ширма устроены так, что достигается хорошее перемешивание калориметрической жидкости при не очень большом увеличении ее объема (механизм для вращения увеличивает водное число калориметра всего на 4%).

Танталовая бомба калориметра изготовлена по конструкции, описанной в [5], отличие лишь в размерах. Ее внутренний объем 160 мл, масса с накидной гайкой из нержавеющей стали ≈ 3400 г. Внутренняя арматура бомбы также танталовая. Накальная проволока (диаметр 0,25, длина 20 мм) и чашка платиновые. Масса калориметрической системы—стакана с водой, вращающего механизма, заполненной бомбы и т. д.—7730 г (стакана с водой $2600 \pm 0,02$ г). Поддержание температуры в оболочке производилось автоматически, при помощи специального калориметрического ртутного контактного термометра с точностью до $\pm 0,002^\circ$. Температура калориметра измерялась батареями термисторов по ранее описанной [8] методике. Калибровка производилась по бензойной кислоте К-1 из ВНИИМ, теплота сгорания при 25°C 6317,9 кал/г (при взвешивании в пустоте). Калориметрические измерения производились по обычной методике [9—11].

Все величины основаны на атомных весах 1961 г., принято: $0^\circ\text{C} = 273,15^\circ\text{K}$ и $1 \text{ кал} = 4,1840 \text{ Дж}$; $\Delta H_{f, 298}^\circ(\text{HNO}_3) = -14,1 \text{ ккал/мол}$; $\Delta U_c(\text{углерод}) = 7890 \text{ кал/г}$ [10, стр. 57]; $\Delta U_c(\text{инть}) = 4000 \text{ кал/г}$. По-

грешности определений приняты в виде $\nu = 2 \sqrt{\frac{\Sigma \Delta^2}{n(n-1)}}$.

Таблица 1

Результаты опытов по определению теплового значения калориметра

Масса, г		$\Delta T, ^\circ$ (испр.)	δ (поправка на тепло- обмен)	Поправка на несгоревший остаток угля, кал	W, тепловое зна- чение, кал/град
бензойной кис- лоты (в пус- тоте)	нити				
0,60112	0,00240	1,5155	0,0037	1,95	2512,2
0,60251	0,00229	1,5186	0,0026	1,79	2512,0
0,60372	0,00216	1,5220	0,0046	1,56	2511,9
0,60195	0,00239	1,5170	0,0034	1,32	2512,8
0,59988	0,00235	1,5121	0,0033	2,18	2511,6
0,60381	0,00251	1,5229	0,0041	0,93	2511,5
0,60230	0,00214	1,5183	0,0027	0,70	2511,9

В табл. 1 приведены данные калибровки калориметра. Тепловой эффект вращения бомбы учитывается при расчете поправки на теплообмен [4]. Отсюда тепловое значение калориметра $W = 2512,0 \pm 0,3 \text{ кал/град}$. Для проверки работы калориметра была измерена его

константа охлаждения k^* при различных температурах [11]. Результаты измерений представлены в табл. 2.

Таблица 2

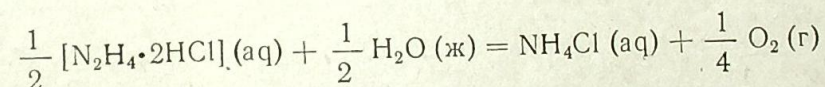
$t_k, ^\circ\text{C}$	Температур- ный ход	№ сравнива- емых изме- рений	k	Отклонение от среднего в %
24,480	0,0046	1—5	0,00111	2,2
25,083	0,0039	1—4	0,00115	1,3
25,642	0,0033	1—3	0,00112	0,5
26,213	0,0026	1—2	0,00116	2,2
26,816	0,0020	средняя величина	0,001135	

Из таблицы видно, что при разных температурах постоянство величины k сохраняется хорошо. Для проверки методики измерения производилось контрольное определение теплоты сгорания *n*-хлорбензойной кислоты. Вещество очищалось путем двукратной перекристаллизации из бензола квалификации ХЧ, дополнительно ректифицированного над металлическим натрием на колонке с эффективностью в 112 ТТ и сублимацией в вакууме при 10^{-2} мм рт. ст., и хранилось в эксикаторе над P_2O_5 . Чистота его по данным анализа—количественного определения хлора, содержащегося в бомбовой жидкости после сжигания образца, путем осаждения в виде AgCl [12]—равнялась 99,9%.

Образцы в виде таблеток сжигались (без вспомогательного вещества) на платиновой чашечке при помощи хлопчатобумажной нити и платиновой проволоки накалывания. Начальное давление кислорода достигало 30 атм.

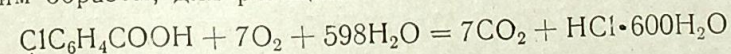
В качестве восстанавливающего вещества использовали гидразин солянокислый, который очищался по методике, указанной в [12]. Чистота $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot 2\text{HCl}$, определенная титрованием 0,1 *n* раствором йода [13], оказалась равной 99,7%. Для каждого опыта брались 7 мл 5%-ного (титрованного) раствора солянокислого гидразина. По окончании калориметрических опытов бомбовая жидкость подвергалась анализу на оставшееся количество солянокислого гидразина [13], а также на количество образовавшихся аммиака [14] и азотной кислоты [14]. Тепловой эффект реакции

$\text{N}_2\text{H}_4 \cdot 2\text{HCl}(\text{aq}) + \text{O}_2(\text{г}) = \text{N}_2(\text{г}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{ж}) + 2\text{HCl}(\text{aq})$
при каждом опыте рассчитывался по данным, взятым из [15], с учетом фактической концентрации HCl в воде. Тепловой эффект реакции



для концентрации NH_4Cl в воде ($\text{NH}_4\text{Cl} \cdot 12000 \text{ H}_2\text{O}$) принят равным 4,46 ккал и постоянным во всех опытах ввиду образования малого количества NH_4Cl . Результаты определений сведены в табл. 3.

Таким образом, для реакции



* $k = \frac{v_n - v_0}{t_n - t_0}$, где v^n и v_0 — температурный ход; t_n и t_0 — средняя температура калориметра.

Масса, г		Теплота, кал				
п. хлор-бен- зойной к-ты в вакууме	нити	$\Delta T, ^\circ$ (испр.)	δ (поправка на теплооб- мен)	общая	превращения $N_2 H_4 \cdot 2 HCl$ с обр.	
					N_2	$NH_4 Cl$
0,80236	0,00234	1,5222	+0,0016	3836,97	73,56	-1,34
0,80089	0,00194	1,5241	+0,0014	3837,72	84,69	-0,78
0,80374	0,00227	1,5248	+0,0096	3843,59	74,82	-1,06
0,80169	0,00218	1,5176	+0,0032	3825,41	63,07	-1,20
0,80325	0,00216	1,5234	+0,0043	3840,03	74,77	-1,25
0,80280	0,00189	1,5181	+0,0017	3826,67	59,71	-0,88

получена величина теплоты сгорания *n*-хлорбензойной кислоты:

$$\Delta U_{с, 293}^{\circ} = -4678,4 \pm 2,4 \text{ кал/г.}$$

Она удовлетворительно согласуется с данными Смита и сотр. [3]:

$$\Delta U_{с, 293}^{\circ} = -4680,8 \pm 2,3 \text{ кал/г.}$$

В заключение выражаем благодарность доцентам В. П. Колесову и К. Э. Зульфугарзаде за помощь, оказанную нам в проведении этой работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Poroff M. M. und Schirokich P. K. Zs. Phys. Chem., A 167, 183 (1933)
2. Hubbard W., Katz C. and Waddington G. J. phys. Chem, 58, 142 (1954)
3. Smith L., Bjellerup L., Krook S. and Westermarck H. Acta Chem Scand., 7, 65 (1953).
4. Good W. D., Scott D. W. and Waddington G. J. Phys. Chem., 60, 1080 (1956).
5. Колесов В. П., Томарева Э. М., Штехер С. М., Скуратов С. М. Третья Всесоюз. конф. по калориметрии, тезисы докладов. Изд-во МГУ, 1966, стр. 76.
6. Гаджиев С. Н. и Шарифов К. А. „Изв. АН Азерб. ССР, серия физ.-техн. и матем. наук“, 1962, № 1, 47.
7. Coops J., Nes R. van, Kentia A., Dienske F. W. Rec. trav. chim, 66, 113, (1947).
8. Шарифов К. А., Гаджиев С. Н., Агарунов М. Я. ЖФХ, 37, 2368- (1963).
9. Попов М. М. Термометрия и калориметрия. М., 1954.
10. Experimental Thermochemistry (ed. F. D. Rossini), Interscience, New York, 1956.
11. Скуратов С. М., Колесов В. П., Воробьев А. Ф. Термохимия, ч. I, М., 1964; ч II, М., 1966.
12. Smith N. K., Scott D. W. and McCullough J. P. J. Phys. Chem., 68, 934 (1964).
13. Одрит Л. и Огг Б. Химия гидразина. ИЛ, М., 1954.
14. Шарло Г. Методы аналитической химии. Изд-во „Химия“, М.—Л., 1965.
15. Selected Values of Chemical Thermodynamic Properties, Natl. Bur. Standards, Circ No. 500, 1952.

Таблица 3

кал				Поправка на разбавлен. до $HCl \cdot 600 H_2O$, кал	$\Delta U_{с, 293}^{\circ}$, кал/г
образования HNO_3	поправка на несгоревший углерод	растворения CO_2 в воде	сгорания образца		
1,9	-0,78	2,2	3755,49	1,36	4682,09
2,2	-1,09	2,0	3744,95	1,69	4678,10
2,1	-1,17	2,3	3756,52	1,28	4675,39
2,1	-1,09	2,1	3750,67	1,28	4680,10
2,0	-1,01	2,2	3753,73	1,33	4674,80
2,1	-0,78	2,1	3755,82	1,26	4679,97

М. Я. Агарунов, С. Н. Гачыјев, К. А. Гарашарлы, Л. Н. Нэгдэлијева

Силисиум үзвн бнрлэшмэлэрн физики-кимјэвн тэдгиги

II. Фырланан бомбалы калориметр

ХҮЛАСЭ

Икн ох этрафында фырланан тантал бомбалы калориметрин тэсвири верилмишдир. Бомбаны фырладан механизм Гуд вэ эмэкдашларынын вердији конструкција эсасында дүзэлдилмишдир.

Хлорбензој туршусунун јанма истилији өлчүлмүш вэ алынган гнј-мэт— $\Delta u_{с, 293}^{\circ} = -4678,4 \pm 2,4 \text{ кал/г}$ Смит вэ эмэкдашларынын алдыгы нэтичэјэ— $\Delta u_{с, 293}^{\circ} = -4680,8 \pm 2,3 \text{ кал/г}$ ујғундур.

Г. Б. АБДУЛЛАЕВ, Н. И. ИБРАГИМОВ, Ш. В. МАМЕДОВ

ИЗУЧЕНИЕ ДОНОРНО-АКЦЕПТОРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В СЕЛЕНЕ МЕТОДОМ ЭПР

В связи с тем, что селен широко применяется в полупроводниковом приборостроении и в ряде случаев незаменим, изучение его физико-химических свойств вызывает все больший интерес. Проблема донорно-акцепторных взаимодействий в селене—одна из важнейших и трудноразрешимых. Разрешение ее во многом способствовало бы более глубокому пониманию многих процессов, происходящих в селене. Вероятно, именно донорно-акцепторные взаимодействия с участием таких сильных доноров, как кислород, йод и т. д., а также таких сильных акцепторов, как щелочные металлы, таллий и другие, вносят известную неоднозначность в физико-химические свойства селена различной модификации, которая наблюдается у различных авторов из-за недостаточного внимания к этим процессам.

До сих пор исследователи обращали внимание в основном на возможные соединения селена с примесями, в то время как наши исследования показывают, что превалирующую роль в качестве активных включений играют не соединения, а донорно-акцепторные взаимодействия с переносом заряда. Особое место среди примесей занимают галоиды, так как при введении их в селен качество приборов улучшается. Что касается кислорода, то на него с технологической точки зрения не обращалось внимания. Применяв метод ЭПР, удалось выяснить, что существенное влияние на физические свойства селена оказывают состояния с переносом заряда, образующиеся при взаимодействии молекулярных O_2 и J_2 с концами селеновых цепей. Измерения производились на радиоспектрометре с двойной модуляцией магнитного поля, рабочая частота была 9304 МГц. В качестве стандартов применялись ДФПГ и Mn^{2+} в ZnS (природный сфалерит).

Из селена 99,99999% чистоты изготавливались образцы двух серий, с различным молярным содержанием кислорода и йода (0,005; 0,01; 0,03; 0,05; 0,1; 0,3; 0,61 мол. % J_2).

Одна группа образцов была изготовлена из аморфного селена, а другая—из предварительно кристаллизованного селена той же партии. Примеси йода вводились в определенной пропорции в протертый порошок селена. Примеси кислорода вводились посредством парциального крана также в порошкообразный образец. Перед введением кислорода ампулы с селеном откачивали до 10^{-5} мм Hg и напускали в них кислород в интервале 10^{-1} – 10^{-5} мм Hg. Во всех образцах без какой-либо термообработки изучалось ЭПР поглощение.

Слабый ЭПР сигнал наблюдался только в образцах с 0,6 и 1 мол. % J_2 , изготовленных из протертого порошка. Затем все образцы подвергали последовательно термообработке при 180, 200, 220, 240, 260, 280, 300, 320, 330, 350, 370, 390, 410, 430, 450, 470, 500, 560, 600 и 700°C в течение двух часов. После каждого этапа термообработки изучалось ЭПР поглощение в температурном интервале—196÷17°C. В зависимости от концентрации примеси возникновение сигнала ЭПР происходит при различных температурах термообработки; при больших концентрациях примеси сигнал возникает при меньших $T_{обр.}$.

В образцах, содержащих как кислород, так и йод, наблюдался почти симметричный сигнал без сверхтонкой структуры, с $g = 2,0035 \pm \pm 0,0005$ и шириной между точками максимального наклона $\Delta H_m = 5,5 \pm 0,5$ э. В интервале—196÷17°C ширина и g резонансной линии не изменялись, наблюдалось увеличение интенсивности сигнала (концентрации парамагнитных центров) в согласии с законом Кюри, которая зависит как от концентрации примеси, так и от режима термообработки. Максимальная концентрация парамагнитных центров была $\sim 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Так, для одной фиксированной концентрации примеси интенсивность сигнала возрастает с ростом температуры термообработки, достигает резко выраженного максимума, а затем уменьшается, вплоть до исчезновения сигнала при определенной температуре.

Необходимо заметить, что при каждой температуре продолжительность обработки составляла два часа. При концентрациях 0,005; 0,01; 0,03; 0,05; 0,1; 0,3; 0,6 и 1% J_2 интенсивность достигает своего максимального значения при температурах термообработки 470, 430, 405, 410, 390, 350 и 230; 350 и 240, 220°C, соответственно. При больших содержаниях йода в общем ходе температурной зависимости интенсивности наблюдаются значительные несоответствия, хотя определенная корреляция сохраняется. Это вызвано тем обстоятельством, что большие процентные содержания примесей йода (0,3; 0,6; 1% J_2) не растворяются в селене, наблюдается выделение отдельной фазы. В этой связи становится непонятным, каким образом некоторым исследователям удавалось вводить свыше 1% J_2 в селен, поэтому в дальнейшем нами не будут приниматься во внимание результаты, полученные на образцах с содержанием J_2 свыше 0,3%.

После достижения максимума интенсивность сигнала достаточно быстро убывает с дальнейшим повышением температуры термообработки. Соответствующие кривые представлены на рис. 1 (а и б). Температура прохождения интенсивности через максимум почти не зависит от модификации предварительно взятого селена, у обеих групп образцов наблюдается одинаковый ход температурной зависимости.

Ранее сообщалось [1], что в селене <99,999% чистоты сигнал не был обнаружен. Более поздние исследования показали, что при проведении соответствующей процедуры термообработки наблюдается ЭПР поглощение и в селене меньшей чистоты. На рис. 1б показана зависимость интенсивности от $T_{обр.}$ для селена 99,996% чистоты (предыстория материала неизвестна).

Зависимость интенсивности J от температуры термообработки $T_{обр.}$ была построена в координатах $\lg \frac{J}{T_{т.с}} - \frac{10^3}{T_{обр.}}$ ($J_{ст.}$ —интенсивность от стандартного образца). Зависимость $\lg \frac{J}{J_{ст.}}$ от $\frac{10^3}{T_{обр.}}$ укла-

дывалась на прямые, причем наклон прямых характеризовал энергию необходимую для образования парамагнитного центра и зависел от концентрации и природы введенной примеси (рис. 2а и 2б).

750493
Центральный научный
библиотека
Академии наук
Азербайджанской ССР

Наиболее вероятным источником сигнала ЭПР в селене является донорно-акцепторный комплекс с переносом заряда (КПЗ). Рассмотрим вопрос о процессе, приводящем к образованию КПЗ. Наличие у системы двух молекул возбужденных состояний, связанных с переносом электрона от одного компонента к другому, впервые предсказано

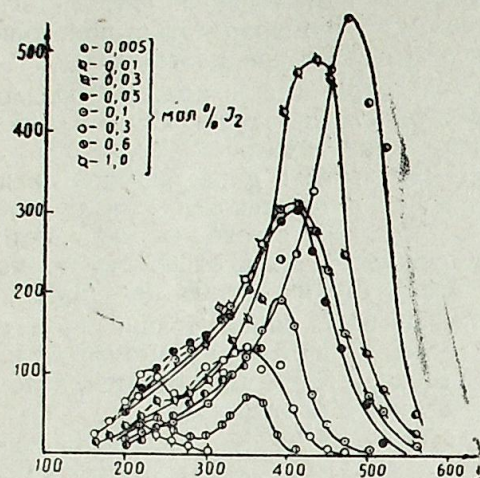
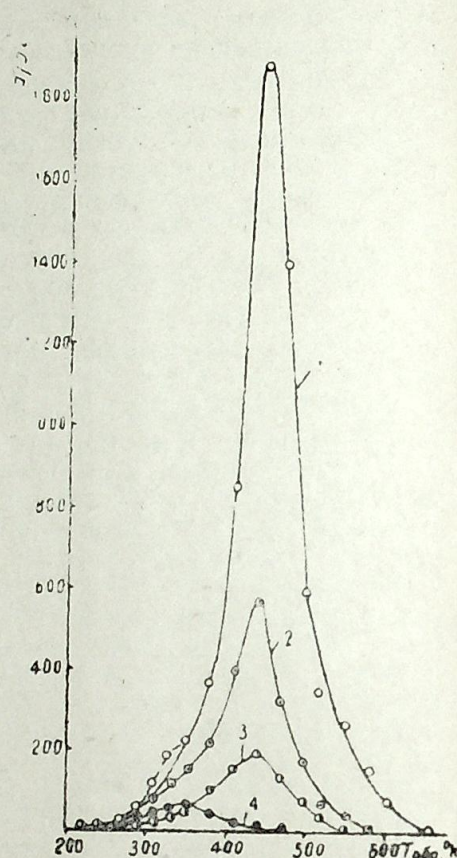


Рис. 1а. Зависимость интенсивности ЭПР сигнала в селене с примесями J_2 от температуры термообработки.

Рис. 1б. Зависимость интенсивности ЭПР сигнала в селене с примесями O_2 от температуры термообработки: 1—селен В-2 измельченный; 2—селен В-2—монокристаллический; 3—селен В-5; 4—селен В-2.



тора, образуют своего рода гомеопольярную связь между компонентами. Последняя обуславливает выигрыш энергии при образовании КПЗ. В зависимости от свойств компонент D и A и среды могут существовать любые промежуточные случаи. Если компоненты D и A диамагнитны, то по мере увеличения делокализации вместе с разделением заряда происходит также сближение синглетного и триплетного уровней пары электронов системы $D-A$, вследствие чего меняются магнитные, электрические и оптические свойства системы.

Представляется следующий механизм образования КПЗ в селене с участием акцепторных молекул O_2 и J_2 .

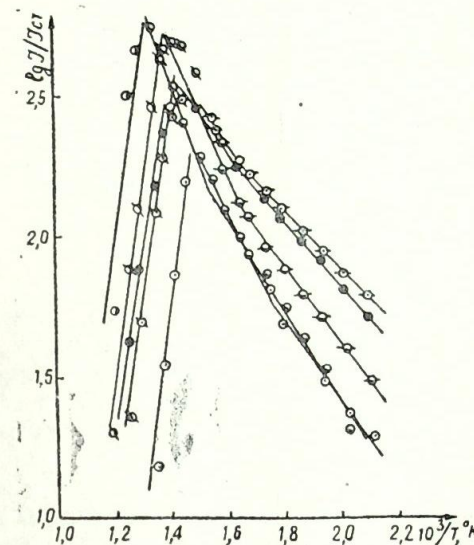


Рис. 2а. Обозначения те же, что и на рис. 1а.

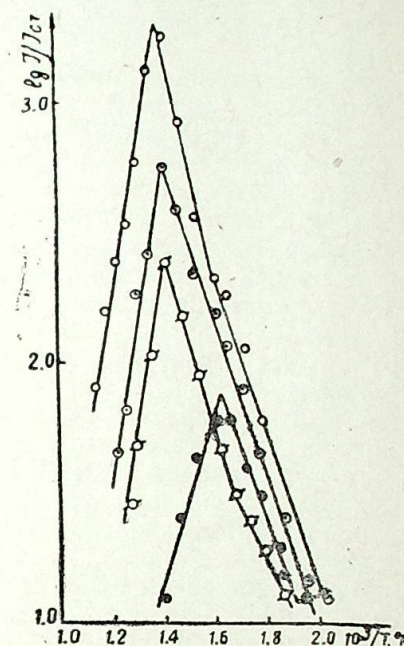


Рис. 2б. Обозначения те же, что и на рис. 1б.

Малликоном [2] и развито Терениным [3]. Для образования комплекса необходимо, чтобы одна молекула (D) обладала донорными свойствами, а другая (A) акцепторными. Условие образования КПЗ состоит в том, что при взаимодействии двух компонент D и A разность между потенциалом ионизации одной и сродством к электрону другой должна быть невелика. При этом происходит перераспределение электронной плотности системы $D-A$, приводящее к появлению отрицательного заряда на акцепторе и положительного на доноре, иными словами происходит переход заряда от донора к акцептору. В результате образуется более или менее устойчивая ассоциация.

В большинстве случаев полной ионизации донора не происходит, так как обычно потенциал ионизации донора больше сродства к электрону акцептора, и образующийся КПЗ можно представить в виде $D^{+\delta} \cdot A^{-\delta}$. Параметр δ характеризует долю перенесенного заряда. Если $\delta \ll 1$, то комплекс очень неустойчив и легко распадается на исходные компоненты. Если взаимодействие очень сильное, то перераспределение электронной плотности может привести к полному переносу электрона с образованием либо ионной пары, либо двух изолированных ионов D^+ и A^- . Оставшийся на молекулярной орбите донора электрон и электрон, некоторое время пребывающий на орбите акцеп-

Как известно, атомы в цепи селена связаны ковалентно (связи насыщены), мецепочечная же связь ван-дер-ваальсовая. На концах цепей селена существуют ненасыщенные связи, обусловленные тем, что два p -электрона концевых атомов не принимают участия в связи (слабая альтернирующая связь с более отдаленной цепью через ближайший атом соседней цепи не принимается во внимание [4]). Эта ситуация, по-видимому, справедлива и для аморфного селена, поскольку механизм образования КПЗ как для аморфного, так и для кристаллического селена одинаков (попытка обнаружить какое-либо изменение в параметрах сигнала переводом селена из аморфной в кристаллическую модификацию не приводила к успеху).

Молекулы акцепторной примеси физически связываются с концами селеновых цепей (под селеновой цепью подразумевается отдельная молекулярная цепь вне зависимости от структуры образца). При последующей термоактивации создаются условия для затягивания электрона конца цепи на молекулярную орбиту акцептора и образуется КПЗ. Этому во многом способствует высокая поляризуемость и, по-видимому, сравнительно низкий потенциал ионизации селеновых цепей, а также положительное сродство к электрону молекул O_2 (0,89 эВ [5]) и J_2 (1,0 или 2,0 эВ, в зависимости от геометрического расположения молекул [6]).

Зависимость интенсивности от температуры обработки указывает на наличие активационного процесса в возникновении КПЗ. Из графиков $\lg \frac{J}{J_{ст.}} - \frac{10^3}{T_{обр}}$ (рис. 2а и 2б) были определены энергии активации образования КПЗ для различных концентраций акцепторов. Из рисунков видно, что в основном имеется два типа КПЗ — с малой (I тип) и с большой энергией образования (II тип). Энергия образования этих двух типов КПЗ зависит от концентрации акцептора. При концентрации 0,03 мол. % J_2 энергии активации КПЗ обоих типов проходят через минимум и равны 0,21 и 0,31 эв, соответственно (рис. 3). I тип КПЗ образуется при сравнительно низких $T_{обр.}$ и является результатом взаимодействия акцепторных молекул с длинными цепями селена. В самом деле, с увеличением длины цепи энергия ионизации должна уменьшаться.

На всех графиках рис. 2а и 2б наблюдается излом в температурном интервале 330—350°C. Эта точка характеризует начало образования КПЗ II типа с участием более коротких цепей селена. При 300—350°C, вероятно, длинные цепи интенсивно распадаются на более короткие, что приводит к увеличению доли более коротких цепей и, следовательно, вероятности образования КПЗ II типа. Разделение КПЗ на два типа в известном смысле является условным, так как из-за большого многообразия цепей различной длины рассмотреть огромное число возможных взаимодействий их с молекулами акцептора трудно, но определенная тенденция к такому разделению все же имеется. Дальнейшее повышение температуры выше 400°C приводит к началу необратимого распада КПЗ обоих типов. Вне зависимости от концентрации акцептора энергии распада КПЗ одинаковы и равны приблизительно 1,2÷1,3 эв. Вероятно, при температурах выше 500°C цепочечная структура селена полностью разрушается и при резком охлаждении становится более выгодным образование замкнутых колец селена, чем молекул с J_2 на конце. Не исключено, что исчезновение сигнала связано с образованием химического соединения селена с J_2 . На такую возможность указывает образование SeO_2 при температурах выше 500°C в случае примесей кислорода.

В ряде работ [7, 8] указывается, что при малых концентрациях йод присутствует в селене в атомарном состоянии и лишь при больших концентрациях происходит „рекомбинация“ атомов в молекулы йода.

Наши опыты показывают, что йод находится в селене в виде J_2 (при $T_{обр.} < 400^\circ C$). Таким образом, можно утверждать, что O_2 и J_2 как активные включения могут существовать до $T_{обр.} < 500^\circ C$, т. е. КПЗ, образованные при температурах ниже предельной, являются достаточно устойчивыми.

Образующиеся с кислородом и йодом локальные парамагнитные центры являются, по существу, примесными по отношению к основной структуре селена. Исходя из этого, можно утверждать, что проводимость обычного селена, подвергнутого термообработке при $T_{обр.} > 500^\circ C$, должна быть существенно большей, чем селена, обработанного при $T_{обр.} > 500^\circ C$. Наши предварительные измерения электро-

проводности подтверждают это предположение. По нашему мнению, при высокотемпературной термообработке происходит разрушение КПЗ и химическое связывание кислорода и йода с селеном (в частности, образуются окислы селена). Так как КПЗ, по-видимому, и являются поставщиками носителей заряда в селене, то, естественно, с распадом КПЗ концентрация носителей должна уменьшаться. В результате этого на 3—4 порядка должна уменьшаться проводимость селена. Роль КПЗ в процессе проводимости селена исследуется.

Все выше изложенное позволяет сделать предположение, что процесс обескислороживания селена, вероятно, и заключается в превращении физически связанного кислорода в химически связанный с последующим выпариванием окислов из основной массы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуллаев Г. Б. и др. „ДАН Азерб. ССР“, 20, 10, 13 (1964).
2. Mulliken R. S. J. Amer. Chem. Soc., 74, 811 (1952).
3. Теренин А. Н. „Усп. хим.“, 24, 121 (1955).
4. Krebs H. Acta Cryst., 9, 95 (1956).
5. Машенко А. Н. и др. ЖТЭХ, 1, 3, 381 (1965).
6. Person C. J. Chem. Phys., 38, 109 (1963).
7. Алиев М. И. „Изв. АН Азерб. ССР серия физ.-техн. и матем. наук“ 5 (1257).
8. Башшалиев А. А. ФТТ, 2, 348 (1959).

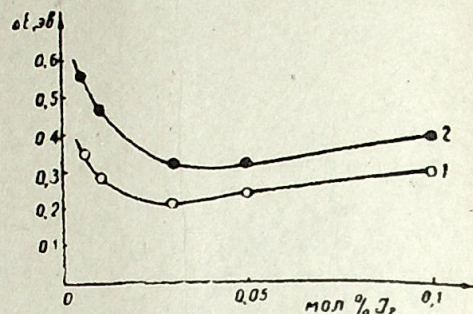


Рис. 3 Зависимость энергии активации КПЗ от концентрации.
 J_2 : 1—КПЗ I типа; 2—КПЗ II типа.

А. К. АБАС-ЗАДЕ, А. А. ГЫЛМАНОВ, С. К. АХУНДОВ, Р. М. ДЖАМАЛОВ

К ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ АЛИФАТИЧЕСКИХ СПИРТОВ

Теплопроводность алифатических спиртов при повышенных температурах неоднократно измерялась разными авторами [1—7]. При пониженных температурах данных по теплопроводности спиртов в литературе не встречается. С целью их получения была собрана установка по методу бикалориметра регулярного теплового режима [8], схема которой представлена на рис. 1.

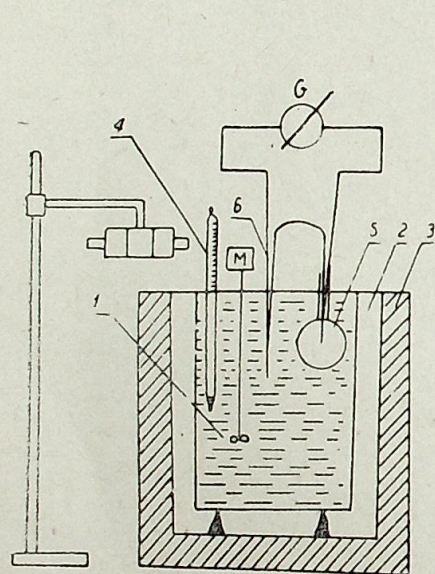


Рис. 1. Схема экспериментальной установки. Обозначения:

1—внутренний объем термостата с термостатирующей жидкостью; 2—объем, заполняемый твердой углекислотой с метиловым спиртом; 3—асбестовый слой; 4—термометр; 5—бикалориметр; 6—термопара.

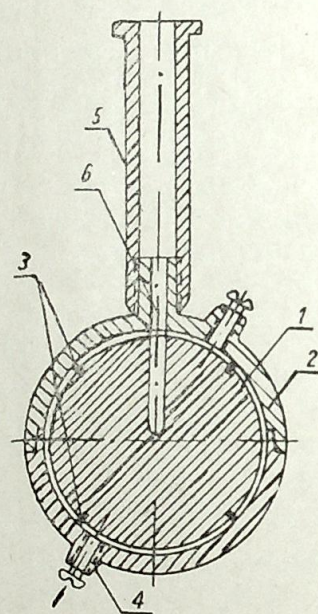


Рис. 2. Разрез шарового бикалориметра:

1—ядро; 2—оболочка; 3—штуцеры; 4—штифт; 5—трубка; 6—отверстие для ввода термодатчика.

В трехсоставном термостате объем 1 заполнялся в качестве термостатирующей среды метиловым спиртом, объем 2—смесью метилового спирта с твердой углекислотой, объем 3—асбестовой крошкой. Температура регулировалась добавлением порций твердой углекислоты. Термостат закрывали текстолитовой крышкой с отверстиями для ввода термометра 4 с делениями 0,1°С, мешалки мотора даю-

щей по 1400 об/мин шарового бикалориметра 5, холодного спая термопары 6. Изменения температуры термостата за время опыта регистрировались через отсчетный микроскоп с точностью до 0,01°С. Время засекалось двухстрелочным секундомером типа 51-СД с точностью до 0,2 сек. Темп регулярного режима бикалориметра регистрировался по шкале зеркального гальванометра типа М-25 чувствительностью 10⁻⁹ а./дел. по термостату проградуированной медь-константановой термопары с диаметром проволочек 0,2 мм. Горячий спай термопары находился в ядре бикалориметра, холодный—в термостатирующей среде. Схема бикалориметра представлена на рис. 2.

Таблица 1

Спирты	Хим. формула	Плотность, кг/м ³		Показатель преломления		Темп. заст., °К
		Табл. 293°К	Найд. 294°К	Табл. 293°К	Найд. 294°К	
Метиловый	CH ₃ OH	791,2	791,0	1,3312	1,3292	175,2
н. Пропиловый	C ₃ H ₇ OH	803,5	805,2	1,3850	1,3846	147
н. Бутиловый	C ₄ H ₉ OH	809,8	811,3	1,3993	1,3989	183
н. Амиловый	C ₅ H ₁₁ OH	814,7	817,9	1,4101	1,4093	195
н. Гексиловый	C ₆ H ₁₃ OH	818,6	820,1	1,4179	1,4141	221,4
н. Гептиловый	C ₇ H ₁₅ OH	821,9	823,8	1,4241	1,4225	238,4

Полированное ядро из красной меди центрировалось в наружной полированной латунной оболочке 2 шестью текстолитовыми штифтами 3. Исследуемая жидкость всасывалась через штуцер 4 в шаровой слой между ядром и оболочкой и выходила в трубку 5, которая крепилась на крышке термостата. Спай термопары вводился в отверстие 6 при помощи двухканальной фарфоровой трубочки диаметром 3 мм и имел хороший тепловой контакт с ядром бикалориметра. Параметры бикалориметра: диаметр медного ядра 50 мм, его вес 586 г, диаметр внутренней латунной оболочки 54 мм, ее толщина 2 мм, толщина жидкостного зазора $\delta \div 2$ мм. Погрешность в измерении размеров 0,01 мм.

Метиловый спирт		н. Пропиловый спирт		н. Бутиловый спирт	
T, °К	$\lambda \cdot 10^4 \frac{вт}{м \cdot град}$	T, °К	$\lambda \cdot 10^4 \frac{вт}{м \cdot град}$	T, °К	$\lambda \cdot 10^4 \frac{вт}{м \cdot град}$
291,1	2109	360,9	1435	448,5	1431
290,2	2100	356,2	1431	294,4	1527
237,2	2172	289,2	1586	289,3	1519
199	2301	257,2	1645	241,2	1669
		232,9	1699	203,4	1758
		228,5	1732		
		200	1803		

Расчетная формула [8] шарового бикалориметра с учетом его параметров в системе СИ приняла вид

$$\lambda = \frac{k \delta m \Phi}{B} = \frac{0,927 \cdot 0,002 \cdot 0,586}{0,94 \cdot 0,00785} c'm = 0,1485 c'm. \quad (1)$$

Здесь коэффициент теплопроводности исследуемой жидкости;

k —отношение диаметров ядра и оболочки, равное 0,927;
 $\Phi = \frac{C'}{S}$ — отношение полной теплоемкости ядра к его поверхности;
 c' —удельная теплоемкость меди, достаточно хорошо изученная [9];
 m —темп регулярного режима, вычислявшийся по формуле [10, 5]:

$$m = \frac{1}{\tau_2 - \tau_1} \cdot \ln \frac{\theta_1}{\theta_2 + \Delta t}$$

Здесь $\tau_2 - \tau_1$ — время опыта; θ_1 и θ_2 — разности температур между ядром и термостатирующей средой, соответствующие началу и концу используемого участка шкалы гальванометра;

Δt — изменение температуры термостата за время опыта. Точность измерения темпа 1%. B — безразмерный параметр [8], вычисляемый по формулам:

$$B \approx \frac{3Ж}{3Ж + k}; Ж = \frac{1 + k + k^2 C'}{3kC}; B \approx 0,94.$$

Здесь C' и C — полные теплоемкости ядра и жидкости в шаровом зазоре, причем при $Ж \geq 2$ нет необходимости в точном знании величин C' и C , так как их изменение весьма слабо влияет на величину параметра B [8]. Для нашего бикалориметра $B = 0,94$.

Спирты, полученные из конторы Химреактивсбыта с наклейкой „чда“ сушили и перегоняли, измеряли их плотность и показатель преломления и сравнивали с табличными [11, 12] (табл. 1).

Бикалориметр прогревали до кипения спирта в нем и взвешивали до и после заполнения для проверки надежности заполнения и отсутствия возможных пузырьков воздуха. Затем в трубку 5 добавляли спирт в количестве, достаточном для того, чтобы во время измерения при пониженных температурах втягивании спирта в шаровой слой из трубки 5 не вошел воздух. Точность единичного измерения согласно формуле (1), равна

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{\Delta k}{k} + \frac{\Delta \delta}{\delta} + \frac{\Delta C'}{C} + \frac{\Delta S}{S} + \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta B}{B} =$$

$$= 0,04\% + 0,04\% + 0,5\% + 0,04\% + 1\% + 0,5\% = 2,12\%.$$

Таблица 2

н. Амиловый спирт		н. Гексиловый спирт		н. Гептиловый спирт	
T, °K	$\lambda \cdot 10^4 \frac{вт}{м \cdot град}$	T, °K	$\lambda \cdot 10^4 \frac{вт}{м \cdot град}$	T, °K	$\lambda \cdot 10^4 \frac{вт}{м \cdot град}$
292,1	1561	369	1414	283,5	1531
249,6	1607	266,2	1456	248,9	1569
248,8	1645	289	1548	247,9	1565
202,4	1674	245,1	1598	246,8	1569
201,7	1691	243,5	1636		
		235,6	1632		

Здесь учтено, что погрешность в измерении диаметров порядка 0,01 мм, а погрешность ввиду теплопотерь через центрирующие текстолитовые штифты, площадь касания которых с оболочкой составляет 10^{-4} от общей площади ядра, ввиду различия их теплопроводности измеряемых жидкостей менее чем в 2 раза, составляет 0,2%. Погрешность на излучение, рассчитанная по известным формулам [9], составляет

0,5%, ввиду чего общая погрешность единичного измерения доходит до 2,82%.

Верхняя температура измерений выбиралась с таким расчетом, чтобы не было опасности возникновения конвекции, и критерий Крауссоляда оставался меньше 1000. Результаты измерений приведены в табл. 2. Сравнение с данными других исследователей дано на рис. 3.

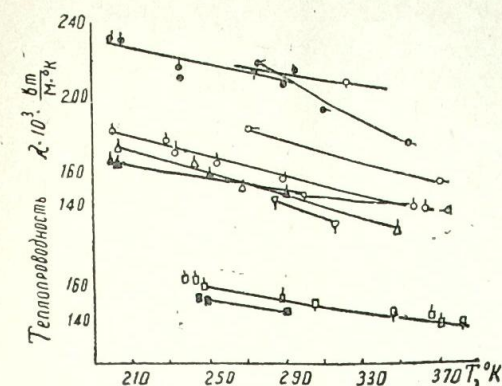


Рис. 3. Температурная зависимость коэффициента теплопроводности спиртов:
 ● — метиловый спирт; ○ — наши данные; ● — по Абас-заде; ● — по Варгафтику; ○ — н-пропиловый спирт; ○ — наши данные; ○ — по Абас-заде; △ — н-бутиловый спирт; △ — наши данные; ▽ — по Мухамедзянову и Усманову; —◁ — по Филиппову; ▲ — н-амиловый спирт; □ — н-гексиловый спирт; □ — наши данные; □ — по Мухамедзянову и Усманову; ■ — н-гептиловый спирт.

лопроводности н. амилового спирта, занижены по сравнению с нашими на 12%, для н. гексилового и н. гептилового спиртов занижены — 6%. В то же время наши данные по н. гексиловому спирту очень хорошо согласуются с результатами работы [6].

На основе экспериментальных измерений теплопроводности и плотности спиртов проверена известная формула теплопроводности жидкостей [1, 14]:

$$\lambda = B \rho^{1/3}. \quad (2)$$

Наши данные подтверждают хорошую выполнимость этой формулы (2%). Это подтверждено было также ранее в работах [1, 2], что свидетельствует о применимости последней формулы к ассоциированным жидкостям, какими являются спирты.

Следуя работе [15], мы установили линейную зависимость молярной теплопроводности жидких алифатических спиртов при комнатной температуре от порядкового номера спирта:

$$\lambda_m = (4,55 + 1,83n) \frac{вт}{М \cdot град}, \quad (3)$$

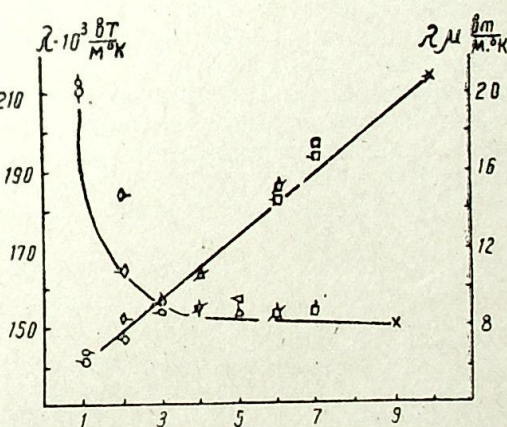


Рис. 4. Зависимость теплопроводности от номера спирта. Обозначения те же, что на рис. 3.

где μ — молекулярная масса спирта. Эта зависимость хорошо подтверждается данными Н. В. Варгафтика, А. К. Абас-баде, В. В. Керженцева, Л. П. Филиппова, А. Г. Усманова и Г. Х. Мухамедзянова (рис. 4).

ЛИТЕРАТУРА

1. Абас-заде А. К. ЖЭТФ, 23, 60, 1952.
2. Абас-заде А. К., Амирасланов А. М. ЖТФ, 31, 1958, № 7.
3. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. ГИФИЛ, 1963.
4. Филиппов Л. П. Вестник МГУ, № 12, 45, 1954; № 2, 43, 1960; № 3, 61 1960.
5. Гылманов А. А. Тр. I республиканской межвузовской научной конференции по физике. Баку, 1964.
6. Мухамедзянов Г. Х., Тарзиманов А. А., Усманов А. Г. „Изв. вузов“, нефть и газ“, 1964, № 1.
7. Мухамедзянов Г. Х., Усманов А. Г. „Изв. вузов нефть и газ“ 1964, № 4.
8. Кондратьев Г. М. Регулярный тепловой режим. ГИТТЛ, 1954.
9. Славинский М. П. Тр. I республиканской межвузовской научной конференции по физике. Баку, 1964.
10. Голубев И. Ф., Назиев Я. М. Тр. ЭНИН им. И. Г. Есьмана АН Азерб. ССР, т. 15, 1961.
11. Варгафтик Н. Б. Теплофизические свойства веществ. ГЭИ, 1956.
12. Краткий справочник химика. Изд-во „Химия“, М.—Л. 1964.
13. Теплотехнический справочник, т. I. М.—Л., 1957.
14. Предводителей А. С. ЖФХ, 22, 339, 1948; Сб. посвященный памяти акад. П. П. Лазарева. Изд. АН СССР, 1956.
15. Шушпанов П. И. ЖЭТФ, 9, 876, 1939; 10, 674, 1940.

А. Г. Абасзаде, А. Э. Гылманов, С. К. Ахундов, Р. М. Чамалов

Алифатик спиртләрин истиликкечирмәсинә даир

ХУЛАСӘ

Мәгаләдә мүнτζәм истилик режиминин күрәви бикалориметр методу илә 6 алифатик спиртин истиликкечирмә әмсалынын 200—370°К температур интервалында өлчүлмәсинин нәтичәләри верилмишдир.

Алынган нәтичәләр мұсбәт температур интервалында мөвчүд олан башга мұәллифләрин нәтичәләри илә мұгајисә едилмишдир. Нәмчинин мәгаләдә алифатик спиртләрин молјар истиликкечирмә әмсалынын сыра нөмрәсиндән асылылығы үчүн алынмыш емпирик ифадә верилмишдир.

Ч. М. ДЖУВАРЛЫ, Г. А. МИРОНОВ

РАСЧЕТ МНОГОЧАСТОТНЫХ РЕЗОНАНСНЫХ КОЛЕБАНИЙ В КВАЗИЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМАХ, ОПИСЫВАЕМЫХ N ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМИ УРАВНЕНИЯМИ ВТОРОГО ПОРЯДКА

В настоящей статье рассматривается применение асимптотических методов Боголюбова—Митропольского для исследования многочастотных резонансных колебаний в квазилинейных системах, описываемых системой дифференциальных уравнений второго порядка.

В дополнение к методам, дающим решение для системы дифференциальных уравнений второго порядка в форме одночастотного колебания [1] и для многочастотных колебаний системы, описываемой дифференциальными уравнениями первого порядка [2], дается построение решения для многочастотных колебаний нижеследующей системы:

$$\frac{d^2}{dt^2} \sum_{i=1}^N a_{ij} q_i + \sum_{i=1}^N b_{ij} \dot{q}_i = \epsilon Q_j(\theta_1, \dots, \theta_M, q_1, \dots, q_N, \dot{q}_1, \dots, \dot{q}_N, \epsilon). \quad (1)$$

$$j = 1, 2, \dots, N.$$

Здесь

$$Q_j(\theta_m) = Q_j(\theta_m + 2\pi); \quad m = 1, 2, \dots, M;$$

ϵ — малый параметр.

К такой системе приводит описание колебательных процессов в электрических цепочных схемах с нелинейными элементами, включаемых на периодическую э. д. с. Причем в некоторых случаях возникает необходимость уже в первом приближении учесть несколько собственных частот или рассмотреть резонансные колебания сложного вида.

Решение системы (1) для случая, когда выполняются условия резонанса для K собственных частот:

$$\sum_{m=1}^M p_m^{(j)} \nu_m + \sum_{k=1}^K q_k^{(j)} \omega_k \approx \omega_j,$$

$$j = 1, 2, \dots, K,$$

где $p_m^{(j)}$, $q_k^{(j)}$ — целые числа,

ν_m — частоты возмущающих сил,

ω_k — частоты собственных колебаний, ищется в виде асимптотического разложения:

$$q_i = u_i^{(0)}(a_1, \dots, a_K, \psi_1, \dots, \psi_K) + \epsilon u_i^{(1)}(a_1, \dots, a_K, \psi_1, \dots, \psi_K, \theta_1, \dots, \theta_M) + \epsilon^2 u_i^{(2)}(a_1, \dots, a_K, \psi_1, \dots, \psi_K, \theta_1, \dots, \theta_M) + \dots \quad (2)$$

Здесь

$$u_i^{(0)} = a_0 \varphi_i^{(0)} + \sum_{k=1}^K a_k \varphi_i^{(k)} \cos \psi_k,$$

$u_i^{(s)}$ ($s = 1, 2, \dots$) — ограниченные функции, периодические по $\psi_k = \omega_k t$ и $\theta_m = \nu_m t$ с периодом 2π ,
 a_k, ψ_k — параметры, удовлетворяющие системе обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{da_k}{dt} &= \varepsilon A_{k,1}(a_1, \dots, a_K, \eta_1, \dots, \eta_K) + \\ &+ \varepsilon^2 A_{k,2}(a_1, \dots, a_K, \eta_1, \dots, \eta_K) + \dots, \\ \frac{d\psi_k}{dt} &= \omega_k + \varepsilon B_{k,1}(a_1, \dots, a_K, \eta_1, \dots, \eta_K) + \\ &+ \varepsilon^2 B_{k,2}(a_1, \dots, a_K, \eta_1, \dots, \eta_K) + \dots, \end{aligned} \quad (1)$$

где

$$\eta_j = \sum_{m=1}^M p_m^{(j)} \theta_m + \sum_{k=1}^K q_k^{(j)} \psi_k - \psi_j$$

$j = 0, 1, 2, \dots, K$

есть разность фаз между собственным колебанием и точной настройкой в резонанс.

Разложение (2) обладает асимптотическими свойствами, приближаясь при $\varepsilon \rightarrow 0$ к решению системы линейных однородных дифференциальных уравнений:

$$\frac{d^2}{dt^2} \sum_{i=1}^N a_{ij} q_i + \sum_{i=1}^N b_{ij} q_i = 0,$$

решением ее является

$$q_i = \sum_k \varphi_i^{(k)} a_k \cos(\omega_k t + \alpha_k).$$

Здесь a_k, α_k — произвольные постоянные,

ω_k — k -ая собственная частота системы ($k = 1, 2, \dots, N$), определяемая из характеристического уравнения

$$D(\omega) = \det \parallel -a_{ij} \omega^2 + b_{ij} \parallel = 0;$$

$\varphi_i^{(k)}$ — собственные формы колебаний с частотой ω_k , являющиеся ненулевым решением системы:

$$\sum_{i=1}^N \{-a_{ij} \omega_k^2 + b_{ij}\} \varphi_i^{(k)} = 0,$$

$$j, k = 1, 2, \dots, N$$

и обладающие свойством ортогональности.

В разложениях (2) и (3), ограничиваясь первым, вторым членами и т. д., получаем решение системы (1) в первом, втором приближениях и т. д. Для определения вида неизвестных функций $u_i^{(s)}$ и коэффициентов разложения $A_{k,1}, A_{k,2}, B_{k,1}, B_{k,2}$ подставляем в систему (1) искомое решение (2), с учетом (3) и вспомогательных выражений:

$$\frac{d^2 a_k}{dt^2} = \varepsilon \sum_{i=1}^K \frac{\partial A_{k,1}}{\partial \eta_i} \left[\omega_i - \left(\sum_{m=1}^M p_m^{(i)} \nu_m + \sum_{k=1}^K q_k^{(i)} \omega_k \right) \right] +$$

$$\begin{aligned} &+ \varepsilon^2 \sum_{i=1}^K \left\{ \frac{\partial A_{k,1}}{\partial a_i} A_{i,1} + \frac{\partial A_{k,1}}{\partial \eta_i} B_{i,1} + \frac{\partial A_{k,2}}{\partial \eta_i} \left[\omega_i - \right. \right. \\ &\left. \left. - \left(\sum_{m=1}^M p_m^{(i)} \nu_m + \sum_{k=1}^K q_k^{(i)} \omega_k \right) \right] \right\} + \varepsilon^3 \dots; \\ &\left(\frac{da_k}{dt} \right)^2 = \varepsilon^2 A_{k,1}^2 + \varepsilon^3 \dots; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{da_k}{dt} \cdot \frac{d\psi_k}{dt} &= \varepsilon A_{k,1} \omega_k + \varepsilon^2 [A_{k,1} \cdot B_{k,1} + A_{k,2} \cdot \omega_k] + \varepsilon^3 \dots; \\ \frac{d^2 \psi_k}{dt^2} &= \varepsilon \sum_{i=1}^K \frac{\partial B_{k,1}}{\partial \eta_i} \left[\omega_i - \left(\sum_{m=1}^M p_m^{(i)} \nu_m + \sum_{k=1}^K q_k^{(i)} \omega_k \right) \right] + \\ &+ \varepsilon^2 \sum_{i=1}^K \left\{ \frac{\partial B_{k,1}}{\partial a_i} A_{i,1} + \frac{\partial B_{k,1}}{\partial \eta_i} B_{i,1} + \frac{\partial B_{k,2}}{\partial \eta_i} \left[\omega_i - \right. \right. \\ &\left. \left. - \left(\sum_{m=1}^M p_m^{(i)} \nu_m + \sum_{k=1}^K q_k^{(i)} \omega_k \right) \right] \right\} + \varepsilon^3 \dots; \\ &\left(\frac{d\psi_k}{dt} \right)^2 = \omega_k^2 + 2\varepsilon \omega_k B_{k,1} + \varepsilon^2 [B_{k,1}^2 + 2B_{k,2} \omega_k] + \varepsilon^3 \dots; \end{aligned}$$

Раскладывая правую часть уравнений (1) по степеням ε и приравнявая коэффициенты при одинаковых степенях ε в левой и правой частях (1), получим:

$$\sum_{i=1}^N \left\{ a_{ij} \sum_{k=1}^K \frac{\partial^2 u_i^{(0)}}{\partial \psi_k^2} \omega_k^2 + b_{ij} u_i^{(0)} \right\} = 0; \quad (4)$$

$j = 1, 2, \dots, N$

$$\begin{aligned} &\sum_{i=1}^N \left\{ a_{ij} \left[\sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^K \frac{\partial^2 u_i^{(1)}}{\partial \psi_k \partial \psi_l} \omega_k \omega_l + 2 \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \frac{\partial^2 u_i^{(1)}}{\partial \theta_m \partial \psi_k} \omega_k \nu_m + \right. \right. \\ &\left. \left. + \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M \frac{\partial^2 u_i^{(1)}}{\partial \theta_m \partial \theta_n} \nu_m \nu_n \right] + b_{ij} u_i^{(1)} \right\} = Q_{j0}^{(1)} - \sum_{i=1}^N a_{ij} \sum_{k=1}^K \left\{ \frac{\partial u_i^{(0)}}{\partial a_k} \times \right. \\ &\times \sum_{i=1}^K \frac{\partial A_{k,1}}{\partial \eta_i} \left[\omega_i - \left(\sum_{m=1}^M p_m^{(i)} \nu_m + \sum_{k=1}^K q_k^{(i)} \omega_k \right) \right] + 2 \sum_{k=1}^K \frac{\partial^2 u_i^{(0)}}{\partial \psi_k^2} \omega_k B_{k,1} + \\ &+ \frac{\partial u_i^{(0)}}{\partial \psi_k} \sum_{i=1}^K \frac{\partial B_{k,1}}{\partial \eta_i} \left[\omega_i - \left(\sum_{m=1}^M p_m^{(i)} \nu_m + \sum_{k=1}^K q_k^{(i)} \omega_k \right) \right] + \\ &\left. + 2 \sum_{k=1}^K \frac{\partial^2 u_i^{(0)}}{\partial a_k \partial \psi_k} \omega_k \cdot A_{k,1} \right\} = G_{j0}^{(1)}; \quad (5) \\ &j = 1, 2, \dots, N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \sum_{i=1}^N \left\{ a_{ij} \left[\sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^K \frac{\partial u_i^{(2)}}{\partial \psi_k \partial \psi_l} \cdot \omega_k \omega_l + 2 \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \frac{\partial^2 u_i^{(2)}}{\partial \theta_m \partial \psi_k} \omega_k \nu_m + \right. \right. \\
& \left. \left. + \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M \frac{\partial^2 u_i^{(2)}}{\partial \theta_m \partial \theta_n} \nu_m \nu_n \right] + b_{ij} u_i^{(2)} \right\} = Q_{j0}^{(2)} - \sum_{i=1}^N a_{ij} \sum_{k=1}^K \left\{ \frac{\partial u_i^{(0)}}{\partial a_k} \times \right. \\
& \times \sum_{i=1}^K \frac{\partial A_{k,2}}{\partial \eta_i} \left[\omega_i - \left(\sum_{m=1}^M p_m^{(i)} \nu_m + \sum_{k=1}^K q_k^{(i)} \omega_k \right) \right] + 2 \sum_{k=1}^K \frac{\partial^2 u_i^{(0)}}{\partial \psi_k^2} \omega_k B_{k,2} + \\
& \left. + \frac{\partial u_i^{(0)}}{\partial \psi_k} \sum_{i=1}^K \frac{\partial B_{k,2}}{\partial \eta_i} \left[\omega_i - \left(\sum_{m=1}^M p_m^{(i)} \nu_m + \sum_{k=1}^K q_k^{(i)} \omega_k \right) \right] + \right. \\
& \left. + 2 \sum_{k=1}^K \frac{\partial u_i^{(0)}}{\partial a_k \partial \psi_k} \omega_k A_{k,2} \right\} + F_j(A_{k,1}, B_{k,1}, u_i^{(1)}) = G_{j0}^{(2)}, \\
& j = 1, 2, \dots, N.
\end{aligned} \quad (6)$$

Здесь

$$Q_{j0}^{(1)} = Q_j(q_1, \dots, q_N, q'_1, \dots, q'_N, \theta_1, \dots, \theta_M) \begin{cases} q'_i = a_0 \varphi_i^{(0)} + \sum_{k=1}^K a_k \varphi_i^{(k)} \cos \psi_k \\ q'_i = - \sum_{k=1}^K a_k \omega_k \varphi_i^{(k)} \sin \psi_k \\ i = 1, 2, \dots, K. \end{cases}$$

Правые части полученных уравнений есть функции, периодические по θ_m и ψ_k , и могут быть разложены в $(M+K)$ -кратные ряды Фурье:

$$G_{j0}^{(l)} = \sum_{p_m, q_k} g_{p_m, q_k}^{(jl)}(a_1, \dots, a_K) e^{i \left[\sum_{m=1}^M p_m \theta_m + \sum_{k=1}^K q_k \psi_k \right]}, \quad l = 1, 2, \dots$$

где

$$g_{p_m, q_k}^{(jl)}(a_1, \dots, a_K) = \frac{1}{(2\pi)^{M+K}} \int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} G_{j0}^{(l)}(a_1, \dots, a_K, \theta_1, \dots, \theta_M, \psi_1, \dots, \psi_K) \times \\
\times e^{-i \left[\sum_{m=1}^M p_m \theta_m + \sum_{k=1}^K q_k \psi_k \right]} d\theta_1 \dots d\theta_M d\psi_1 \dots d\psi_K.$$

Функции $u_i^{(1)}$ также ищем в форме $(M+K)$ -кратных рядов Фурье:

$$u_i^{(1)} = \sum_{p_m, q_k} B_{p_m, q_k}^{(i)}(a_1, \dots, a_K) e^{i \left[\sum_{m=1}^M p_m \theta_m + \sum_{k=1}^K q_k \psi_k \right]}.$$

Приравнявая в (5) коэффициенты при одинаковых гармониках, получим

$$\begin{aligned}
& \sum_{i=1}^N \left\{ -a_{ij} \left[\sum_{k=1}^K q_k \omega_k + \sum_{m=1}^M p_m \nu_m \right]^2 + b_{ij} \right\} B_{p_m, q_k}^{(i)}(a_1, \dots, a_K) = \\
& = g_{p_m, q_k}^{(j1)}(a_1, \dots, a_K), \\
& j = 1, 2, \dots, N.
\end{aligned}$$

Неизвестные $B_{p_m, q_k}^{(i)}$ определяются из [1].

Для искомого $u_i^{(1)}$ в окончательной форме можно записать:

$$\begin{aligned}
u_i^{(1)}(a_1, \dots, a_K, \theta_1, \dots, \theta_M, \psi_1, \dots, \psi_K) = \\
= \sum_{p_m, q_k} \sum_{k=1}^N \varphi_i^{(k)} \frac{\sum_{i=1}^N g_{p_m, q_k}^{(j1)} \varphi_i^{(k)} e^{i \left[\sum_{m=1}^M p_m \theta_m + \sum_{k=1}^K q_k \psi_k \right]}}{m_k \left\{ \omega_k^2 - \left[\sum_{m=1}^M p_m \nu_m + \sum_{k=1}^K q_k \omega_k \right]^2 \right\}} \\
i = 1, 2, \dots, N, \\
m_k = \sum_{i,j=1}^N a_{ij} \varphi_i^{(k)} \varphi_j^{(k)},
\end{aligned}$$

что справедливо для всех значений

$$\omega_k^2 \neq \left[\sum_{m=1}^M p_m \nu_m + \sum_{k=1}^K q_k \omega_k \right]^2.$$

В случае выполнения этого условия, т. е. при появлении резонанса,

$$\pm \omega_k = \sum_{m=1}^M p_m \nu_m + \sum_{k=1}^K q_k \omega_k;$$

$u_i^{(1)}$ будут ограниченными, если

$$\sum_{i=1}^N g_{p_m, q_k}^{(j1)} \varphi_i^{(k)} e^{i \left[\sum_{m=1}^M p_m \theta_m + \sum_{k=1}^K q_k \psi_k \right]} = \sum_{i=1}^N G_{j0}^{(1)} \varphi_i^{(k)} = 0. \quad (7)$$

Приравнявая в (7) коэффициенты при одинаковых гармониках, получим

$$\begin{aligned}
& \sum_{i,j=1}^N a_{ij} \varphi_i^{(k)} \varphi_j^{(k)} \left\{ \sum_{i=1}^K \frac{\partial A_{k,1}}{\partial \eta_i} \left[\omega_i - \left(\sum_{m=1}^M p_m^{(i)} \nu_m + \sum_{k=1}^K q_k^{(i)} \omega_k \right) \right] - \right. \\
& \left. - 2 a_k \omega_k B_{k,1} \right\} = \frac{2}{(2\pi)^{M+K}} \sum_{p_m, q_k} e^{i \left[\sum_{m=1}^M p_m \theta_m + \sum_{k=1}^K q_k \psi_k \pm \psi_k \right]} \times \\
& \times \int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} \sum_{j=1}^N Q_{j0}^{(1)}(a_1, \dots, a_K, \theta_1, \dots, \theta_M, \psi_1, \dots, \psi_K) \psi_j^{(k)} \times \\
& \times e^{-i \left[\sum_{m=1}^M p_m \theta_m + \sum_{k=1}^K q_k \psi_k \pm \psi_k \right]} \cos \psi_k d\theta_1 \dots d\theta_M d\psi_1 \dots d\psi_K; \\
& \sum_{i,j=1}^N a_{ij} \varphi_i^{(k)} \varphi_j^{(k)} \left\{ \sum_{i=1}^K a_k \frac{\partial B_{k,1}}{\partial \eta_i} \left[\omega_i - \left(\sum_{m=1}^M p_m^{(i)} \nu_m + \sum_{k=1}^K q_k^{(i)} \omega_k \right) \right] + \right. \\
& \left. + 2 \omega_k A_{k,1} \right\} = - \frac{2}{(2\pi)^{M+K}} \sum_{p_m, q_k} e^{i \left[\sum_{m=1}^M p_m \theta_m + \sum_{k=1}^K q_k \psi_k \pm \psi_k \right]} \times
\end{aligned} \quad (8)$$

$$\times \int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} \sum_{j=1}^N Q_{j0}^{(1)}(a_1, \dots, a_K, \theta_1, \dots, \theta_M, \psi_1, \dots, \psi_K) \varphi_j^{(k)} \times \\ \times e^{-i \left[\sum_{m=1}^M p_m \theta_m + \sum_{k=1}^K q_k \psi_k \pm \psi_k \right]} \sin \psi_k d\theta_1 \dots d\theta_M d\psi_1 \dots d\psi_K.$$

Система (8) позволяет определить коэффициенты $A_{k,1}$, $B_{k,1}$ для конечных значений $u_i^{(1)}$ как некоторые частные, периодические по η_i решения.

Принимая во внимание

$$e^{i \left[\sum_{k=1}^K q_k \psi_k + \sum_{m=1}^M p_m \theta_m \pm \psi_k \right]} = e^{i \sum_{i=1}^K q_i \eta_i}$$

из системы (8) находим:

$$A_{k,1} = \frac{2}{m_k (2\pi)^{M+K}} \sum_{q_i} e^{i \sum_{i=1}^K q_i \eta_i} \left[\frac{\sum_{i=1}^K q_i \left[\omega_i - \left(\sum_{m=1}^M p_m^{(i)} \nu_m + \sum_{k=1}^K q_k^{(i)} \omega_k \right) \right]}{1} i \times \right. \\ \times \frac{\int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} \sum_{j=1}^N Q_{j0}^{(1)}(a_1, \dots, a_K, \theta_1, \dots, \theta_M, \psi_1, \dots, \psi_K) \times \\ \times \frac{4\omega_k^2 - \left\{ \sum_{i=1}^K q_i \left[\omega_i - \left(\sum_{m=1}^M p_m^{(i)} \nu_m + \right. \right. \right.}{\left. \left. \left. + \sum_{k=1}^K q_k^{(i)} \omega_k \right) \right] \right\}^2} \times \varphi_j^{(k)} e^{-i \sum_{i=1}^K q_i \eta_i} \cos \psi_k d\psi_1 \dots d\psi_K d\theta_1 \dots d\theta_M \\ \left. + \sum_{k=1}^K q_k^{(i)} \omega_k \right) \right] \Bigg]^2 \\ \times \frac{2\omega_k \int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} \sum_{j=1}^N Q_{j0}^{(1)}(a_1, \dots, a_K, \theta_1, \dots, \theta_M, \psi_1, \dots, \psi_K) \times \\ \times \frac{4\omega_k^2 - \left\{ \sum_{i=1}^K q_i \left[\omega_i - \left(\sum_{m=1}^M p_m^{(i)} \nu_m + \right. \right. \right.}{\left. \left. \left. + \sum_{k=1}^K q_k^{(i)} \omega_k \right) \right] \right\}^2} \times \varphi_j^{(k)} e^{-i \sum_{i=1}^K q_i \eta_i} \sin \psi_k d\psi_1 \dots d\psi_K d\theta_1 \dots d\theta_M \\ \left. + \sum_{k=1}^K q_k^{(i)} \omega_k \right) \right] \Bigg]^2 \Bigg]; \\ B_{k,1} = -\frac{2}{m_k (2\pi)^{M+K} \cdot a_k} \times \\ \times \sum_{q_i} e^{i \sum_{i=1}^K q_i \eta_i} \left[\frac{\sum_{i=1}^K q_i \left[\omega_i - \left(\sum_{m=1}^M p_m^{(i)} \nu_m + \sum_{k=1}^K q_k^{(i)} \omega_k \right) \right]}{1} i \times \right.$$

$$\times \frac{\int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} \sum_{j=1}^N Q_{j0}^{(1)}(a_1, \dots, a_K, \theta_1, \dots, \theta_M, \psi_1, \dots, \psi_K) \times \\ \times \frac{4\omega_k^2 - \left\{ \sum_{i=1}^K q_i \left[\omega_i - \left(\sum_{m=1}^M p_m^{(i)} \nu_m + \right. \right. \right.}{\left. \left. \left. + \sum_{k=1}^K q_k^{(i)} \omega_k \right) \right] \right\}^2} \times \varphi_j^{(k)} e^{-i \sum_{i=1}^K q_i \eta_i} \sin \psi_k d\psi_1 \dots d\psi_K d\theta_1 \dots d\theta_M \\ \left. + \sum_{k=1}^K q_k^{(i)} \omega_k \right) \right] \Bigg]^2 + \\ + \frac{2\omega_k \int_0^{2\pi} \dots \int_0^{2\pi} \sum_{j=1}^N Q_{j0}^{(1)}(a_1, \dots, a_K, \theta_1, \dots, \theta_M, \psi_1, \dots, \psi_K) \times \\ \times \frac{4\omega_k^2 - \left\{ \sum_{i=1}^K q_i \left[\omega_i - \left(\sum_{m=1}^M p_m^{(i)} \nu_m + \right. \right. \right.}{\left. \left. \left. + \sum_{k=1}^K q_k^{(i)} \omega_k \right) \right] \right\}^2} \times \varphi_j^{(k)} e^{-i \sum_{i=1}^K q_i \eta_i} \cos \psi_k d\psi_1 \dots d\psi_K d\theta_1 \dots d\theta_M \\ \left. + \sum_{k=1}^K q_k^{(i)} \omega_k \right) \right] \Bigg]^2 \Bigg].$$

В этих формулах суммирование производится по всем q_i , при которых кратные интегралы отличны от нуля. С помощью $A_{k,1}$, $B_{k,1}$ из системы (3) находим a_k и ψ_k , которые используются для построения решения системы (1) в первом приближении. После определения $A_{k,1}$, $B_{k,1}$, $u_i^{(1)}$ аналогично находятся коэффициенты второго приближения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Митропольский Ю. А. Проблемы асимптотической теории нестационарных колебаний. М., 1964.
2. Рубаник В. П. "Радиофизика", т. IV. 1961, № 4.

Ч. М. Чуварлы, Г. А. Миронов

Квазихэтл системлэрдэ 2-чи тэртибли N ади дифференциал тэнликлэрлэ жазылан чохтезликли резонанс рэгслэрин хесабы

ХҮЛАСЭ

Мэгалэдэ Боголжубов—Митрополски асимптотик үсулу эсасында 2-чи тэртибли N ади дифференциал тэнликлэрлэ жазыла билэн чохтезликли квазихэтл системлэрдэки рэгслэрин биринчи жыхынлашмада хэллэ гурулмушдур.

Ч. М. ДЖУВАРЛЫ, Г. В. ВЕЧХАЙЗЕР, П. В. ЛЕОНОВ

УСРЕДНЕНИЕ ИМПУЛЬСОВ ТОКА РАЗРЯДА В ГАЗОВОЙ ПОЛОСТИ, ОГРАНИЧЕННОЙ ДИЭЛЕКТРИКОМ

В предыдущих работах [1, 2] сообщалось, что разряд в газовой полости, ограниченной диэлектриком, имеет импульсный характер. При этом форма и порядок следования импульсов тока зависят от величины pd в полости (p —давление газа, d —толщина газового промежутка). Существует некоторое значение $(pd)_{кр}$, около которого качественно изменяется форма разряда в полости. При этом в области $pd < (pd)_{кр}$ на осциллограммах появляется квазистационарная составляющая тока разряда [3]. На рис. 1 *а, б* показаны циклограммы $i = f(u)$ для $pd > (pd)_{кр}$ и $pd < (pd)_{кр}$.

Вопросу возникновения квазистационарной составляющей тока разряда уделяется определенное внимание. Одни авторы считают ее обязанной сравнительно медленно движущейся ионной составляющей тока разряда [4], другие связывают ее с временем деионизации газового промежутка [5]. Целью настоящей работы есть доказательство того, что при определенных условиях квазистационарная составляющая тока является результатом усреднения импульсов тока разряда на измерительном сопротивлении. Приводимые ниже осциллограммы получены на измерительной ячейке и по методике, описанной в [6], при $pd < (pd)_{кр}$.

Нами было показано [6], что при $pd < (pd)_{кр}$ импульсы тока разряда в полости, при обеспечении достаточно малой постоянной времени измерительной цепи, имеют симметричную форму, обладают определенной частотой повторения и длительностью. Частота повторения зависит в основном от скорости роста приложенного напряжения и при $pd = 30 \text{ мм} \cdot \text{мм}$ рт. ст., $\frac{du}{dt} = 5 \cdot 10^5 \text{ в/сек}$ составляет около

10^5 гц . На основании экспериментальных данных был сделан вывод о том, что при $pd < (pd)_{кр}$ вся газовая полость ($S \approx 2 \text{ см}^2$) разряжа-

ется отдельным импульсом. При этом эквивалентную схему полости можно представить в виде двух последовательно соединенных емкостей (емкости газового зазора и общей емкости диэлектрических стенок полости) и соединенного последовательно с ними измерительного сопротивления R . Такая цепь обладает постоянной времени RC_0 , где C_0 —полная емкость эквивалентной схемы; время ионизационного процесса в полости τ в рассматриваемых условиях $2 \cdot 10^{-6} \text{ сек}$ [2].

Если обеспечивается соотношение $RC_0 \ll \tau$, то внешняя цепь, как известно, не вносит искажений в форму регистрируемого импульса тока в газовом промежутке. Наоборот, при $RC_0 > \tau$ из-за инерционности внешней цепи импульс будет иметь несимметричную форму с фронтом, соответствующим времени нарастания тока в газовом промежутке, и хвостом, определяемым величиной RC_0 . Покажем, что наложение хвостов импульсов в этом случае и создает эффект квазистационарного тока.

Рассмотрим момент, соответствующий зажиганию разряда или появлению „квазистационарной составляющей“ тока. К этому моменту напряжение на полости достигнет пробивного значения и во внешней цепи появятся импульсы тока с периодом T . Предположим для простоты, что импульс имеет чисто экспоненциальную форму:

$$i(t) = i_0 e^{-\frac{t}{RC_0}} \quad (1)$$

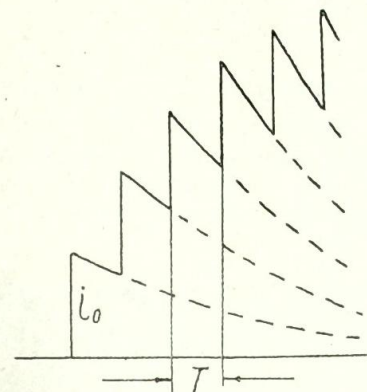


Рис. 2

Если постоянная времени схемы окажется соизмеримой со временем между соседними импульсами, то хвосты импульсов будут накладываться друг на друга (рис. 2). Как видно из рисунка, к моменту nT из-за сложения хвостов n предшествующих импульсов мгновенное значение тока достигнет величины

$$I(nT) = i_0 \sum_{r=0}^n e^{-\frac{rT}{RC_0}} = i_0 \frac{1 - e^{-\frac{nT}{RC_0}}}{1 - e^{-\frac{T}{RC_0}}} \quad (2)$$

$I(nT)$ при увеличении n стремится к своему предельному значению:

$$I = \lim_{n \rightarrow \infty} I(nT) = i_0 \frac{1}{1 - e^{-\frac{T}{RC_0}}}, \quad \text{где} \quad (3)$$

I представляет значение тока, к которому стремится усредненный ток импульсов, т. е. величину „квазистационарной составляющей“ тока в данный момент времени. Обозначив через x отношение $I(nT)$ к I , имеем

$$x = 1 - e^{-\frac{nT}{RC_0}},$$

откуда

$$n = \frac{RC_0}{T} \ln \frac{1}{1 - x} \quad (4)$$

Из этого соотношения можно вычислить число импульсов n или время $t = nT$, которое необходимо, чтобы при определенной постоянной времени схемы RC_0 ток достиг определенной части своего пре-

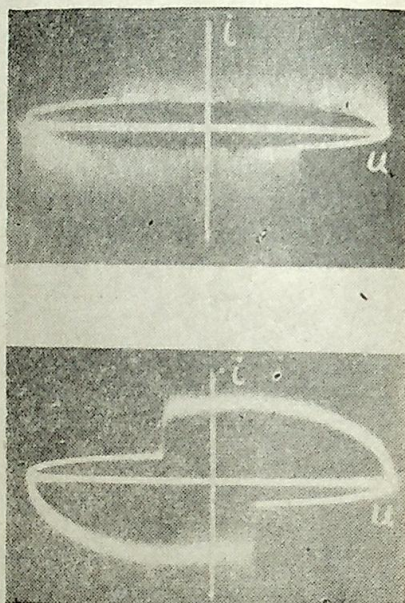


Рис. 1

дельного значения α . Как следует из (4), это время прямо пропорционально RC_0 .

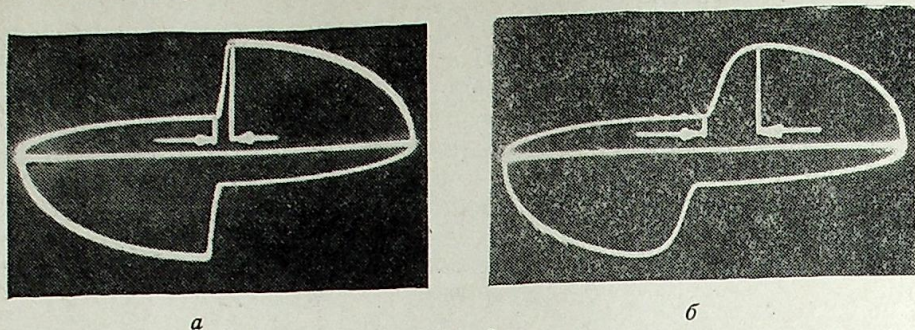


Рис. 3

Вышеизложенное иллюстрируют циклограммы рис. 3. Циклограмма 3, а получена при постоянной времени схемы $4 \cdot 10^{-6}$ сек, а 3, б — $6 \cdot 10^{-5}$ сек. Область перехода к предельному значению тока отмечена в обоих случаях стрелками. При увеличении постоянной времени измерительной цепи переход к предельному значению тока получается более плавным в согласии с (4).

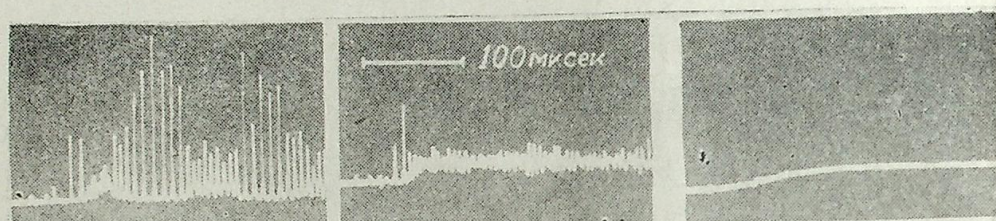


Рис. 4

Более детально процесс усреднения импульсов тока изображен на рис. 4. Здесь приведена область, показанная на рис. 3 стрелками, при различных значениях постоянной времени. На рис. 4, а показаны полностью разрешенные импульсы тока после начала разряда. Здесь выполняется условие $RC_0 \ll T$. Осциллограмма 4, б получена при $RC_0 \approx T$, на ней видны частично усредненные импульсы тока, присутствует и „квазистационарная составляющая“. Осциллограмма 4, в снята при условии $RC_0 \gg T$. Ток разряда состоит в этом случае полностью из „квазистационарной составляющей“. Хорошо заметен постепенный переход к предельному значению тока после начала разряда.

Резюмируя, можно утверждать, что при использовании для изучения разряда ячейки сравнительно небольшой площади величина „квазистационарной составляющей“ определяется соотношением между частотой повторения импульсов тока разряда и постоянной времени измерительной цепи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Джуварлы Ч. М., Вечхайзер Г. В., Горин Ю. В., Леонов П. В. „Изв. АН Азерб. ССР“, 139, 1966, № 2.
2. Джуварлы Ч. М., Вечхайзер Г. В., Горин Ю. В., Леонов П. В. „Изв. АН Азерб. ССР“, 87, 1966, № 6.

3. Дмитриев А. В. ЖТФ, XXXIV, 1494, 1964.
4. Sobrecht H., Meinhardt O., Hein F. Bericht Bunsengesellschaft, 68, 55, 1964, № 1
5. Ваксер Б. Ф., Чибизова К. Н. ЖТФ, XXXVII, 1118, 1967, № 6.
6. Джуварлы Ч. М., Вечхайзер Г. В., Горин Ю. В., Леонов П. В. ЖТФ (в печати).

Ф. И. ХАСМАМЕДОВ

УРАВНЕНИЯ ДИНАМИКИ ДВУХПОТОЧНЫХ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ТРУБЧАТЫХ ПЕЧЕЙ РАДИАНТНОГО ТИПА (РАДИАНТНЫХ КАМЕР) В СЛУЧАЕ, КОГДА ТОПЛИВО ПОДАЕТСЯ ОДНИМ ПОТОКОМ

В работе [13] были выведены уравнения динамики двухпоточных нагревательных трубчатых печей радиантного типа (радиантных камер) в случае, когда топливо подается двумя потоками.

Применяя методику, изложенную в указанной работе, нами выведены уравнения динамики двухпоточных нагревательных трубчатых печей радиантного типа (радиантных камер) в случае, когда топливо подается одним потоком.

Как показано в [11, 13], двухпоточные трубчатые печи являются сложным объектом автоматического регулирования. Они характеризуются многими входами и выходами. Регулируемыми параметрами являются температуры сырья на их выходах; регулирующим воздействием на объект—количество тепла, воспринятое нагревательной поверхностью от окружающей греющей среды. Греющей средой служат топочные газы, образующиеся при сгорании топлива. Изменение подвода тепла с целью поддержания заданного значения температуры нагреваемого сырья осуществляется изменением количества тепла*.

Трубчатые печи относятся к тем группам тепловых объектов, где параметры в отдельных емкостях взаимно влияют друг на друга, т. е. не обладают направленным действием (рис. 1). Это объясняется тем, что количество тепла, передаваемого от любого греющего звена к нагреваемому, пропорционально не температуре этого звена, а разности температур греющего звена и нагреваемого. В то же время передачу тепла соседнему звену надо рассматривать как направленную. С увеличением числа потока (сырья, а также топлива) усложняется регулирование температурного режима трубчатых печей, появляется взаимовлияние между потоками [8, 11, 12, 13]. При проектировании системы автоматического регулирования температурного режима двухпоточных трубчатых печей нужно учитывать и эти взаимовлияния.

При выводе уравнения динамики двухпоточных нагревательных трубчатых печей радиантного типа (радиантных камер) в случае, когда топливо подается одним потоком, трубчатые печи рассмотрены

* Здесь нужно отметить, что до настоящего времени количество воздуха, подаваемого в топку, не регулируется и даже не измеряется, а пар, подаваемый для распыливания жидкого топлива, регулируется вручную и не измеряется.

как объекты, состоящие из связанных между собой шести отдельных емкостей (звеньев) с сосредоточенными параметрами и элементами запаздывания (рис. 1). Для емкости с сосредоточенными параметрами принимается, что процессы изменения температуры и других параметров внутри объектов происходят идеально и, следовательно, выводимые уравнения справедливы для любой точки объекта. Это условие соблюдается в любой момент времени при отсутствии запаздывания, и существует постоянный сдвиг во времени между двумя точками объекта в случае запаздывания. Трубчатые печи, как и все тепловые объекты, обладают свойствами самовыравнивания и способны аккумулировать в своих емкостях определенное количество энергии.

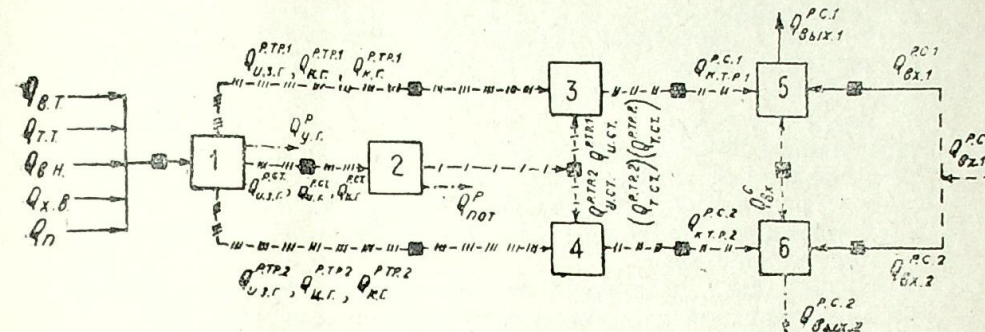


Рис. 1. Скелетная схема двухпоточных нагревательных трубчатых печей радиантного типа (радиантных камер) в случае, когда топливо подается одним потоком.

1 — топочные газы; 2 — стенки кладки; 3 — стенки труб первого потока; 4 — стенки труб второго потока; 5 — сырье первого потока; 6 — сырье второго потока; — элемент запаздывания.

Тепло передается: — — — излучением (от зеркала горения и от топочных газов и конвекцией); — — — излучением от поверхностей; — — — конвекцией; — — — тепло, приходящее с продуктами; — — — тепло, уходящее с продуктами и потерями.

Пунктирная линия показывает случай, когда оба потока сырья подаются одним насосом.

С целью упрощения уравнений динамики отдельных емкостей принято линеаризовать их. Для этого в качестве переменных параметров принимаем их отклонения от установившихся значений, причем эти отклонения считаем малыми величинами. Поэтому функции переменных параметров, входящие в уравнение динамики емкости, разлагаем в ряд Тейлора по степеням их малых приращений и пренебрегаем членами второго порядка и выше.

ПЕРЕДАЧА ТЕПЛА В ДВУХПОТОЧНЫХ ТРУБЧАТЫХ ПЕЧАХ РАДИАНТНОГО ТИПА (РАДИАНТНЫХ КАМЕР) В СЛУЧАЕ, КОГДА ТОПЛИВО ПОДАЕТСЯ ОДНИМ ПОТОКОМ

В рассматриваемых типах трубчатых печей передача тепла, образующегося при сгорании топлива, может быть приблизительно представлена следующим образом:

1. Зеркало горения излучает тепло на стенки труб первого и второго потоков, а также на боковые стенки кладки камеры.
2. Топочные газы, имеющие высокую температуру, также излучают тепло стенки труб первого и второго потоков и на стенки кладки камеры.
3. Стенки кладки камеры, в свою очередь, излучают тепло на стенки труб первого и второго потоков.
4. При своем движении топочные газы свободной конвекцией передают тепло стенкам труб первого и второго потоков и стенкам кладки камеры.

5. При соприкосновении от нагретой экранированной стенки кладки тепло в относительно небольшом количестве передается на последний ряд стенки труб теплопроводностью.

6. Тепло, проходя через стенки труб, передается протекающему в них сырью.

7. Тепло теряется в окружающей среде частью с топочными газами, уносимыми в камеру конвекции (или в дымовую трубу), а частью в стенках кладки печи.

В работе приняты следующие обозначения:

Q —количество тепла, ккал/час; ккал;

t —абсолютная температура, град;

F —поверхность, м²;

q —низшая теплотворная способность топлива, ккал/кг;

B —расход, кг/час;

G —вес, кг;

P —давление, кг/см²;

v —теплоемкость, ккал/кг·град;

α —приведенный коэффициент, ккал/час·град;

c —коэффициент лучеиспускания, ккал/м²·час·град⁴;

κ —коэффициент теплопередачи конвекцией и теплопроводностью, ккал/м²·час·град;

φ —коэффициент, зависящий от соотношений линейных размеров, лучеоглающей и лучевоспринимающей поверхностей;

η —коэффициент полезного действия топки, %;

ϵ_r —степень черноты;

ϵ_2 —степень черноты лучевоспринимающей поверхностью;

τ —время.

Индексы: и. з. г.—передача тепла излучением зеркала горения; и. г.—передача тепла излучением топочных газов; и. ст.—передача тепла излучением стенки кладки; к. г.—передача тепла конвекцией от топочных газов; к. тр.—передача тепла конвекцией от стенки труб; т. ст.—передача тепла теплопроводностью от стенки кладки; в. т.—выделенное тепло, т. т.—тепло, внесенное с топливом; в. н.—тепло, внесенное с нагретым воздухом; х. в.—тепло, внесенное с холодным воздухом; у. г.—уходящие топочные газы; пот—потери; вх—вход; вых.—выход; г—топочные газы; тр—стенки труб (змеевик); ст—стенки кладки; т—топливо; п—пар, с—сырье; 1 и 2—потoki и их параметры; 0—значения величин в установившемся режиме.

При выводе уравнения динамики для отдельных емкостей (рис. 1, 2) данного типа трубчатых печей использованы формулы (1), (2), (3), (7), которые приведены в работах [9, 10, 11].

Основные допущения. При выводе уравнения динамики было принято:

1. Температура топочных газов^(*) t_r во всех точках печи (камеры) одинакова и равна

$$t_r = \frac{t_t - t_p}{2,3 \lg \frac{t_t}{t_p}}, \quad (1)$$

где t_t —теоретическая температура горения топлива;

t_p —температура топочных газов над перевальной стенкой.

2. Температуру стенок труб t^{tr} и температуру сырья t^c вдоль трубопровода (змеевика) принимаем одинаковой и равной

* Если габаритные размеры печи (камеры) невелики, то за температуру топочных газов можно принять температуру топочных газов над перевальной стенкой тогда температуру зеркала горения выражаем через температуру топочных газов [11, 13].

$$t = \frac{t_{вых} - t_{вх}}{2,3 \lg \frac{t_{вых}}{t_{вх}}} \quad (2)$$

3. Коэффициенты излучения c , теплопередачи κ и т. п. будем считать постоянными и при расчетах брать значения в данном стационарном режиме.

4. Потери тепла от химической и механической неполноты горения учитываем в % от полного продукта сгорания.

Теперь определим уравнения динамики отдельных емкостей объекта.

Уравнение динамики топочных газов

Для топочных газов, когда топливо подается одним потоком в установившемся режиме, уравнение теплового баланса для общего случая* будет иметь вид (рис. 1)

$$(Q_{в.т})_0 + (Q_{т.т})_0 + (Q_{в.н})_0 + (Q_{х.в.})_0 + (Q_{п})_0 = (Q_{и.з.г.}^{р.тр.1})_0 + (Q_{и.г.}^{р.тр.1})_0 + (Q_{к.г.}^{р.тр.1})_0 + (Q_{и.з.г.}^{р.тр.2})_0 + (Q_{и.г.}^{р.тр.2})_0 + (Q_{к.г.}^{р.тр.2})_0 + (Q_{и.з.г.}^{р.ст})_0 + (Q_{и.г.}^{р.ст})_0 + (Q_{к.г.}^{р.ст})_0 + (Q_{у.г.})_0 \quad (3)$$

или

$$B_0^T \eta q_0 + B_0^T v_t t_0^T + B_0^{в.н.} v_{в.н.} t_0^{в.н.} + B_0^{х.в.} v_{х.в.} t_0^{х.в.} + B_0^п v_p t_0^п - \alpha_{и.з.г.}^{р.тр.1} [(t_0^{р.г.})^4 - (t_{01}^{р.тр.1})^4] - \alpha_{и.г.}^{р.тр.1} [(t_0^{п.г.})^4 - (t_{01}^{п.тр.1})^4] - \alpha_{к.г.}^{р.тр.1} [(t_0^{п.г.})^4 - (t_{01}^{п.тр.1})^4] - \alpha_{и.з.г.}^{р.тр.2} [(t_0^{п.г.})^4 - (t_{02}^{п.тр.2})^4] - \alpha_{и.г.}^{р.тр.2} [(t_0^{п.г.})^4 - (t_{02}^{п.тр.2})^4] - \alpha_{к.г.}^{р.тр.2} [(t_0^{п.г.})^4 - (t_{02}^{п.тр.2})^4] - \alpha_{и.з.г.}^{р.ст} [(t_0^{п.г.})^4 - (t_0^{п.ст.})^4] - \alpha_{и.г.}^{р.ст} [(t_0^{п.г.})^4 - (t_0^{п.ст.})^4] - \alpha_{к.г.}^{р.ст} [(t_0^{п.г.})^4 - (t_0^{п.ст.})^4] - B_0^{у.г.} v_{у.г.} t_0^{у.г.} = 0. \quad (4)$$

Проделив те же операции, что и при выводе уравнения динамики в работах [9, 10, 11, 13] для топочных газов, в окончательном виде получим следующее уравнение динамики с учетом, что: расход топлива B^T является функцией давления до регулирующего клапана p^T и степень открытия регулирующего клапана m , т. е.

$$B^T = f(p^T, m); \quad (5)$$

степень открытия регулирующего клапана с линейной статической характеристикой пропорциональна расходу топлива, тогда можно написать

$$\frac{\Delta m}{m_{\max}} = \frac{\Delta B^T}{B_{\max}^T} = \zeta = \rho_r; \quad (6)$$

расход уходящих топочных газов $B^{у.г.}$:

$$B^{у.г.} = B^T + B^{в.н.} + B^{х.в.} + B_{п.} \quad (7)$$

Тогда

$$T_{р.г.} \dot{\psi}_p + \psi_p = a_{p1} p_{p1} + a_{p2} p_{p2} + a_{p3} p_r \pm f_1(\tau) \pm f_2(\tau), \quad (8)$$

где $T_{р.г.}$ —постоянная времени топочных газов в сек:

$$T_{р.г.} = \frac{G_{р.г.} v_{р.г.} t_{\max}^{р.г.}}{A};$$

$f_1(\tau)$ —возмущения со стороны топлива и воздуха:

$$f_1(\tau) = a_{p4} \rho_t + a_{p5} e + a_{p6} i - a_{p7} \rho_{в.н.} - a_{p8} \rho_{х.в.} + a_{p9} \delta + a_{p10} x;$$

$f_2(\tau)$ —возмущения со стороны пара для распыливания жидкого топлива:

$$f_2(\tau) = -a_{p11} \rho_n + a_{p12} \alpha_n;$$

a_{pj} ($j = 1, 2, \dots, 12$)—передаточные коэффициенты;

$$a_{p1} = \frac{[4 \alpha_{и.з.г.}^{р.тр.1} (t_1^{р.тр.1})^3 + 4 \alpha_{и.г.}^{р.тр.1} (t_1^{п.тр.1})^3 + \alpha_{к.г.}^{р.тр.1}] t_{\max}^{р.тр.1}}{A};$$

* Когда имеет место подвод жидкого и газообразного топлива.

$$a_{p2} = \frac{[4\alpha_{и.з.г.}^{р.тр.2} (t_2^{р.тр.})^3 + 4\alpha_{и.г.}^{р.тр.2} (t_2^{р.тр.})^3 + \alpha_{к.г.}^{р.тр.2}] t_2^{р.тр.}}{A};$$

$$a_{p3} = \frac{[4\alpha_{и.з.г.}^{р.ст} (t^{р.ст})^3 + 4\alpha_{и.г.}^{р.ст} (t^{р.ст})^3 + \alpha_{к.г.}^{р.ст}] t_{макс}^{р.ст}}{A};$$

$$a_{p4} = \frac{(\eta q + v_{\tau} t^{\tau} - v_{p.г} t^{р.г}) B_{макс}^{\tau}}{A};$$

$$a_{p5} = \frac{(\eta q + v_{\tau} t^{\tau} - v_{p.г} t^{р.г}) \left(\frac{\partial B^{\tau}}{\partial p^{\tau}} \right)_0 P_{макс}^{\tau}}{A};$$

$$a_{p6} = \frac{B^{\tau} \eta q_{макс}}{A}; \quad a_{p7} = \frac{(v_{p.г} t^{р.г} - v_{в.н} t^{в.н}) B_{макс}^{в.н}}{A};$$

$$a_{p8} = \frac{(v_{p.г} t^{р.г} - v_{х.в} t^{х.в}) B_{макс}^{х.в}}{A}; \quad a_{p9} = \frac{B^{\tau} v_{\tau} t_{макс}^{\tau}}{A};$$

$$a_{p10} = \frac{B^{в.н} v_{в.н} t_{макс}^{в.н}}{A}; \quad a_{p11} = \frac{(v_{p.г} t^{р.г} - v_{п} t^{\pi}) B_{макс}^{\pi}}{A}; \quad a_{p12} = \frac{B v_{п} t_{макс}^{\pi}}{A};$$

$$A = [4\alpha_{и.з.г.}^{р.тр.1} (t^{р.г})^3 + 4\alpha_{и.г.}^{р.тр.1} (t^{р.г})^3 + \alpha_{к.г.}^{р.тр.1} + 4\alpha_{и.з.г.}^{р.тр.2} (t^{р.г})^3 + 4\alpha_{и.г.}^{р.тр.2} (t^{р.г})^3 + \alpha_{к.г.}^{р.тр.2} + 4\alpha_{и.з.г.}^{р.ст} (t^{р.г})^3 + 4\alpha_{и.г.}^{р.ст} (t^{р.г})^3 + \alpha_{к.г.}^{р.ст} + B^{у.г} v_{p.г}] t_{макс}^{р.г};$$

$$\alpha_{и.з.г.}^{р.тр(р.ст)} = 10^{-8} cF \varphi; \quad \alpha_{и.г.}^{р.тр(р.ст)} = 2,45 \cdot 10^{-8} (\epsilon_2 + 1) \epsilon_r F; \quad \alpha_{к.г.}^{р.тр(р.ст)} = \kappa F;$$

$$\psi_p = \frac{\Delta t^{р.г}}{t_{макс}^{р.г}}; \quad \mu_{p1} = \frac{\Delta t_1^{р.тр}}{t_{макс}^{р.тр}}; \quad \mu_{p2} = \frac{\Delta t_2^{р.тр}}{t_{макс}^{р.тр}}; \quad \lambda_p = \frac{\Delta t^{р.ст}}{t_{макс}^{р.ст}}; \quad \epsilon = \frac{\Delta p^{\tau}}{P_{макс}^{\tau}};$$

$$i = \frac{\Delta q}{q_{макс}}; \quad \delta = \frac{\Delta t^{\tau}}{t_{макс}^{\tau}}; \quad x = \frac{\Delta t^{в.н}}{t_{макс}^{в.н}}; \quad \alpha_{п} = \frac{\Delta t^{\pi}}{t_{макс}^{\pi}}; \quad \rho_{\tau} = \frac{\Delta B^{\tau}}{B_{макс}^{\tau}};$$

$$\rho_{в.н} = \frac{\Delta B^{в.н}}{B_{макс}^{в.н}}; \quad \rho_{х.в} = \frac{\Delta B^{х.в}}{B_{макс}^{х.в}}; \quad \rho_{\pi} = \frac{\Delta B_{\pi}}{B_{макс}^{\pi}}.$$

Если трубчатая печь работает на газообразном топливе, то $f_2(\tau) = 0$.

Уравнения динамики стенок труб (змеевика)

Уравнение динамики стенок труб по первому потоку имеет следующий вид [13]:

$$T_{р.тр.1} \mu_{p1} + \mu_{p1} = b_{p11} \psi_p + b_{p12} \lambda_p + b_{p13} \varphi_{p1}, \quad (9)$$

где $T_{р.тр.1}$ — постоянная времени стенки труб по первому потоку в сек;

$$T_{р.тр.1} = \frac{G_{р.тр.1} v_{р.тр.1} t_{макс}^{р.тр.1}}{B_1};$$

b_{pij} ($j = 1, 2, 3$) — передаточные коэффициенты:

$$b_{p11} = \frac{[4\alpha_{и.з.г.}^{р.тр.1} (t^{р.г})^3 + 4\alpha_{и.г.}^{р.тр.1} (t^{р.г})^3 + \alpha_{к.г.}^{р.тр.1}] t_{макс}^{р.г}}{B_1};$$

$$b_{p12} = \frac{[4\alpha_{и.ст}^{р.тр.1} (t^{р.ст})^3 + \alpha_{к.тр.1}^{р.тр.1}] t_{макс}^{р.ст}}{B_1}; \quad b_{p13} = \frac{\alpha_{к.ст.1}^{р.ст} t_{макс}^{р.ст}}{B_1};$$

$$B_1 = [4\alpha_{и.з.г.}^{р.тр.1} (t_1^{р.ст})^3 + 4\alpha_{и.г.}^{р.тр.1} (t_1^{р.ст})^3 + \alpha_{к.г.}^{р.тр.1} + 4\alpha_{и.ст}^{р.тр.1} (t_1^{р.ст})^3 + \alpha_{к.тр.1}^{р.тр.1} + \alpha_{к.ст.1}^{р.ст}] t_{макс}^{р.ст};$$

$$\alpha_{и.ст}^{р.тр} = 10^{-8} cF \varphi; \quad \alpha_{т.ст}^{р.тр} = \kappa F; \quad \alpha_{к.тр}^{р.ст} = \kappa F; \quad \varphi_{p1} = \frac{\Delta t_1^{р.ст}}{t_{макс}^{р.ст}}.$$

Остальные обозначения прежние.

Уравнение динамики стенок труб по второму потоку аналогично уравнению (9) будет иметь вид

$$T_{р.тр.2} \mu_{p2} + \mu_{p2} = b_{p21} \psi_p + b_{p22} \lambda_p + b_{p23} \varphi_{p2}. \quad (10)$$

Здесь выражения $T_{р.тр.2}$; b_{p21} ; b_{p22} и b_{p23} те же самые, что в уравнении (9), и получаются при замене индекса 1 на индекс 2.

Уравнение динамики стенок кладки

Уравнение динамики стенок кладки имеет следующий вид:

$$T_{р.ст} \lambda_p + \lambda_p = c_{p1} \psi_p + c_{p2} \mu_{p1} + c_{p3} \mu_{p2}, \quad (11)$$

где $T_{р.ст}$ — постоянная времени стенок кладки в сек;

$$T_{р.ст} = \frac{G_{р.ст} v_{р.ст} t_{макс}^{р.ст}}{C};$$

c_{pj} ($j = 1, 2, 3$) — передаточные коэффициенты:

$$c_{p1} = \frac{[4\alpha_{и.з.г.}^{р.ст} (t^{р.г})^3 + 4\alpha_{и.г.}^{р.ст} (t^{р.г})^3 + \alpha_{к.г.}^{р.ст}] t_{макс}^{р.г}}{C};$$

$$c_{p2} = \frac{[4\alpha_{и.ст}^{р.тр.1} (t_1^{р.тр.1})^3 + \alpha_{т.ст}^{р.тр.1}] t_{макс}^{р.тр.1}}{C};$$

$$c_{p3} = \frac{[4\alpha_{и.ст}^{р.тр.2} (t_2^{р.тр.2})^3 + \alpha_{т.ст}^{р.тр.2}] t_{макс}^{р.тр.2}}{C};$$

$$C = [4\alpha_{и.з.г.}^{р.ст} (t^{р.ст})^3 + 4\alpha_{и.г.}^{р.ст} (t^{р.ст})^3 + \alpha_{к.г.}^{р.ст} + 4\alpha_{и.ст}^{р.тр.1} (t^{р.ст})^3 + \alpha_{к.тр.1}^{р.тр.1} + 4\alpha_{и.ст}^{р.тр.2} (t^{р.ст})^3 + \alpha_{т.ст}^{р.тр.2} + \alpha_{пот}^p] t_{макс}^{р.ст}.$$

Уравнения динамики сырья в трубах (в змеевике)

Когда оба потока сырья подаются одним насосом и змеевик первого потока тождествен змеевику второго потока и температура сырья в них одинакова, то расход сырья в обоих потоках будет одинаков, т. е. $B^c = 0$. Но если температура сырья в потоках неодинакова, то в зависимости от температуры сырья в одном из потоков за счет другого потока расход сырья увеличится или уменьшится на количество B^c . Тогда уравнение теплового баланса сырья для первого потока в установившемся режиме будет иметь следующий вид (рис. 1):

$$(Q_{к.тр.1}^{р.ст.1})_0 + (Q_{вх.1}^{р.ст.1})_0 - (Q_{вых.1}^{р.ст.1})_0 = 0 \quad (12)$$

или

$$\alpha_{к.тр.1}^{р.ст.1} (t_{01}^{р.тр.1} - t_{01}^{р.ст.1}) + B_{01}^c v_{р.вх.1} t_{01}^{р.вх.1} - B_{01}^c v_{р.ст.1} t_{01}^{р.ст.1} = 0, \quad (13)$$

где

$$B_1^c = B_1^{вх.ст} \pm B^c.$$

Если же расход сырья в первом (втором) потоке увеличится (уменьшится) на количестве B^c , то знак перед B^c будем принимать положительным (отрицательным).

Увеличение или уменьшение расхода сырья в первом (втором) потоке в основном зависит от температуры сырья второго (первого) потока. Расход сырья первого (второго) потока есть функция от общего расхода сырья и от температуры сырья второго (первого) потока:

$$B_{1(2)}^c = f(B_{общ}^c, t_{2(1)}^{р.ст}). \quad (14)$$

Разлагая $B_{1(2)}^c$ в ряд Тейлора относительно малых приращений переменных и пренебрегая членами выше первого порядка, получим

$$\Delta B_{1(2)}^c = \left(\frac{\partial B_{1(2)}^c}{\partial B_{\text{общ}}^c} \right)_0 \Delta B_{\text{общ}}^c + \left(\frac{\partial B_{1(2)}^c}{\partial t_{2(1)}^{p,c}} \right)_0 \Delta t_{2(1)}^{p,c} = \frac{B_{1(2)\text{макс}}^c}{B_{\text{общ.макс}}^c} \Delta B_{\text{общ}}^c + \left(\frac{\partial B_{1(2)}^c}{\partial t_{2(1)}^{p,c}} \right)_0 \Delta t_{2(1)}^{p,c}. \quad (15)$$

На неравномерное нагревание потока, наряду с возмущающим фактором, влияют также расположение и число форсунок, конструкция печи, длина змеевика и т. п. Если трубчатая печь является чисто нагревательной, то увеличение температуры сырья в одном из потоков уменьшает вязкость, удельный вес сырья данного потока, который за счет этого расхода сырья в данном потоке увеличится, а в другом потоке расход сырья уменьшается, так как общий расход равен сумме расходов отдельных потоков. Расход сырья по одному потоку равен

$$B_{\text{вых.с}} = B^{\text{вх.с}} \pm B^c = B_{1(2)}^c. \quad (16)$$

Если трубчатая печь является нагревательной с частичным испарением, то с повышением температуры сырья в одном из потоков, за счет испарения в змеевике данного потока, образуются „паровые пробки“, которые уменьшают количество сырья, проходящего через данные сечения. В этом случае расход сырья в другом потоке возрастает [11, 13].

Опустив промежуточные операции, уравнение динамики получим в следующем виде:

$$T_{p.c.1} \dot{\varphi}_{p1} + \varphi_{p1} = d_{11} \mu_{p1} \pm f_{31}(\tau) + d_{p14} \varphi_{p2}, \quad (17)$$

где $T_{p.c.1}$ — постоянная времени сырья первого потока в сек:

$$T_{p.c.1} = \frac{G_{p.c.1} v_{p.c.1} t_{1\text{макс}}^{p,c}}{D_1};$$

$f_{31}(\tau)$ — возмущения со стороны сырья:

$$f_{31}(\tau) = d_{p12} \varphi_{p.\text{вх.с.1}} - d_{p13} \varphi_{c.1};$$

d_{pji} ($j = 1, 2, 3, 4$) — передаточные коэффициенты:

$$d_{p11} = \frac{\alpha_{p.c.1}^{p,c} t_{1\text{макс}}^{p,тр}}{D_1}; \quad d_{p12} = \frac{B_1^c v_{p.\text{вх.с.1}} t_{1\text{макс}}^{p,\text{вх.с}}}{D_1};$$

$$d_{p13} = \frac{(v_{p.c.1} t_{1\text{макс}}^{p,c} - v_{p.\text{вх.с.1}} t_{1\text{макс}}^{p,\text{вх.с}}) B_1^c}{D_1};$$

$$d_{p14} = \frac{(v_{p.c.1} t_{1\text{макс}}^{p,c} - v_{p.\text{вх.с.1}} t_{1\text{макс}}^{p,\text{вх.с}}) \left(\frac{\partial B_1^c}{\partial t_{2(1)}^{p,c}} \right)_0 t_{2\text{макс}}^{p,c}}{D_1};$$

$$D_1 = (\alpha_{p.c.1}^{p,c} + B_1^c v_{p.c.1}) t_{1\text{макс}}^{p,c}; \quad \varphi_{p.\text{вх.с.1}} = \frac{\Delta t_{1\text{макс}}^{p,\text{вх.с}}}{t_{1\text{макс}}^{p,\text{вх.с}}}; \quad \varphi_{p.1} = \frac{\Delta B_1^c}{B_{1\text{макс}}^c}.$$

Характерной особенностью уравнения (17) является присутствие в нем члена взаимовлияния $d_{p14} \varphi_{p2}$. Аналогичным образом можно записать уравнение динамики сырья для второго потока:

$$T_{p.c.2} \dot{\varphi}_{p2} + \varphi_{p2} = d_{p21} \mu_{p2} \pm f_{32}(\tau) + d_{p24} \varphi_{p1}. \quad (18)$$

Здесь нужно заметить, что если змеевики первого и второго потоков, а также температура сырья в них одинаковы, то

$$B_1^c = B_2^c = 0,5 B_{\text{общ}}^c, \quad (19)$$

где $B_{\text{общ}}^c$ — общий расход сырья.

Если каждый поток сырья подается одним насосом (рис. 1), то в уравнение (17) $d_{p14} = 0$ и уравнение динамики сырья для первого потока примет следующий вид* [11, 13]:

$$T_{p.c.1} \dot{\varphi}_{p1} + \varphi_{p1} = d_{p11} \mu_{p1} \pm f_{31}(\tau). \quad (20)$$

Уравнение динамики сырья в этом случае для второго потока будет иметь следующий вид:

$$T_{p.c.2} \dot{\varphi}_{p2} + \varphi_{p2} = d_{p21} \mu_{p2} \pm f_{32}(\tau). \quad (21)$$

Уравнения динамики рассматриваемого типа нагревательных трубчатых печей (камер) в целом

Для получения уравнения динамики объекта в целом, выведенные уравнения динамики отдельных емкостей нужно решать совместно относительно интересующих переменных. Если примем за начало отсчета движения значения переменных в старом установившемся состоянии, т. е. до приложения воздействия, то будем иметь при $\tau = 0$: $\psi_p = 0$, $\mu_{p1} = 0$, $\mu_{p2} = 0$, $\lambda_p = 0$, ..., $f_{32}(0) = 0$, т. е. начальные условия будут нулевыми.

Для уравнений динамики отдельных емкостей (здесь мы будем рассматривать случай, когда оба потока сырья подаются одним насосом), применяя преобразование Лапласа, относительно времени при нулевом начальном условии получим:

$$\left. \begin{aligned} (T_{p.r} p + 1) \psi_p(p) - a_{p1} \mu_{p1}(p) - a_{p2} \mu_{p2}(p) - a_{p3} \lambda_p(p) &= \pm f_1(p) \pm f_2(p), \\ (T_{p.тр.1} p + 1) \mu_{p1}(p) - b_{p11} \psi_p(p) - b_{p12} \lambda_p(p) - b_{p13} \varphi_{p1}(p) &= 0, \\ (T_{p.тр.2} p + 1) \mu_{p2}(p) - b_{p21} \psi_p(p) - b_{p22} \lambda_p(p) - b_{p23} \varphi_{p2}(p) &= 0, \\ (T_{p.ст} p + 1) \lambda_p(p) - c_{p1} \psi_p(p) - c_{p2} \mu_{p1}(p) - c_{p3} \mu_{p2}(p) &= 0, \\ (T_{p.c.1} p + 1) \varphi_{p1}(p) - d_{p11} \mu_{p1}(p) - d_{p14} \varphi_{p2}(p) &= \pm f_{31}(p), \\ (T_{p.c.2} p + 1) \varphi_{p2}(p) - d_{p21} \mu_{p2}(p) + d_{p24} \varphi_{p1}(p) &= \pm f_{32}(p), \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

где $\psi_p(p)$, $\mu_{p1}(p)$, $\mu_{p2}(p)$, $\lambda_p(p)$, $\varphi_{p1}(p)$, $\varphi_{p2}(p)$, $f_1(p)$, $f_2(p)$, $f_{31}(p)$ и $f_{32}(p)$ — лапласовы преобразования функций ψ_p , μ_{p1} , μ_{p2} , λ_p , φ_{p1} , φ_{p2} , $f_1(\tau)$, $f_2(\tau)$, $f_{31}(\tau)$ и $f_{32}(\tau)$.

Основными выходными параметрами трубчатых печей являются температура сырья на выходе из печи и температура топочных газов над перевальной стенкой, так как вся система регулирования температурного режима трубчатых печей строится на базе этих параметров. Мы также будем рассматривать зависимости изменения этих выходных параметров ψ_p , φ_{p1} и φ_{p2} от возмущающих воздействий — входных параметров $f_1(\tau)$, $f_2(\tau)$, $f_{31}(\tau)$ и $f_{32}(\tau)$, т. е. определять передаточные функции.

Передаточную функцию относительно любого возмущающего воздействия (при постоянстве всех остальных возмущающих воздействий) легче можно получить, если преобразование систем уравнений (22) решается методом Крамера. Для получения переходного процесса какого-либо выходного параметра к найденному решению в изображениях применяется обратное преобразование Лапласа.

Для примера по одному общему каналу определим передаточную функцию. Допустим, что нас интересует изменение выходной температуры сырья первого потока φ_{p1} с течением времени под влиянием $f_{32}(\tau)$. В этом случае в системе уравнений (22) принимаем, $f_1(p) = f_2(p) = f_{31}(p) = 0$, но $f_{32}(p) \neq 0$.

* В этом случае $B^{\text{вх.с}} = B^{\text{вых.с}}$.

При $\varphi_{p1}(\tau) = F_{32}[f_{32}(\tau)]$ имеем

$$D_p(p) \varphi_{p1}(p) = \pm M_{p32}(p) f_{32}(p), \quad (23)$$

где $D_p(p)$ — главный определитель системы уравнений (22):

$$D_p(p) = \begin{vmatrix} T_{p.r}p+1 & -a_{p1} & -a_{p2} & -a_{p3} & 0 & 0 \\ -b_{p11} & T_{p.r}p+1 & 0 & -b_{p12} & -b_{p13} & 0 \\ -b_{p21} & 0 & T_{p.tr.2}p+1 & -b_{p22} & 0 & -b_{p23} \\ -c_{p1} & -c_{p2} & -c_{p3} & T_{p.ct}p+1 & 0 & 0 \\ 0 & -d_{p11} & 0 & 0 & T_{p.c.1}p+1 & -d_{p14} \\ 0 & 0 & -d_{p21} & 0 & -d_{p24} & T_{p.c.2}p+1 \end{vmatrix} \quad (24)$$

$M_{p32}(p)$ — минор определителя $D_p(p)$, получающийся при вычерчивании столбца, который относится к переменной $\varphi_{p1}(p)$ и соответствующей строке в уравнении (22) с правой частью $f_{32}(p)$:

$$M_{p32}(p) = \begin{vmatrix} T_{p.r}p+1 & -a_{p1} & -a_{p2} & -a_{p3} & 0 \\ -b_{p11} & T_{p.tr.1}p+1 & 0 & -b_{p12} & 0 \\ -b_{p21} & 0 & T_{p.tr.2}p+1 & -b_{p22} & -b_{p23} \\ -c_{p1} & -c_{p2} & -c_{p3} & T_{p.ct}p+1 & 0 \\ 0 & -d_{p11} & 0 & 0 & -d_{p14} \end{vmatrix} \quad (25)$$

С учетом запаздывания для передаточной функции по каналу возмущения: „расход сырья второго потока — выходная температура сырья первого потока“ получим следующие выражения:

$$W_{f_{32}}^{p1}(p) = W(p) \cdot W_3(p), \quad (26)$$

где $W(p)$ — передаточная функция по рассматриваемому каналу возмущения без запаздывания:

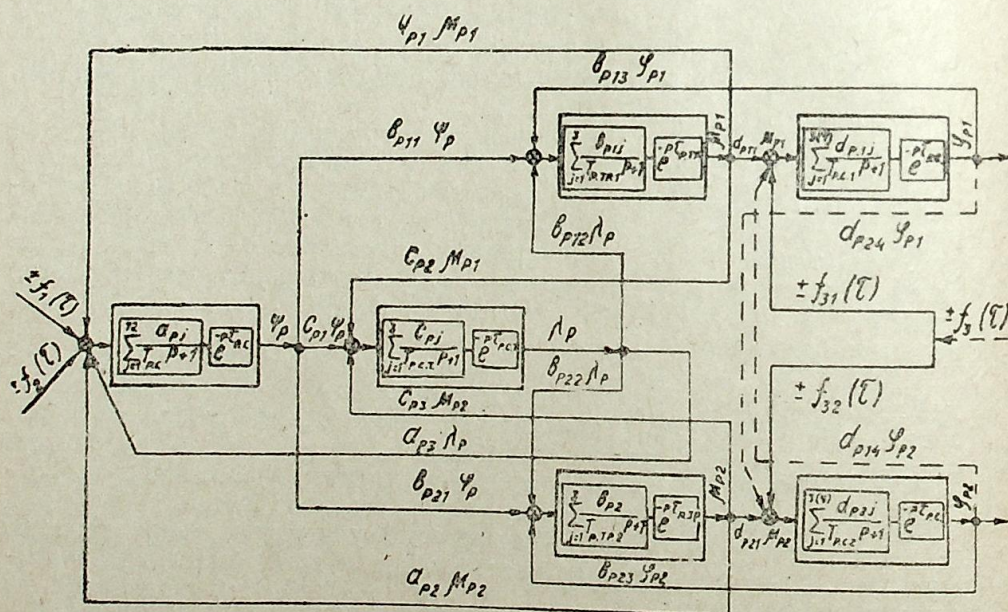


Рис. 2. Структурная схема двухпоточных нагревательных трубчатых печей радиантного типа (радиантных камер) в случае, когда топливо подается одним потоком. Пунктирная линия показывает случай, когда оба потока сырья подаются одним насосом.

$$W(p) = \pm \frac{\varphi_{p1}(p)}{f_{32}(p)} = \pm \frac{M_{p32}(p)}{D_p(p)}; \quad (27)$$

$W_3(p)$ — передаточная функция запаздывающего элемента:

$$W_3(p) = e^{-p\tau}. \quad (28)$$

Если в выражении $f_{32}(\tau)$ примем $\varphi_{p.vk.c.2} = 0$, то общая передаточная функция (26) для конкретного канала возмущения („расход сырья второго потока — выходная температура первого потока“) примет следующий вид:

$$W_{p.vk.c.2}^{p1}(p) = \pm \frac{\varphi_{p1}(p)}{p_{p.vk.c.2}(p)} e^{-p\tau} = \pm \frac{M_{p32}(p) d_{p23}}{D_p(p)} e^{-p\tau}. \quad (29)$$

Аналогично можно записать передаточные функции по другим каналам возмущения.

Такой же последовательностью можно определить передаточные функции в случае, когда каждый поток сырья подается отдельным насосом. На рис. 2 представлена структурная схема двухпоточных нагревательных трубчатых печей радиантного типа (радиантных камер) в случае, когда топливо подается одним потоком с учетом выведенных уравнений динамики для отдельных емкостей.

Выводы

1. Форма и размеры радиантной камеры значительно влияют на уравнение динамики отдельных емкостей радиантной камеры, а также на уравнение динамики трубчатой печи в целом.

2. Уравнение динамики отдельных емкостей радиантных камер являются уравнением первого порядка и в общем виде может быть представлено так:

$$(T_j p + 1) x_{\text{вых}} = \sum_{i=1}^n K_i x_{\text{вх},i},$$

где $x_{\text{вх},i}$, $x_{\text{вых}}$ — входные и выходные параметры;

m_j — постоянные времени;

K_i — передаточные коэффициенты.

3. Постоянная времени „топочных газов“ в радиантной камере $T_{p.r.}$ меньше по сравнению с постоянными времени $T_{p.tr.1}$, $T_{p.tr.2}$, $T_{p.ct.}$, $T_{p.c.1}$, $T_{p.c.2}$. При пренебрежении $T_{p.r.}$, т. е. при $T_{p.r.} = 0$ „топочные газы“ будут безынерционными (беземкостными) звеньями.

4. В двухпоточной радиантной камере, когда оба потока сырья подаются одним насосом, в выражениях передаточных функций по всем каналам возмущения, кроме „расход сырья — выходная температура сырья (первого или второго потока)“, получаются члены, учитывающие взаимовлияние между потоками.

5. Передаточные функции радиантных камер по отдельным каналам возмущения для общего случая могут быть представлены в следующем виде:

$$W(p) = \frac{a_0 p^m + a_1 p^{m-1} + \dots + a_m}{b_0 p^n + b_1 p^{n-1} + \dots + b_n}, \quad \text{где } n > m.$$

6. Запаздывание в емкости „стенок кладки“ меньше, чем запаздывание в других емкостях, поэтому этим запаздыванием можно пренебречь и „стенки кладки“ принять как емкость без запаздывания.

В факельных трубчатых печах большая часть запаздывания в емкости „стенок труб“, при изменении количества топлива, приходится на долю тепла, получаемого излучением от стенок кладки, так как запаздывание этого потока тепла по сравнению с запаздыванием

тепла непосредственной передачи от факела и от топочных газов значительно больше.

7. В радиантных камерах трубчатых печей непосредственная передача тепла от факела и топочных газов происходит за меньшее время, чем время пребывания сырья в змеевике радиантной камеры. Поэтому при неучете влияния потока тепла от стенок кладки время переходного процесса по каналу возмущения „топливо (воздух или пар)—выходная температура сырья“ приблизительно было бы равно времени пребывания сырья в радиантной камере.

8. Уравнения динамики, выведенные для радиантных камер факельных трубчатых печей, могут быть использованы для радиантных камер трубчатых печей с излучающими стенками кладки. Однако при этом в выражениях передаточных коэффициентов и уравнениях динамики отдельных емкостей нужно принять

$$\alpha_{и.з.г}^{р.тр} = \alpha_{и.з.г}^{р.ст} = \alpha_{г.ст}^{р.тр} = \rho_n = \alpha_n = 0.$$

Время переходного процесса по соответствующим каналам возмущения в радиантных камерах факельных трубчатых печей больше, чем в радиантных камерах трубчатых печей с излучающими стенками кладки, так как в факельных трубчатых печах влияние тепла от стенок кладки сказывается несколько позднее, чем при непосредственной передаче тепла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адельсон С. В. Технологический расчет и конструктивное оформление нефтезаводских печей. Гостоптехиздат, 1952.
2. Быков М. И., Федоров В. С. Трубчатые печи. ОНТИ—НКПТ СССР. Грозный—М., 1935.
3. Волох С. М. Теоретические основы расчета трубчатых печей. Изд. АЗИИ им. М. Азизбекова, 1940.
4. Деч Г. Руководство к практическому применению преобразования Лапласа. ГИФМЛ, М., 1958.
5. Окунев Л. Я. Высшая алгебра. Учпедгиз, 1958.
6. Эмирджанов Р. Т. Основы расчета нефтезаводских процессов и аппаратов. Азербайджан, 1956.
7. Топчибашев М. А., Хасмамедов Ф. И. „Журнал ЗПТ“, 1961, № 12.
8. Хасмамедов Ф. И. „Журнал ЗПТ“, 1961, № 11.
9. Хасмамедов Ф. И. „Журнал ЗПТ“, 1962, № 1.
10. Хасмамедов Ф. И. „Журнал ТТУ“, 1962, № 5.
11. Хасмамедов Ф. И. „Изв. АН Азерб. ССР, серия физ.-техн. и матем. наук“, 1962, № 5.
12. Хасмамедов Ф. И. Исследование динамических свойств нагревательных трубчатых печей как объектов автоматического регулирования. Материалы IX научной конференции аспирантов Академии наук Азерб. ССР. Изд. АН Азерб. ССР, 1962.
13. Хасмамедов Ф. И. Изв. АН Азерб. ССР, серия физ.-матем. наук, 1966, № 6.

Ф. И. Хасмамедов

Јаначаг бир ахынла верилэн ики ахынлы гыздырычы радиант
типли борулу собаларын динамик тэнликлэри

ХУЛАСӘ

Мәгаләдә мұәллиф тәрәфиндән тәклиф едилән үсула кәрә јаначаг бир ахынла верилән ики ахынлы гыздырычы радиант типли борулу собаларын (радиант камерләр) һәр ики хаммал ахыны бир вә ајры-

ајры насосла верилән һаллары үчүн динамик тәнликләр мұәјјән едил-
мишдир. Бу нөв борулу собалар (камерләр) 6 тутумлудур. Скелет
схемә кәрә истилик балансына әсасән һәр тутумун динамик тәнлији
мұәјјән едилмишдир. Сонра исә тутумларын динамик тәнликләринә
әсасән бу нөв борулу собалар үчүн структур схем гурулмушдур.
Мәгаләнин сонунда ајры-ајры каналлар үзрә өтүрмә функцијала-
рынын мұәјјән едилмәси вә алынән нәтичәләр кәстәрилмишдир.

Ф. Г. ГУСЕЙНОВ, Ю. Э. ГУЛИЕВ, О. А. ЭЛЬДАРОВ

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РЕМОНТОВ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Оптимальное планирование ремонтов основного оборудования электростанций требует совокупного решения двух задач: наивыгоднейшего распределения нагрузки энергосистемы между агрегатами и наилучшего распределения ремонтов оборудования по этапам планируемого года. В качестве экономического критерия при выполнении этих условий принимается минимум суммарных затрат на топливо по энергосистеме за период планирования. При решении указанных задач должны учитываться следующие ограничивающие условия: соблюдение баланса мощности энергосистемы, обеспечение резерва мощности, выполнение плана по ремонту, продолжительность ремонта отдельных агрегатов и возможности ремонтных служб.

Успешное решение задач оптимизации требует широкого применения современного математического аппарата. Особенно перспективными представляются в этом отношении методы математического программирования (линейное, нелинейное и динамическое) и теория графов. В общем виде задача математического программирования формулируется следующим образом [1]: требуется найти вектор $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, доставляющий экстремум целевой функции:

$$f(X) = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

при ограничениях:

$$\begin{aligned} a_i(X) = a_i(x_1, x_2, \dots, x_n) &\leq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m; \\ x_j &\geq 0; \quad j = 1, 2, \dots, n. \end{aligned} \quad (2)$$

Сформулируем задачу оптимального планирования ремонтов как задачу математического программирования.

В энергосистеме, содержащей m агрегатов, необходимо вывести в ремонт s агрегатов за рассматриваемый период планирования, состоящего из N этапов. Требуется так распределить ремонт агрегатов по этапам, чтобы суммарные затраты на топливо за период планирования были минимальными. Эти затраты зависят от нагрузки агрегатов, цены топлива, состава работающих агрегатов и их состояния. Целевую функцию можно представить в следующем виде:

$$R = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^m f_i(P_{ij}, v_{ij}, z_{ij}, a_{ij}), \quad (3)$$

где R — суммарные затраты на топливо по энергосистеме за N этапов;
 P_{ij} — нагрузка агрегата i на этапе j ;
 v_{ij} — цена топлива;
 z_{ij}, a_{ij} — коэффициенты, учитывающие состав работающих агрегатов на этапе j и их состояние.

Укажем основные ограничивающие условия. Для ремонтируемых агрегатов имеем

$$\sum_j^{j+n_i-1} P_{ij} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, s, \quad (4)$$

где n_i — продолжительность ремонта агрегата i .
Условие соблюдения баланса мощности

$$\sum_{i=1}^m P_{ij} = P_{aj} + \Delta P, \quad j = 1, 2, \dots, N, \quad (5)$$

где P_{aj} — суммарная нагрузка.

ΔP — суммарные потери мощности в сети.

Ограничение по максимальной (P_{imax}) и минимальной (P_{imin}) нагрузке каждого агрегата

$$P_{\text{imin}} \leq P_{ij} \leq P_{\text{imax}}. \quad (6)$$

Зависимость расхода топлива от нагрузки можно представить выражением

$$B_i = B_{i0} + \int_0^{P_i} \epsilon_i dP, \quad (7)$$

где B_{i0} — расход топлива на холостой ход;

$\epsilon_i = \frac{dB_i}{dP}$ — удельный прирост часового расхода топлива блоком.

Характеристики удельных приростов блоков являются нелинейными (связано с характеристикой котла) и в общем случае имеют один или несколько разрывов непрерывности (что связано с характеристикой турбины) [2]. Отсюда и целевая функция (3) будет представлять нелинейную разрывную функцию.

Таким образом, исследуемая задача относится к нелинейному программированию с разрывной целевой функцией. Одним из методов решения подобных задач является сведение их к целочисленному линейному программированию. Для этого представим мощности каждого агрегата как множество дискретных значений в интервале изменения мощности от минимальной до максимальной:

$$P_{\text{imin}} = P_i^1, P_i^2, \dots, P_i^{l_i}, \dots, P_i^{k_i} = P_{\text{imax}}.$$

Каждому из значений $P_i^{l_i}$ соответствует определенный расход топлива по расходной характеристике:

$$B_{\text{imin}} = B_i^1, B_i^2, \dots, B_i^{l_i}, \dots, B_i^{k_i} = B_{\text{imax}},$$

где

$$i = 1, 2, \dots, s, \dots, m; \quad l_i = 1, 2, \dots, k_i.$$

На каждом этапе j имеются различные варианты вывода в ремонт агрегатов. Каждый вариант можно отождествить с системой чисел $x_{ij}^{l_i}$, положив $x_{ij}^{l_i} = 0$ при выводе в ремонт i -того агрегата на этапе j и $x_{ij}^{l_i} = 1$ при работе агрегата. Тогда целевую функцию можно представить в следующем виде:

$$R = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^m \sum_{l_i=1}^{k_i} B_{ij}^{l_i} v_{ij} x_{ij}^{l_i} T_{ij}^{l_i}, \quad (8)$$

где $T_{ij}^{l_i}$ — продолжительность соответствующей нагрузки.

Требуется минимизировать эту функцию при следующих ограничивающих условиях:
для агрегатов, подлежащих ремонту,

$$\sum_{l_i=1}^{k_i} x_{ij}^{l_i} \leq 1, \quad i = 1, 2, \dots, s, \quad (9)$$

$$j = 1, 2, \dots, N;$$

для агрегатов, не подлежащих ремонту,

$$\sum_{l_i=1}^{k_i} x_{ij}^{l_i} = 1, \quad i = s+1; s+2, \dots, m, \quad (10)$$

$$j = 1, 2, \dots, N;$$

условие соблюдения баланса мощностей

$$\sum_{i=1}^m \sum_{l_i=1}^{k_i} P_{ij}^{l_i} x_{ij}^{l_i} = P_{aj} + \Delta P; \quad (11)$$

учет продолжительности работы агрегатов, подлежащих ремонту:

$$\sum_{j=1}^N \sum_{l_i=1}^{k_i} x_{ij}^{l_i} = N - n_i, \quad i = 1, 2, \dots, s \quad (12)$$

и агрегатов, не подлежащих ремонту:

$$\sum_{j=1}^N \sum_{l_i=1}^{k_i} x_{ij}^{l_i} = N, \quad i = s+1, s+2, \dots, m; \quad (13)$$

учет продолжительности ремонта агрегатов:

$$\sum_j^{j+n_i-1} x_{ij}^{l_i} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, s; \quad (14)$$

$$j = 1, 2, \dots, N;$$

ограничение, учитывающее возможности ремонтных служб:

$$s - \sum_{i=1}^s x_{ij}^{l_i} \leq t_j; \quad j = 1, 2, \dots, N, \quad (15)$$

где t_j — возможное количество агрегатов, одновременно выводимых в ремонт;

условие, учитывающее необходимый резерв мощности;

$$(1 + k_{\text{рез}}) \sum_{l_i=1}^{k_i} P_{ij}^{l_i} x_{ij}^{l_i} = \sum_{l_i=1}^{k_i} P_{i \max} \cdot x_{ij}^{l_i}, \quad (16)$$

$$j = 1, 2, \dots, N;$$

где $k_{\text{рез}}$ — коэффициент резерва мощности.

Таким образом, задача оптимального планирования ремонтов сведена к задаче целочисленного линейного программирования, состоящей в минимизации линейной формы (8) при соблюдении условий (9)–(16). Число уравнений, выражающих условия (9)–(16), составит

$$N(m + s + 3) + m, \quad (17)$$

а число переменных

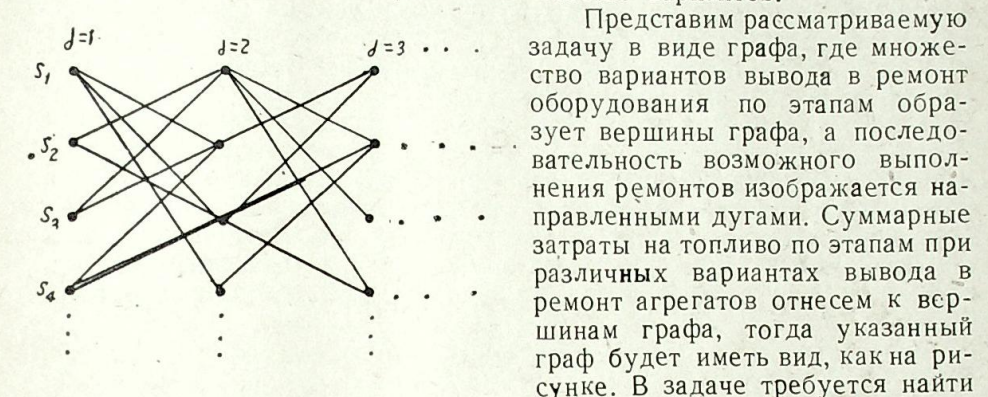
$$N \cdot m \cdot k_i. \quad (18)$$

Так, например, при $m = 25$; $s = 5$; $N = 12$ и $k_i = 20$ число уравнений составит 421, а переменных — 6000. Решение подобной задачи даже с применением современных вычислительных машин не пред-

ставляется возможным. Это обстоятельство вынуждает переходить к последовательному решению задач наивыгоднейшего распределения нагрузки энерго-системы и наилучшего распределения ремонтов по этапам планируемого года.

Алгоритм решения первой задачи приведен в [3]. В результате решения этой задачи определяются суммарные затраты на топливо по энергосистеме вариантно по этапам.

Во второй задаче требуется среди всех допустимых вариантов вывода в ремонт агрегатов по этапам выбрать оптимальный. Подобные задачи, относящиеся к экстремальным задачам комбинаторного типа, обычно имеют столь огромное число возможных вариантов, что решение их путем прямого перебора всех вариантов связано с непреодолимыми трудностями. Применение специальных математических методов, таких как динамическое программирование, теория графов, позволяет существенно сократить количество вариантов.



такой по краткости путь в графе, в котором каждый из s_i подлежащих ремонту агрегатов, встречается ровно n_i раз. В общем случае этот путь не всегда наикратчайший. Поэтому задаемся величиной k .

Назовем стоимостью пути сумму затрат на топливо, указанных в вершинах графа, через которые проходит данный путь. Решение начинается с определения стоимости путей до каждой вершины, входящей во второй этап ($j=2$). Эти стоимости образуют множества, которые объединяем в одно множество, где элементы записываются в возрастающем порядке. Делаем выборку k первых элементов из полученного объединения. Каждый элемент выборки относим к той вершине, стоимость пути до которой этот элемент определяет.

Повторяем проделанную операцию для вершин этапа $j=3$ и т. д. до завершения N этапов. В результате определяются стоимости k путей, соответствующие с первого по k -ый по кратности путям. Для определения последовательности ремонтов агрегатов от полученной стоимости пути, начиная с этапа N , в обратной последовательности вычитают стоимости пути до $N-1$, $N-2$, ..., $N-j$, ..., 1 вершины через которые проходит данный путь. При этом фиксируются номера вершин и соответствующие им варианты вывода в ремонт агрегатов. Поступая аналогично со всеми полученными k стоимостями, определим k последовательностей ремонтов, из которых выбираем ту последовательность, где каждый из агрегатов встречается ровно n_i раз. Эта последовательность будет оптимальной.

Приведенный метод решения задачи обладает тем неудобством, что для реальных энергетических систем граф получается очень громоздким и запутанным. Некоторую трудность составляет выбор величины k : при малом k мы можем не получить нужного решения, а с увеличением k решение задачи осложняется.

Поскольку задача оптимального планирования ремонтов рассматривает многошаговый процесс, то для ее решения можно с успехом применять метод динамического программирования [4]. Если на каждом этапе j варианты вывода в ремонт агрегатов образуют множество допустимых поведений S_j и с каждым поведением связаны затраты на топливо по энерго-системе $R_j(s)$, тогда можно записать рекуррентное соотношение для исследуемой задачи:

$$\begin{cases} f_1(s) = R_1(s), \\ f_j(s) = \min_{s \in S_j} [R_j(s) + f_{j-1}(s)], \end{cases} \quad (19)$$

где $f_j(s)$ — суммарные затраты на топливо от j -шагового процесса, начинающегося в состоянии s , в случае оптимального поведения.

Таким образом, метод нахождения оптимального решения сводится к нахождению решения $f_j(s)$ сначала для одношагового процесса, потом для двухшагового и т. д., до завершения N -шагового процесса. Решение начинается с любого варианта на этапе $j=1$, затем по рекуррентным соотношениям (19) определяется последовательность выполнения ремонтов, обеспечивающая минимум затрат за N этапов. При этом на каждом шаге принимается такое решение, чтобы ремонтируемый агрегат содержался в последовательности один раз. Аналогично определяются последовательности, начинающиеся со всех допустимых поведений на этапе $j=1$. Последовательность, обеспечивающая минимум суммарных затрат на топливо по энергосистеме, за N этапов будет определять оптимальный план ремонта агрегатов.

Выводы

1. Оптимальное планирование ремонтов основного оборудования электростанций осуществляется последовательным решением двух задач: наивыгоднейшего распределения нагрузки между агрегатами и наилучшего распределения ремонтов по этапам планируемого года.
2. Решение первой задачи осуществляется по методике, приведенной в [3]. Решение второй задачи наиболее эффективно осуществляется применением метода динамического программирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зуховицкий С. И., Авдеева Л. И. Линейное и выпуклое программирование. „Наука“, 1964.
2. Маркович И. М. Режимы энергетических систем, Госэнергоиздат, 1963.
3. Гусейнов Ф. Г., Гулиев Ю. Э., Эльдаров О. А. „За технический прогресс“, 1967, №
9. Беллман Р., Дрейфус С. Прикладные задачи динамического программирования, „Наука“, 1965.

Ч. М. ДЖУВАРЛЫ, Л. А. МУХАРСКАЯ

ВЛИЯНИЕ ГЛУБИНЫ СЕРНОКИСЛОТНОЙ ОЧИСТКИ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ МАСЕЛ

Бакинские трансформаторные масла в настоящее время изготавливаются кислотно-щелочным методом очистки. В качестве сырья до последнего времени использовалась в основном беспарафинистая бузовнинская нефть. Исследованиями [1] показано, что принятый режим очистки, разработанный для применяемой ранее малосмолистой балаханской масляной нефти, не обеспечивает необходимого качества масел из бузовнинской нефти, прежде всего стабильности первоначальных характеристик при эксплуатации масел в трансформаторах. В маслах после двух-трех лет работы появляется кислая реакция водной вытяжки, что свидетельствует о необходимости проведения исследований по изысканию путей улучшения их качества.

Одним из способов улучшения качества масел, без коренного изменения технологии их изготовления, может быть повышение расхода серной кислоты. Нами изучалось влияние глубины серно-кислотной очистки на термическую стабильность трансформаторных масел. Помимо определения качества масел в соответствии с действующим стандартом (ГОСТ 982—56), производилось окисление масел в условиях близких к условиям работы их в трансформаторах. Масла выдерживались при 105°C в течение 300 часов в условиях свободного доступа воздуха к их поверхности. Исходя из того, что в маслonaполненной аппаратуре обычно имеет место контакт масла с металлами, окисление производилось в присутствии катализаторов — меди и железа. Стабильность масел определялась по изменению в процессе окисления тангенса угла диэлектрических потерь, кислотного числа и содержания в маслах низкомолекулярных кислот. Масла перед снятием электрических и химических показателей тщательно перемешивали, так что образовавшийся в процессе старения осадок оказывал непосредственное влияние на характеристики окисленных масел.

Характеристики масел, полученных из беспарафинистой бузовнинской нефти при различном расходе серной кислоты, приведены в табл. 1. По остальным показателям масла удовлетворяли требованиям стандарта. Проведенные исследования показали, что изменение расхода серной кислоты в пределах 8—16% не оказывает влияния на исходные значения $\lg \delta$, кислотных чисел и на остальные показатели, входящие в ГОСТ 982-56. Углубление сернокислотной очистки заметно влияет на изменение первоначальных показателей масел в процессе их окисления в принятых нами условиях. Повышение расхода серной кислоты с применяемых в настоящее время 8% до 12—16% значи-

Таблица 1

Характеристика масел, полученных из беспарафинистой бузовнинской нефти при различном расходе серной кислоты

Масло	Время окисления, час	Условия окисления	tg δ в % при			Кислотное число, мг КОН/г	Водорастворимые кислоты	
			20 °C	70 °C	100 °C		мг КОН/г	реакция
Товарное, очищено 8 % кислоты	0	—	0,1	0,9	2,6	0,01	0	нейтральная
	300	без катализаторов	0,6	6,2	18,5	0,06	0,016	кислая
	300	с катализаторами	1,6	17	50,8	0,12	0,032	"
Очищено 10 % кислоты	0	—	0,1	0,8	2,5	0,01	0	нейтральная
	300	без катализаторов	0,5	4,5	14	0,04	0,013	"
	300	с катализаторами	1,3	12	34	0,08	0,08	кислая
Очищено 12 % кислоты	0	—	0,1	1,0	3,0	0,01	0	нейтральная
	300	без катализаторов	0,3	3,1	9,5	0,02	0,007	"
	300	с катализаторами	1,0	10	27	0,05	0,013	"
Очищено 16 % кислоты	0	—	0,1	0,9	2,7	0,01	0	нейтральная
	300	без катализаторов	0,3	2,8	8,5	0,02	0,006	"
	300	с катализаторами	0,7	7,8	22	0,04	0,012	"

тельно улучшает стабильность трансформаторных масел, что выражается в меньшем повышении значений tg δ, кислотных чисел и содержания низкомолекулярных кислот в процессе старения.

Для исследованных масел наблюдалось соответствие изменения электрических характеристик нарастанию в них кислотных продуктов реакции. Присутствие катализаторов интенсифицирует процесс окисления масел. При этом зависимости, найденные в отсутствие катализаторов, подтверждаются при окислении тех же масел в присутствии катализаторов.

Изучение группового химического состава масел показало примерно одинаковое содержание ароматических углеводородов в маслах очищенных 8÷16 % серной кислоты. Улучшение антиокислительной стабильности масел при изменении расхода кислоты в этих пределах происходит главным образом благодаря более глубокому удалению из дистиллятов смолистых веществ. Об этом же свидетельствуют та-

Таблица 2

Характеристика масел, полученных из смеси парафинистых нефтей—сураханской отборной и карачухурской, при различном расходе серной кислоты

Масло	Время окисления, час	Условия окисления	tg δ в % при			Кислотное число, мг КОН/г	Водорастворимые кислоты	
			20 °C	70 °C	100 °C		мг КОН/г	Реакция
Очищено 6 % кислоты	0	—	0,1	1,0	2,9	0,01	0	нейтральная
	300	без катализаторов	0,4	3,3	9,7	0,02	0,008	"
	300	с катализаторами	1,0	8,9	26	0,05	0,013	"
Очищено 8 % кислоты	0	—	0,1	0,8	2,3	0,01	0	Нейтральная
	300	без катализаторов	0,3	2,8	8,2	0,02	0,006	"
	300	с катализаторами	0,7	6,8	21	0,04	0,01	"
Очищено 10 % кислоты	0	—	0,1	0,7	2,2	0,01	0	нейтральная
	300	без катализаторов	0,3	2,5	7,4	0,02	0,005	"
	300	с катализаторами	0,6	5,8	18	0,04	0,008	"

кие характеристики масел, как склонность их к газовыделению под действием высокоградиентных электрических полей, непосредственно связанная с содержанием в маслах ароматических углеводородов [2]. Масла бузовнинской нефти, полученные при различном расходе серной кислоты (8÷16%), характеризуются примерно одинаковой газостойкостью. Они поглощают газ под действием электрического поля, что обусловливается благоприятным (с точки зрения газостойкости) соотношением в этих маслах ароматических и нефтено-парафиновых углеводородов. Таким образом, улучшение качества масел из используемой бузовнинской нефти может быть достигнуто повышением расхода серной кислоты.

За последнее время, помимо бузовнинской нефти, в производство трансформаторных масел вовлекаются бакинские парафинистые нефти. Переработка дистиллятов этих нефтей осуществляется на отдельном блоке, тем же кислотно-щелочным методом очистки, по технологии, разработанной ИНХП АН Азербайджанской ССР и осуществленной Бакинским нефтеперерабатывающим заводом им. XXII съезда КПСС. Для удаления твердых парафиновых углеводородов и получения низкозастывающих трансформаторных масел применяется карбамидная депарафинизация.

Изучалось влияние глубины сернокислотной очистки на стабильность трансформаторных масел, полученных из смеси бакинских парафинистых нефтей—сураханской отборной и карачухурской. Эти нефти малосмолистые, поэтому при принятом расходе серной кис-

лоты (6% на дистиллят) обеспечивается получение масел, превышающих по стабильности товарные масла бузовнинской нефти (табл. 2). С углублением очистки (до 10% кислоты на дистиллят) антиокислительная стабильность масел повышается, что свидетельствует о возможности увеличения расхода кислоты в изученных пределах, не опасаясь переочистки.

Таблица 3

Характеристика масел, полученных из смеси парафинистых нефтей—сураханской отборной, карачухурской и „Нефтяных Камней“, при различном расходе серной кислоты

Масло	Время окисления, час	Условия окисления	tg δ в % при			Кислотное число, мг КОН/г	Водорастворимые кислоты	
			20 °С	70 °С	100 °С		мг КОН/г	Реакция
Очищено 6 % кислоты	0	—	0,1	0,9	2,5	0,01	0	нейтральная
	300	без катализаторов	0,4	3,9	12	0,03	0,01	„
	300	с катализаторами	1,0	10	31	0,06	0,02	кислая
Очищено 10 % кислоты	0	—	0,1	0,8	2,3	0,01	—	нейтральная
	300	без катализаторов	0,4	3,2	9,5	0,02	0,007	„
	300	с катализаторами	0,8	8,6	25	0,04	0,012	„

Исследуемые масла по всем показателям отвечали требованиям стандарта, за исключением температуры застывания, которая и после обработки карбамидом превышала нормируемое ГОСТом значение (—45°С). Для получения необходимой температуры застывания в эти масла вводят депрессорную присадку—полиметакрилат, который, обеспечивая необходимую температуру застывания и не оказывая влияния на электрические и физико-химические показатели масел, способствует выпадению в них осадков полимерного характера. В связи с поступившими жалобами энергосистем на склонность к осадкообразованию масел карбамидной депарафинизации с присадкой полиметакрилата изучались свойства масел, полученных из тех же парафинистых нефтей, с добавлением нефти „Нефтяных Камней“. Вовлечение в трансформаторный дистиллят нефти „Нефтяных Камней“ (в количестве 50%) дало возможность заводу получить методом карбамидной депарафинизации масла с необходимой температурой застывания, без применения депрессорных присадок.

Характеристика масел, полученных из смеси парафинистых нефтей—сураханской отборной, карачухурской и Нефтяных Камней приведена в табл. 3. По остальным показателям масла отвечали требованиям стандарта. Из полученных результатов следует, что добавление нефти Нефтяных Камней, не оказывая влияния на исходные характеристики масел, незначительно ухудшает их антиокислительную стабильность, что свидетельствует о целесообразности использования этого сырья при производстве масел карбамидной депарафинизации. Повы-

шение расхода серной кислоты с 6 до 10% (на дистиллят) приводит к улучшению стабильности масел.

Масла карбамидной депарафинизации характеризовались зависимостью изменения в процессе старения электрических показателей от нарастания кислых продуктов, а также закономерным ускорением процесса окисления в присутствии катализаторов.

Изучение поведения масел карбамидной депарафинизации в ионизированной газовой среде показало, что их можно, как и масла бузовнинской нефти, отнести к газостойким, поглощающим газ под действием электрического поля.

Таким образом, использование для производства масел карбамидной депарафинизации в качестве исходного сырья смеси парафинистых нефтей—сураханской отборной, карачухурской и „Нефтяных Камней“ позволяет получать масла, по всем показателям отвечающие требованиям стандарта и превышающие по антиокислительной стабильности выпускаемые в настоящее время товарные масла на беспарафинистой бузовнинской нефти.

ЛИТЕРАТУРА

1. Джуварлы Ч. М., Мухарская Л. А. АНХ, 1958, № 12.
2. Джуварлы Ч. М., Мухарская Л. А. Тр. Энергетич. ин-та, т. XVII 1967

Ч. М. Чуварлы, Л. А. Мухарская

Күкүрд туршусу тэмизлэмэсинин дэринлижинин трансформатор жағларынын дајаныглығына тәсири

ХҮЛАСӘ

Трансформатор жағларынын оксидлэшмәјә дајаныглығынын тәјини онларын трансформатордакы ишинә ујғун бир шәраитдә, катализаторун иштирак етмәси һаллары үчүн апарылмышдыр. Жағларын дајаныглығы оксидлэшмә просесиндә диелектрик итки бучагы танкенсинин, туршу рәғәминин вә зәиф молекулјар туршу тәркибинин дәјишмәси илә характеризә едилмишдир.

Апарылан тәдгигатлар трансформатор жағларынын дајаныглығынын күкүрд туршусу тэмизләмә дэринлијиндән билаваситә асылы олдуғуну көстәрди.

Һазырда истифадә олуна парфинсиз Бузовна нефтиндән алынған трансформатор жағларыны күкүрд туршусу сәрфини 8%-дән 12—16%-дәк артырмагла јахшылашдырмағ олар.

Трансформатор жағларынын истеһсалы үчүн Бақынын парафин, Сураханынын сечмә, Гарахур вә Нефт даһлары нефтинин гатышығын-дан истифадә етмәк олар. Һәмин нефтин туршу-гәләви тэмизләмә үсулу вә карбамид парфинсизләшдирмә деһтиләси стандарта ујғун жағларынын оксидлэшмәјә гаршы дајаныглығы парфинсиз Бузовна нефтиндән алынған жағлардан үстүндүр.

Ш. Н. МАМЕДОВ, Г. Г. МУХТАРОВ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОВЕДЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

На рудниках и геологоразведочными партиями Азербайджана ежегодно проходятся десятки тысяч метров горизонтальных горных выработок (штолен, штреков и ортов). Сечение этих выработок в большинстве случаев не превышает $4-5 \text{ м}^2$. Из практики ряда рудников видно, что большие резервы для роста производительности труда представляют проходческие работы, где занято столько же рабочих (иногда и больше), сколько на очистных работах. Во многих случаях эти резервы используются очень слабо. Производительность труда рабочих, занятых на проведении выработок, зачастую не превышает $1,5-2 \text{ м}^3/\text{чел.-смену}$. Основное место по трудоемкости и затратам при проведении выработок занимают буровзрывные работы, трудоемкость которых колеблется от 40 до 60%, а фактические затраты в общей себестоимости выработки—в пределах 50—70%. Помимо значительной трудоемкости и денежных затрат, буровзрывной комплекс во многом определяет степень интенсивности проведения выработок, возможность снижения затрат времени на другие операции проходческого цикла (уборка породы, проветривание выработки и т. д.), а также санитарно-гигиенические условия труда рабочих.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что совершенствование буровзрывного комплекса работ—одно из важнейших мероприятий при проведении выработок. Это совершенствование должно осуществляться путем создания и внедрения более производительного бурового оборудования, применения более мощного взрывного вещества (ВВ), улучшения организации труда и усовершенствования параметров буровзрывных работ.

При проведении выработок по неустойчивым породам, требующих постоянного поддержания, крепление превращается в один из трудоемких и дорогостоящих процессов. Несмотря на положительные результаты исследовательских работ по штанговому креплению, на наших рудниках и в геологоразведочных партиях до сего времени не решен вопрос о замене дорогостоящего и трудоемкого деревянного крепления горизонтальных выработок штанговой крепью. В настоящей статье рассматриваются вопросы применения штанговой крепи и шпуров малого диаметра при проведении горизонтальных выработок.

Применение шпуров малого диаметра. При проведении выработок сечением $4-5 \text{ м}^2$ большое применение получили шпуров диаметром 42—46 мм и патроны ВВ диаметром 32 мм.

Проведенные исследования на рудниках Азербайджана показывают, что независимо от диаметра применяемых шпуров, для правильного оконтуривания выработок небольшого сечения и равномерного дробления породы приходится бурить определенное число шпуров. Минимальное их число для выработки сечением $4-5 \text{ м}^2$, проходимой в скальных породах средней крепости ($f = 8-10$), равно 13—15. Из них 4 шпура являются врубовыми, 3 располагаются в кровле, 3—4 в почве и 2 по каждому боку выработки. При меньшем числе шпуров выработка имеет неправильные формы и трудно оформить ее кровлю в виде свода или прямолинейно, а в боках выработки остаются выступы.

Применение шпуров диаметром 42—46 мм при проведении выработок в значительной степени объясняется тем, что промышленностью до недавнего времени выпускались коронки только этого диаметра и буровая сталь У7, которая из-за низкого качества имела диаметр 25 мм, а толщину по диагонали 29,3 мм. Кроме того, патроны взрывчатого вещества изготовлялись диаметром $31 \pm 1 \text{ мм}$ и более.

Поскольку в настоящее время созданы новые, более мощные взрывчатые вещества—детониты в патронах диаметром 28 мм, высокочастотные перфораторы, коронки крестовой формы с прерывистым лезвием уменьшенного диаметра (34—36 мм) и долотчатой формы диаметром 32—34 мм, а также стойкие буровые стали 55 С2, 30 ХГСФА диаметром 19 и 22 мм, то можно сказать, что применение шпуров малого диаметра при проведении выработок не связано с техническими трудностями.

Необходимо отметить, что применение шпуров различного диаметра должно решаться для каждого конкретного случая в отдельности. Так, некоторые специалисты горного дела считают, что применение шпуров большого диаметра (более 46 мм) дает лучший экономический эффект по сравнению со шпурами малого диаметра. С целью выяснения условий и эффективности применения шпуров малого диаметра и определения отдельных параметров их при проведении выработок мы сочли нужным произвести специальные исследования в производственных условиях в 1965 г. на Гюмушлугском свинцовом руднике. При проведении опытных работ были определены скорость бурения, производительность труда бурильщика, коэффициент использования шпуров, расход ВВ, равномерность дробления породы, правильность оконтуривания выработки, технико-экономические показатели буровзрывных работ при различных диаметрах шпуров и ряд других данных.

Опытные работы проводились в штреках № 1 и 2, заданных из восстающего № 47 по рудной жиле № 19 первого участка. Сечение обоих штреков было одинаковым. Забой имел ширину по кровле 1,6 м, по почве 2 м и высоту 2 м. При таких размерах сечение штреков составляло в среднем $3,6 \text{ м}^2$. Штреки проводились частично по рудной жиле (зоне) и частично по боковым породам, представленным известняками. Мощность жилы 0,4—1 м. Боковые породы и зона сухие и характеризуются достаточной устойчивостью, крепость их равна 10 по шкале проф. М. М. Протодяконова.

Для опытных работ были подобраны комплекты коронок крестовой формы диаметром 43—46 и 35—36 мм. Этими коронками поочередно, через цикл обуривали и взрывали забой штреков в течение 1,5 месяца. Бурение шпуров производили префоратором ПМ-508 с пневмоподдержкой. Давление сжатого воздуха у компрессора было 6,5 ат, а в забое около 5 ат. Забой штреков как при коронках диаметром 43—46 мм, так и 35—36 мм обуривался по одинаковой схеме. Как в одном, так и в другом случаях применяли вертикальный клиновой вруб; глубина шпуров и расстояние между ними были одина-

ковыми. Не изменяли также количества ВВ и плотности заражения. В качестве ВВ использовали аммонит № 6 в патронах диаметром 31 ± 1 мм. Положение патрона-боевика было вторым от дна шпура. Взрывание огневое, при помощи огнепроводного шнура. Схема расположения шпуров представлена на рис. 1. Параметры буровзрывных работ даны в табл. 1.

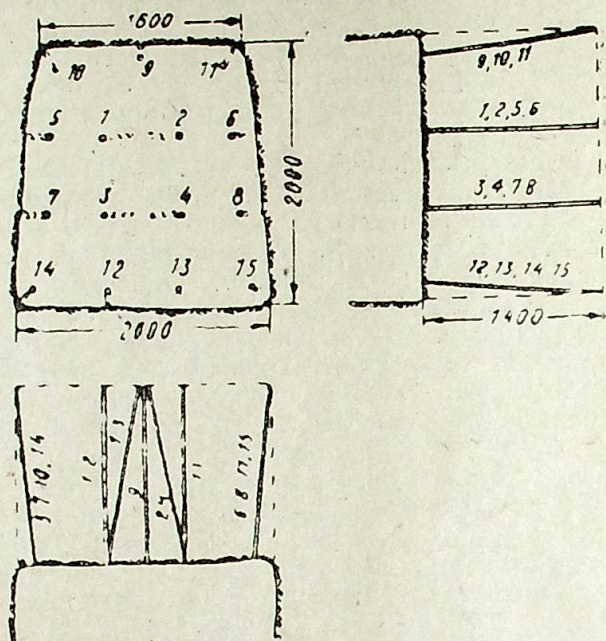


Рис. 1. Схема расположения шпуров малого диаметра

Как при использовании шпуров диаметром 35—36, так и 43—46 мм результаты взрыва соответствовали производственным требованиям. Не было никаких отказов шпуров. К. и.ш. в обоих случаях колебался от 0,8 до 0,9. Взорванная порода была мелкая, очень удобная для

Таблица 1

Наименование шпуров	Номера шпуров	Колич. шпуров	Глубина шпуров, м	Колич. ВВ на 1 шпур, кг	Суммарное колич. ВВ, кг	Средства взрывания	
						КД, штук	ОПШ, м
Врубные	1—4	4	1,5	1,0	4,0	4	6,4
Боковые	5—8	4	1,4	0,8	3,2	4	6,4
Верхние	9—11	3	1,4	0,8	2,4	3	4,8
Нижние	12—15	4	1,4	0,8	3,2	4	6,4
Всего		15			12,8	15	24,0

погрузки и располагалась под нормальным углом откоса, без значительного разброса. Не было случаев нарушения взрывом кровли и боков штреков. Стенки и кровля были ровными, без каких-либо значительных выступов и ребер. В почве не осталось порохов. Другими словами, как в том, так и в другом случаях штреки оконтуривались нормально.

Средние результаты опытных работ и их оценка приведены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели	Диаметр шпуров, мм	
	43—46	35—36
Сечение штреков, м ²	3,6	3,6
Количество шпуров	15	15
Средняя глубина шпуров, м	1,4	1,4
Общая длина шпуров, м	21,4	21,4
Число шпуров на 1 м ² , забоя	4,2	4,2
Объем взорванной породы за взрыв, м ³	4,32	4,32
Расход шпурометров на 1 м ³ взорванной породы, м/м ³	4,95	4,95
Расход ВВ на 1 м ³ взорванной породы, кг	2,96	2,96
Коэффициент использования шпуров	0,86	0,86
Средняя скорость за чистое время бурения, мм/мин	142	200
Средняя скорость за общее время бурения, мм/мин	100	141
Производительность бурильщика за смену, в шпурометрах, в %	120	160
в м ³ отбитой горной массы	100	133
в %	42,8	57
	8,62	11,5
	100	133

Из таблицы видно, что использование шпуров диаметром 35—36 мм взамен 43—46 мм при одинаковых прочих условиях приводит к росту скорости за чистое время бурения в 1,4 раза и производительности труда бурильщиков в 1,33 раза. Необходимо отметить, что при использовании мощных ВВ—детонитов, буровых сталей 55С2 и 30ХСФА диаметром 19—22 мм при проведении выработок могут оказаться более рациональными шпуров диаметром менее 35—36 мм например, 30—32 мм.

Результаты исследований, проведенных нами в очистных блоках Гюмушлугского и Парагачайского рудников, показывают, что применение буровых коронок диаметром 30—36 мм и штанг диаметром 19—22 мм позволяет повысить скорость бурения в скальных породах в 1,5—2,5 раза, а производительность труда бурильщика в 1,4—1,7 раза по сравнению со скоростью бурения и производительностью труда, получаемых при бурении коронками диаметром 42—46 мм и штангами диаметром 25 мм. Испытания штанг, изготовленных из сталей различных марок, на рудниках бывшего Дальневосточного, Мурманского, Восточносибирского и других совнархозов показали, что наиболее эффективными по стойкости являются буровые штанги из легированной стали 30ХГСФА и 55 С2. Их стойкость в 2—4 раза больше стойкости штанг из стали У7.

Замена низкочастотных перфораторов новыми, быстроударными (высокочастотными) позволяет увеличить производительность труда бурильщика на 15—20%. Применение детонитов, работоспособность которых на 25—30% выше, чем у аммонитов, позволяет изменить сетку расположения шпуров (уменьшить их число) и увеличить глубину их, способствует поднятию производительности труда. Исследования показывают, что при проходке выработок небольшого сечения экономически выгодно применять шпуров уменьшенного диаметра (30—36 мм).

Применение штанговой крепи. Выработки, проходимые на рудниках и геологоразведочными партиями Азербайджана (штреки, штольни, орты), в зависимости от крепости проходимых пород, сечений выработок и их назначения либо вообще не крепятся, либо крепятся деревянными крепежными рамами. Части крепежных рам изготавливаются из круглого леса толщиной 16—28 см. Расстояние между рамами

ми по оси выработки, в зависимости от устойчивости горных пород, составляет в среднем от 0,5—0,8 до 1—1,2 м. Стенки выработок в большинстве случаев не затягиваются, а кровля, во избежание паде-ния отдельных кусков породы, затягивается обаполами или горбылями, реже тонким круглым лесом. При неустойчивых породах и большом горном давлении крепежные рамы ставят вплотную друг к другу. Соединение стоек с перекладом производится в лапу. Элементы кре-пежных рам заделываются на поверхности или непосредственно в забое, под землей. Бетонная, железобетонная, металлическая и дру-гие виды крепи вовсе не применяются.

Многолетние наблюдения за состоянием выработок на рудниках Азербайджана показали, что кровля их нуждается в поддержании, а бока в продолжение значительного времени стоят без поддержания и при этом больших вывалов пород не происходит. Следовательно, закрепление кровли выработок можно создать безопасные условия как в работе, так и при передвижении людей по выработке. Крепе-ние выработок деревянными крепежными рамами наряду с положи-тельными качествами (простота конструкции, легкость изготовления и установки, определенный срок службы, податливость и т. д.) имеет и целый ряд недостатков: значительная трудоемкость крепежных работ, уменьшение сечения выработки, высокая стоимость лесомате-риала и значительный его расход и т. д.

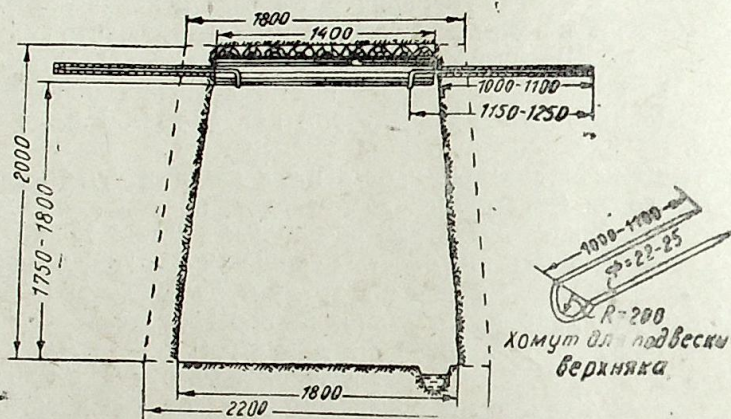


Рис. 2. Подвешивание отдельных верхняков при помощи штанг-хомутов

Учитывая, что в большинстве выработок, за исключением отдель-ных участков, поддержания требует только кровля, появляется воз-можность избавиться от установки полного станка и подвешивать только верхняк. Подвешивание отдельных верхняков можно осуще-ствить при помощи штанг-хомутов, устанавливаемых в стенках выра-ботки (рис. 2), или штанг, закрепленных в кровле (рис. 3).

Крепление выработки верхняками, установленными на хомутах, производится следующим образом. Для установки хомутов в каждой стенке выработки напротив друг друга пробуриваются попарно парал-лельные шпур. Перед вводом стержней в шпур они заполняются цементным раствором. После установки хомутов укладывается верх-няк, который расклинивается. При необходимости поверх верхняка устанавливается затяжка (рис. 2). Хомуты изготавливаются из круглой стали (можно использовать сталь спецпрофиль) диаметром 20—30 мм. Такой способ установки верхняка применяется как при временном, так и при постоянном креплении. В последнем случае хомуты изго-товляются из более толстого проката и установка их производится более тщательно.

Закрепление выработки верхняками, подвешенными на штангах, которые, в свою очередь, устанавливаются в кровле выработки, произ-водится следующим образом (рис. 3). На месте установки верхняка в кровле выработки пробуривается 2 шпура (при широких выработ-ках и значительном горном давлении 3 шпура) необходимой глубины (1,3—1,4 м) и диаметра. В эти шпуры заводятся и закрепляются кли-новые или распорные штанги, концы которых выступают в выработку на длину, равную толщине верхняка и затяжки, плюс 5—6 см на установку гайки. На свободные концы штанг подвешивается верхняк с заранее про-сверленными отверстиями, заводятся затяжка и силой притягивается к кров-ле гайкой. Расстояние между верхня-ками при их подвешивании принимает-ся равным расстоянию между крепеж-ными рамами, обычно оно в пределах 1,0—1,4 м.

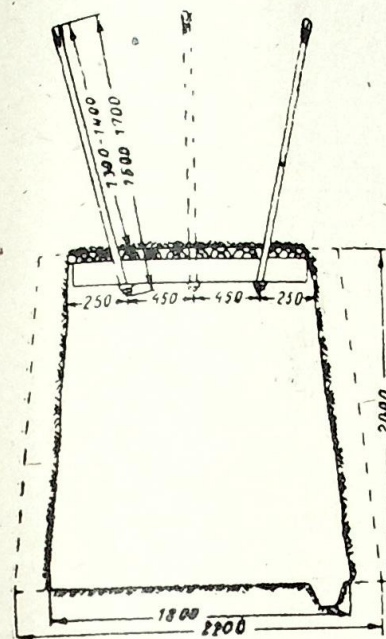


Рис. 3. Подвешивание отдельных верхняков при помощи штанг, установленных в кровле

см. После закрепления прогонов сверху их заводятся верхняки вплош-ную и расклиниваются по углам. Оставшееся свободное пространство

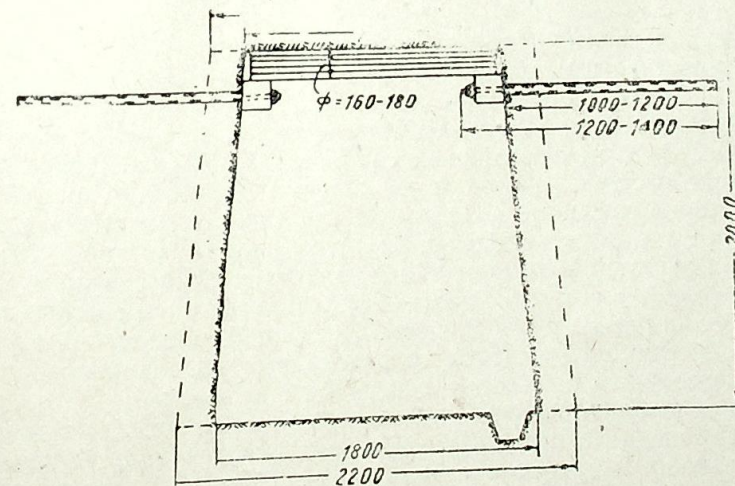


Рис. 4. Установка верхняков на продольных прогонах, закрепляемых штангами

между верхняками и кровлей выработки забучивается пустой породой и обрезками леса. Способ крепления выработки путем установки только

верхняков позволит уменьшить ширину выработки на 45—50 см и соответственно объем проходки. Расход крепежного леса уменьшается на 60—65%, а стоимость проходки выработки на 20—25%.

Способ крепления выработки путем установки верхняков может быть использован для крепления подготовительных и разведочных выработок. Особенно при креплении различных сопряжений и пересечений выработок. Кровлю выработок можно крепить штангами без установки верхняков. На рис. 5 представлена схема крепления горизонтальной выработки металлическими штангами, а на рис. 6 — железобетонными.

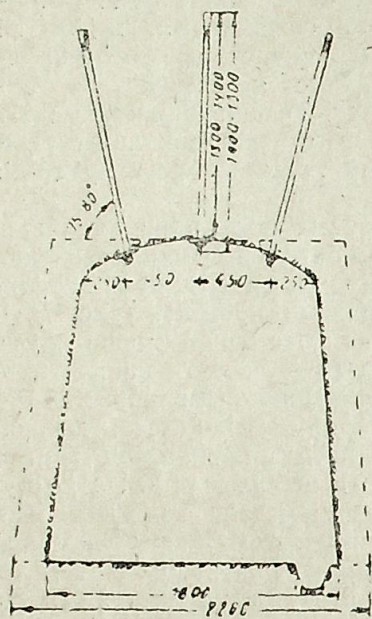


Рис. 5. Крепление выработки металлическими штангами

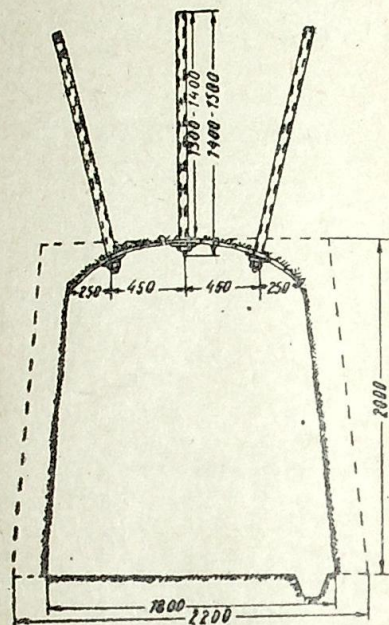


Рис. 6. Крепление выработки железобетонными штангами с покрытием кровли торкретбетоном

Металлическими и железобетонными штангами крепят штреки и орты, квершлагги и штольни, камеры различного назначения и сопряжения выработок, восстающие и бремсберги, наклонные и вертикальные стволы шахт, туннели большого сечения, а также бока и кровли очистных забоев при различных системах разработки. Этот вид крепи наибольшее распространение получил при креплении горизонтальных горных выработок с различной крепостью проходных пород. В слабых и трещиноватых породах с большим сроком службы штанговая крепь применяется в комбинации с металлической сеткой и торкрет-бетоном толщиной 5 см. Торкрет-бетон защищает породы от агрессивного воздействия воздуха и влаги. Для крепления выработок с небольшим сроком службы (геологоразведочных, горноподготовительных) применяются различные типы деревянных штанг.

При креплении железобетонными штангами отпадает необходимость применения замка, и штанга закрепляется по всей длине, что увеличивает ее несущую способность. Поэтому этот вид крепи наиболее эффективен в тех случаях, когда кровля представлена трещиноватыми породами. Использование железобетонных штанг дает существенную экономию металла, облегчает и способствует механизации процесса крепления и снижению крепежных работ.

Прочность закрепления выработок штангами зависит от различных

факторов: длины штанги, размеров опорной плитки, типа замка, физико-механических свойств скрепляемых слоев и т. д. Влияние каждого из этих факторов в каждом конкретном случае выражается по-разному. Однако, чтобы штанги надежно работали, необходимо во всех случаях уделять наибольшее внимание закреплению их в шпур-фактором, определяющим прочность всего заштангованного слоя и обеспечения безопасных и безаварийных условий работы в забое. Прочность установки и постоянный контроль за натяжением штанг играют решающую роль в штанговом креплении горных выработок. При штанговом креплении горных выработок необходимо стремиться к тому, чтобы штанги располагались как можно ближе к забою выработки и предупредить возможность значительного разрыва во времени между уходом забоя за цикл и установкой штанговой крепи. Этот разрыв должен быть минимальным, так как чем быстрее устанавливается штанговая крепь, тем меньше вероятности нарушения естественных связей между слоями закрепляемого массива.

При отсутствии в забое взрывных работ натяжение штанг почти не ослабевает со временем. Большое влияние на ослабление их натяжения оказывают взрывные работы, производимые в забое вблизи от места их установки. Это объясняется тем, что взрывные волны, которые распространяются на значительные расстояния, сотрясают породу и тем самым ухудшают прочность закрепления штанг. Проведенные нами исследования показали, что при близком расположении штанг к забою (1—2 м) большинство их (около 70—80%) ослабевало после взрывных работ, поэтому штанги подтягивали на другой день. Ослабление натяжения штанг при взрыве происходило мгновенно, иногда на значительную величину.

Из изложенного видно, что при близком расположении штанг к забою происходит уменьшение их натяжения, вследствие чего может нарушиться равновесие слоев и произойти обрушение пород, закрепленных штанговой крепью. Поэтому весьма важно, чтобы натяжение установленных штанг соответствовало расчетному, т. е. требуемому для каждого конкретного случая. Этого можно достичь при тщательной установке штанг и хорошем последующем контроле за их состоянием.

Бурение шпуров под штанги при крепких породах производится ручным и телескопными перфораторами, а при мягких породах электросверлами. Перед началом бурения шпуров под штанги намечаются места установки их и производится подбор комплекта буров. При этом необходимо строго соблюдать заданную глубину и диаметр шпура. Большую роль при штанговом креплении выработок играют длина штанг (глубина заштангованного слоя) и расстояние между штангами и рядами их. Параметры штанговой крепи зависят от целого ряда факторов и колеблются в значительных пределах.

Анализ практики применения штанговой крепи показал, что длина применяемых штанг всех типов достигает в большинстве случаев 1,4—1,5 м. Минимальная длина штанг 1,2 м (в редких случаях доходит до 0,9 м), максимальная—1,8 м (иногда до 2,4—3,0 м). Расстояние между рядами штанг около 0,9—1,0 м, а между штангами в ряду от 0,8 до 1,5 м. Площадь кровли, поддерживаемая одной штангой, в зависимости от горно-геологических условий, колеблется от 1 до 3 м². Так, при креплении капитальных выработок железобетонными штангами на шахтах-новостройках Джезказкана расстояние между штангами в ряду составляет 0,8—1,0 м, а между рядами штанг—1—1,2 м, длина штанг 1,8 м [7]. На рудниках Кировоградского комбината металлические штанги в капитальных выработках располагаются

на расстоянии 1—1,5 м в ряду и 0,9—2 м между рядами. Площадь кровли, приходящаяся на одну штангу, колеблется от 0,9 до 3 м² [8]. На Салаирском руднике для крепления подготовительных и нарезных выработок применяют клинощелевые штанги длиной 1,5 м, диаметром 25 мм. Расстояние между рядами штанг 1—1,2 м [5].

На рудниках Никитовского комбината в подготовительных выработках при ширине их менее 2 м в кровле устанавливают по 2 штанги в ряду, на расстоянии 1—1,3 м между рядами; при ширине выработки более 2 м в ряду устанавливают три штанги с расстоянием 1,2—1,3 м между рядами [2].

На Парагачайском руднике при опытном закреплении участка штольни № 16 штанговой крепью длина составных трубчатых штанг была принята 1,4 м. Сечение штольни 4 м². В каждом ряду ставили 2 штанги с расстоянием между рядами 1,3 м. При этом поддерживаемая каждой штангой площадь кровли составляла 1,1 м² и максимальная нагрузка на штангу с учетом возможного отслоения пород кровли на высоту 1,3 м доходила до 3 м [6].

Опыт применения штанговой крепи на рудниках СССР и за рубежом свидетельствует о широких возможностях и об огромной технико-экономической эффективности применения этого вида крепи. Штанговая крепь значительно экономичнее деревянной. Так, на шахтах Иртышского полиметаллического комбината штанговое крепление дешевле, чем деревянное неполными крепежными рамами в 1,3—1,4 раза. При креплении выработок штанги применяются как с опорными плитками, так с подхватами и затяжками [1]. Стоимость крепления 1 пог. м выработки сечением 9 м² на рудниках Урала при деревянном рамном (в разбежку) креплении составляет 34 руб. 20 коп., а при штанговом (подхваты швеллер № 12)—12 руб. 50 коп., т. е. поддержание выработки штангами в три раза дешевле, чем деревянными крепежными рамами [4]. По данным А. П. Широкова, на шахтах Кузбасса в 1960 г. штанговой крепью закреплено более 55 км подготовительных выработок. При этом стоимость проходки 1 м выработки снизилась на 5—6 рублей и общая годовая экономия от штангового крепления составила около 330 тысяч рублей [9].

Применение штанговой крепи на Салаирском руднике по сравнению с деревянной обеспечивает удешевление работ по креплению в 1,5—2 раза [5]. Штанговая крепь широко внедряется на Чиатурских рудниках и по сравнению с деревянной дает экономию 32,6 % в выемочных и 51,8 % в панельных штреках [3]. Стоимость изготовления клинощелевых штанг диаметром 25 мм и длиной 1,7 м на рудниках Никитовского комбината составляет 1 руб. 13 коп., в том числе стоимость материала 62 коп., зарплата 28 коп. и накладные расходы 23 коп. [2]. Практика этого рудника показала, что стоимость крепления 1 пог. м выработки штанговой крепью меньше стоимости крепления рамами из железобетонных стоек с рельсовым верхняком на 32 %. Если учесть, что штанговая крепь позволяет уменьшить сечение выработки на 20 % за счет пространства, занимаемого стойками, то экономия получается еще значительнее, так как на 20 % уменьшаются трудовые затраты на отбойку, погрузку и транспортировку горной массы, получающейся при проходке. Стоимость изготовления комплекта клинощелевой штанги длиной 1,5 м, диаметром 25 мм на рудниках Кировоградского комбината составляет 0,9 руб., а стоимость установки 0,65 руб. [8].

Крепление участка штольни № 16 Парагачайского рудника составными трубчатыми штангами в 1961 г. [6] показало высокую надежность и экономичность этого вида крепи перед деревянной. При креплении штольни штанговой крепью затраты труда в 4 раза, а себестоимость крепления в 3 раза меньше, чем при креплении той же

выработки неполными дверными окладами. Практика шахт Джезказ-я показала, что крепление выработок железобетонными штангами является наиболее экономичным и менее трудоемким способом под-
держания горных выработок. Так, два человека, занятых на креплении, в месяц устанавливают 350—500 штанг и закрепляют 80—120 пог. м выработок [7].

Использование штанговой крепи взамен других видов крепи при проведении горноподготовительных, горнокапитальных и горноразведочных выработок обладает целым рядом существенных преимуществ. К ним относятся:

1. Снижение затрат на поддержание выработок по сравнению с деревянной рамной крепью в 2—3 раза;

2. Уменьшение необходимых размеров выработки по высоте на 20—30 см, а по ширине на 40—60 см (на толщину элементов рамы), что сокращает трудовые и материальные затраты на отбойку, уборку и откатке породы;

3. Сокращение затрат времени на крепление выработки при одновременном росте производительности труда и темпов проходки на 25—30 %. Ремонт штанговой крепи легче и проще деревянной;

4. Уменьшение расхода крепежного леса. Применение штанговой крепи позволяет в 10—20 раз уменьшить объем и вес доставляемых материалов для крепежных работ;

5. Уменьшение сопротивления выработки движению воздушной струи. Так, произведенный расчет показывает, что сопротивление выработки (при одном и том же сечении в черне) при деревянной рамной крепи почти в 2 раза больше, чем при штанговой;

6. Повышение безопасности работ в выработках.

Исследования показывают, что замена дорогостоящего и трудоемкого деревянного крепления штанговой крепью позволит значительно повысить производительность труда проходчиков, сократить расход дорогостоящего для республики крепежного леса, уменьшить затраты на крепление выработок и снизить себестоимость одного погонного метра готовой выработки.

Однако следует отметить, что применение штанговой крепи в каждом конкретном случае должно производиться на базе широких теоретических исследований физико-механических свойств пород, пересекаемых выработкой, опытных работ с изменением отдельных параметров штанговой крепи и при хорошем знании условий работы штанговой крепи работниками, занятыми на штанговом креплении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грудин Б. М. „Бюллетень цветной металлургии“, 1959, № 15.
2. Деспотули Л. В. „Бюллетень цветной металлургии“, 1959, № 15.
3. Зурабишвили И. И. и др. „Бюллетень научно-технической информации Груз. ССР.“, 1959.
4. Колчин К. М. и др. „Бюллетень цветной металлургии“, 1961, № 9.
5. Кравченко Г. И. „Горный журнал“, 1957, № 9.
6. Мамедов Ш. Н., Мухтаров Г. Г. Эффективные системы и технология разработки жильных месторождений Азербайджана. Азернешр, 1966.
7. Мясниченко Ю. В. „Бюллетень цветной металлургии“, 1963, № 10.
8. Токарев В. А. „Горный журнал“, 1959, № 1.
9. Широков А. П. „Горный журнал“, 1961, № 4.

Л. М. МИРЗОЕВА

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ РАВНОВЕСНЫЙ СОСТАВ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОДУКТОВ РЕАКЦИИ АЗОТНО-КИСЛОРОДНЫХ СМЕСЕЙ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Получение высокотемпературных соединений с использованием плазменной струи стало актуальной проблемой современности. Одной из важных задач является получение окислов азота, необходимых для производства азотных удобрений, в связи с чем выявляется необходимость в разработке и исследовании процесса получения их в плазменной струе газовых смесей с различными соотношениями азота и кислорода. Для правильной оценки параметров ведения процесса при исследованиях и обработке результатов экспериментов необходимо наличие данных о влиянии исходной смеси на образование термодинамически равновесной концентрации окиси азота, на состав смеси при различных температурах и давлениях, следовательно, и на термодинамические величины смеси.

В литературе имеются данные по термодинамически равновесным составам с учетом и без учета процесса диссоциации молекул O_2 и N_2 , с использованием устаревших данных по значениям энергий диссоциации и других термодинамических величин [1, 2, 3]. С уточненными данными приведены результаты [4] для соотношений между азотом и кислородом, равных $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{1}$ и $\frac{4}{1}$, при давлении 1 атм и 53 мм рт. ст. По новейшим данным в работе [1] выполнены расчеты составов и термодинамических величин для воздуха в широком интервале изменения температур и давлений.

Нами были использованы также последние данные по термодинамическим функциям индивидуальных компонентов [6]. Расчеты составов и термодинамических величин выполнены для двух соотношений $Q = \frac{\Sigma N}{\Sigma O} = \frac{1}{1}$ и $\frac{1}{3}$ в интервале 2000—6000°К при давлениях 1—10 атм*.

В рассматриваемом интервале изменения параметров плазма столба дугового разряда представляется как двухкомпонентная смесь, состоящая из нейтральных атомов и молекул и подчиняющаяся законам идеальных газов. В указанных условиях будут происходить только

* В статье представлены частичные результаты по выполненным расчетам.

реакции диссоциации, поэтому влиянием ионизации на состав и термодинамические свойства смеси можно пренебречь.

Рассматривалась смесь, состоящая из следующих нейтральных компонентов: N_2 , O_2 , NO , N и O с обозначениями от 1 до 5. Формулы реакций с соответствующими константами равновесия следующие:

1. $-N_2 + 2N \rightleftharpoons 0 \dots K_{p1};$
2. $-O_2 + 2O \rightleftharpoons 0 \dots K_{p2};$
3. $-NO + N + O \rightleftharpoons 0 \dots K_{p3}.$

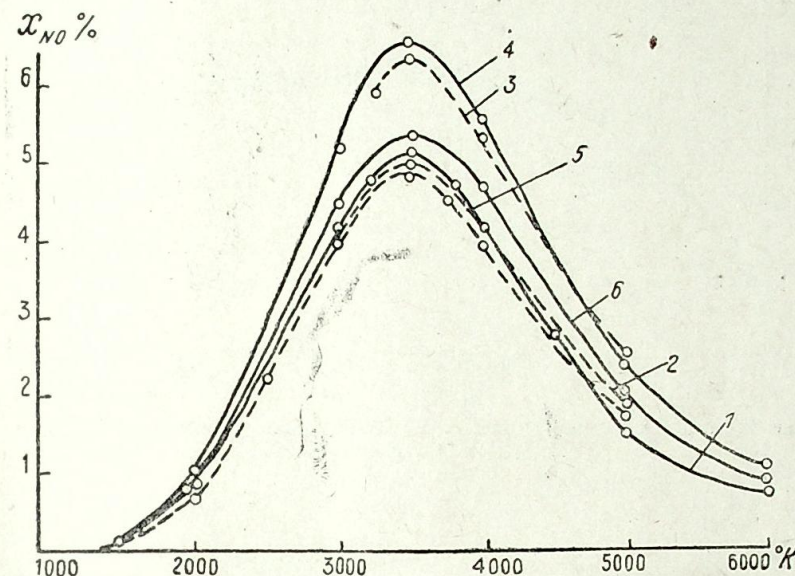


Рис. 1. Зависимость термодинамически равновесной концентрации окиси азота в молярных процентах от температуры для воздуха и различных соотношений Q при $P = 1$ атм:

1. Воздух [7] — максимальное значение $x_{NO}^* = 5,196;$
2. [4] — $x_{NO} = 4,981;$
3. $Q = 1:1$ [4] — $x_{NO} = 6,452;$
4. $Q = 1:1$ — $x_{NO}^* = 6,649;$
5. $Q = 1:4$ [4] — $x_{NO} = 5,101;$
6. $Q = 1:3$ — $x_{NO}^* = 5,446.$

(* — получены по последним данным, по константам равновесия).

Для определения состава смеси решалась следующая система нелинейных уравнений химического равновесия:

1. Уравнение Дальтона

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 = 1,$$

где x — молярные доли каждого из рассматриваемых компонентов смеси;

2. Уравнение материального баланса

$$\frac{2x_1 + x_3 + x_4}{2x_2 + x_3 + x_5} = Q; \quad (2)$$

3. Уравнение равновесной диссоциации

$$K_{p1} = \frac{x_4^2}{x_1} P; \quad (3)$$

$$K_{p_2} = \frac{x_5^2}{x_2} P; \quad (4)$$

$$K_{p_3} = \frac{x_4 \cdot x_5}{x_3} P, \quad (5)$$

где P —общее давление системы.

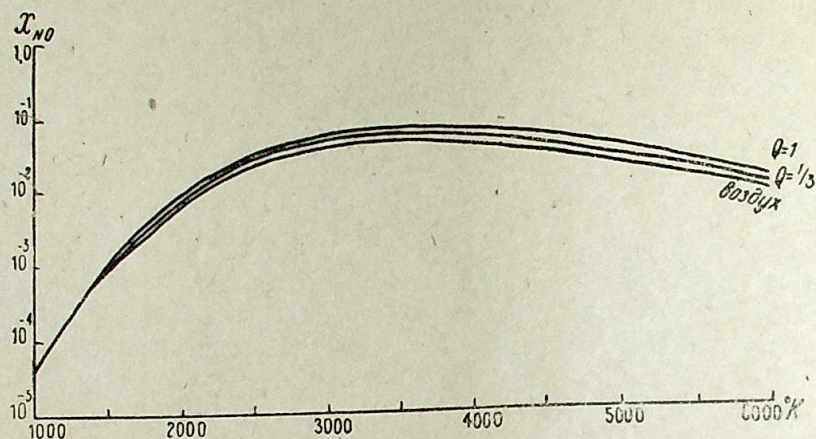


Рис. 2. Зависимость молярных долей окиси азота от температуры при различных Q и $P = 1$ атм.



Рис. 3. Зависимость молярных долей окиси азота от температуры для $Q = 1$ при $P = 1, 2$ и 10 атм.

Прямое решение указанных выражений дает уравнение четвертой степени для определения молярной концентрации одного из компонентов:

$$Mx_4^4 + Lx_4^3 + Zx_4^2 + Rx_4 + K = 0. \quad (6)$$

По x_4 определялись молярные доли всех остальных компонентов. Далее по составу азотно-кислородной смеси были рассчитаны термодинамические величины рассматриваемой смеси.

Из рис. 1 видно, что максимальные значения молярного выхода NO соответствуют температуре $3500^\circ K$ при всех соотношениях Q и этот максимум с увеличением давления сдвигается в сторону высоких температур (рис. 3). Для подсчета основных показателей при исследованиях процессов в плазменных струях полученные графики

могут быть использованы в следующей последовательности. Определив полезную мощность, вложенную в струю, по давлению газа на выходе из анода согласно рис. 4 определяется среднemasовая температура

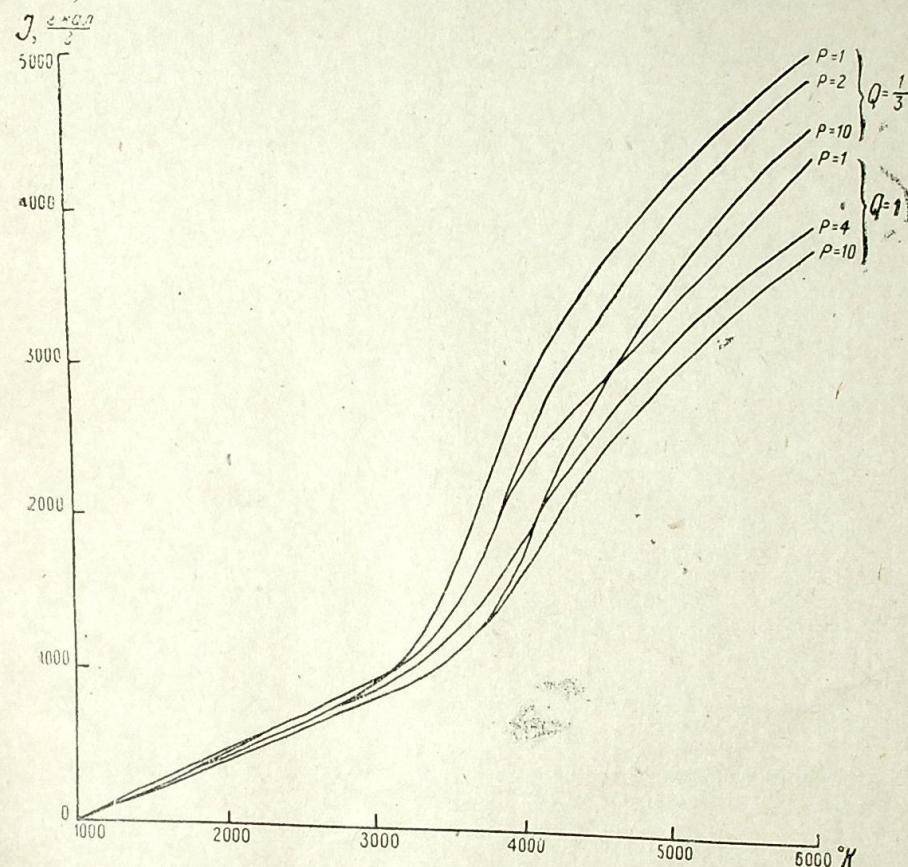


Рис. 4. Энтальпия газа в зависимости от температуры при $Q = 1$ и $1/3$ для давлений $P = 1, 2$ и 10 атм.

торможения для определенного значения Q , затем молекулярный вес смеси газов (рис. 5) и плотность по уравнению состояния. Учитывая, что в действительности происходит неполное торможение, термодинамическая температура и скорость струи определяются методом последовательных приближений, из приведенных ниже соотношений с использованием рис. 4 и 5:

$$I = I_T - \frac{w^2}{2gA}, \quad (7)$$

$$\rho = \frac{1}{848} \cdot \frac{P}{T}, \quad (8)$$

$$G = F \rho w, \quad (9)$$

где I —энтальпия;
 I_T —энтальпия торможения струи;
 w —средняя скорость газа по сечению;
 A —механический эквивалент тепла;

μ — молекулярный вес;
 ρ — средняя плотность потока;
 P и T — давление и температура струи на выходе из анода;
 G — весовой расход газа через анод.

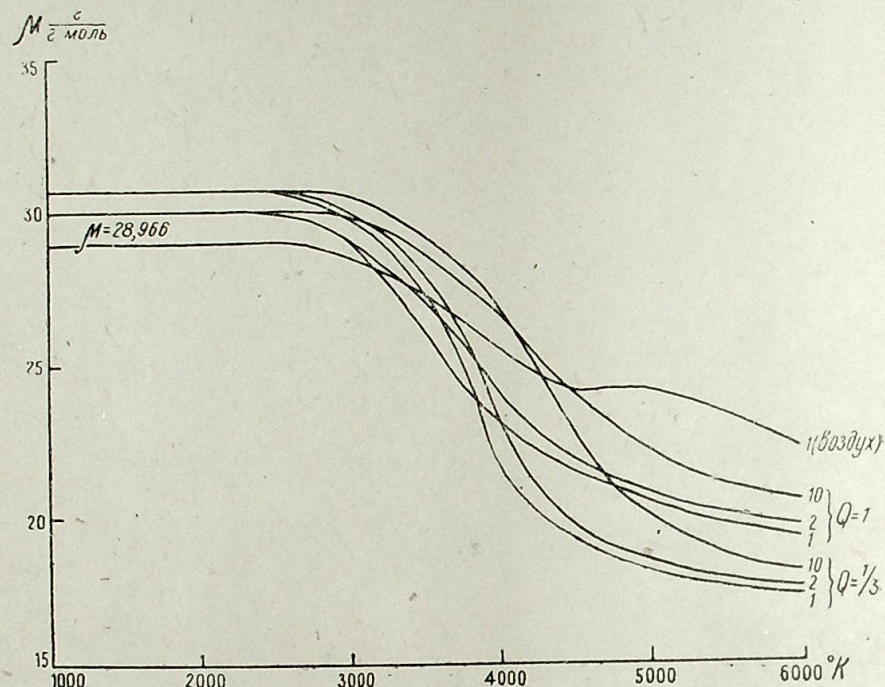


Рис. 5. Молекулярный вес воздуха и газа при $Q = 1, \frac{1}{3}$ в зависимости от температуры для давлений $P = 1, 2$ и 10 атм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Марковский Л. Я., Оршанский Д. А., Прянишников В. В. Химическая электротермия. Госхимиздат, 1952.
2. Briner E., Susz B., Rod E. Helv. Chim. Acta, 14, 599, 1931.
3. Briner E., Susz B. Helv. chim. acta, 18, 1468, 1935; Bull. Soc. chem. France (V), 11, 1325, 1937.
4. Еремин Е. Е. и Мальцев А. Н. ЖФХ, т. 30, вып. 5, 1956.
5. Физические газодинамики. Изд-во АН СССР, 1959.
6. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. (Под ред. акад. В. П. Глушко), 1962.
7. Предводителев А. С., Ступоченко Е. В., Плешанов А. С., Самуилов Е. В., Рождественский И. В. Таблицы термодинамических функций воздуха для температур от 200 до 6000°K и давлений от 0,00001 до 100 атмосфер. Вычислительный центр АН СССР, 1962.
8. Разработка получения окислов азота в плазменных струях. Отчет АзНИИЭ 1964.

Л. М. Мирзэева

Жүксак температурда азот-оксикен гарышыгынын реаксия мәнсулунун термодинамики таразлыг налында тәркиби вә термодинамики параметрлери

ХҮЛАСӘ

Һазырда азотлу күбрәләрин истәһсалында азот оксидләринин алынмасыны бөјүк әһәмијјәти вардыр.

Бу мәгсәдләдә мұхтәлиф нисбәтдә азот вә оксикен гарышыг-

ларынын плазма ахынында азот оксидләринин алынмасы просесинин ишләnmәси вә тәдгиги ән мұһүм мәсәләләрдән бири һесаб едилир.

Газ гарышыгынын беш компонентдән— N_2 , O_2 , NO , N , O —ибарәт олдуғуну нәзәрә алыб $1 \div 10$ атм. тәзјигдә, $2000 \div 6000^\circ K$ температурда, азот илә оксикенин $1:1$ вә $1:3$ нисбәтләриндә кимјәви таразлыгынын гејри-хәтти систем тәнликләрини һәлл етмәклә компонентләрин мол-јар тәркиби вә гарышыгын термодинамик параметрлери һесаблан-мышдыр.

Идеал газын һал тәнлији, сәрф вә там енталпија ифадәләри вә һесабат нәтичәсиндә гурулан графикләрдән бирликдә истифадә етмәклә тәдгиг едилен чисмин плазма ахынынын әсас параметрләрини тә-јин етмәк мүмкүндүр.

1967-ЧИ ИЛДӘ «АЗӘРБАЙҖАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН
ХӘБӘРЛӘРИ»НДӘ (ФИЗИКА-ТЕХНИКА ВӘ РИЈАЗИЈАТ ЕЛМЛӘРИ
СЕРИЈАСЫ) ДӘРҖ ЕДИЛМИШ МӘГӘЛӘЛӘРИН
КӨСТӘРИЧИСИ

- Аббасзаде А. Г., Гылманов А. Ә., Ахундов С. К., Чамалов Р. М. Алифатик спиртларин истиликкечирмәсинә даир. № 6, сәһ. 22.
Аббасов Р. Ә. Санки периодик функцијаларын ән јахшы там хусуси јахын-лашмалары арасында гаршылыгы әлағә һаггында. № 2, сәһ. 3.
Аббасов Н. И. Електрон рәғәм һесаблама машинларынын спектрограмларынын ишләдилмәсинә тәбтиги. № 2, сәһ. 92.
Аббасов А. С., Мәмәдов К. Н., Сүлејманов Д. М. Галлиум-фосфид-Алифотим спиртларин истиликкечирмәсинә дир. № 6, сәһ. 22.
Абдуллајев Г. Б., Ибраһимов Н. И., Мәмәдов Ш. В. ЕПР методу илә селендә донор-акцептор гаршылыгы әлағәсинин өјрәнилмәси. № 6, сәһ. 16.
Абдуллајев Н. Б., Әлијева Л. Н., Гәһрәманов К. Ш., Гулијев А. З. Ашгарларын сульфид-гурғушунун електрик хассәләринә тә'сири. № 2, сәһ. 66.
Абдуллајев Н. Б., Бәһрамов В. Г., Иремашвили Д. М., Леон-тјев Н. И. Салајев Е. Ј. Импульс електрон сүр'әтләндиричи. № 3—4, сәһ. 51.
Ағарунов М. Ј., һачыјев С. Н., Гарашарлы К. А., Нәгдәлије-ва Ј. Н. Силисум үзви бирләшмәларин физики-химјәви тәдиги. № 6, сәһ. 11.
Адыкөзәлов А. Ч. Умумиләшмиш тригонометрик чохһәдлиләр үчүн бә'зи бә-рабәрсизликләр. № 2, сәһ. 9.
Аразов Г. Т. Сферондил планетин сүн'и пејкинин нисби һәрәкәти. № 3—4, сәһ. 81.
Бабајева А. А., Намазов Г. К. Башланғыч мүстәвидә чырлашан кәсилән әмсаллы һиперболик тәлик һаггында. № 5, сәһ. 11.
Бағыров М. Ә., Климова Н. В., Малин В. П. Јарымстирол өртүкләрин диелектрик хассәләринә електрик бошалмасынын тә'сиринин тәдиги. № 1, сәһ. 101.
Бағыров М. А., Николајев Б. П., Малин В. П. һәрәкәт едән јонма мәркәзи васитәсилә нефт лајында јарадылан температур пајланмасынын һесабла-масы. № 5, сәһ. 109.
Бәјәсанов Д. Б., Кәримов З. Ә. Автоматик газтәнзимләмә системләриндә ичраедики механизмләрин газтәңһизаты просесинин динамикасына олан тә'сиринин тәдиги едилмәси. № 2, сәһ. 59.
Бахышов Ш. М. Назик цилиндрик сонлу өртүкдә гејри-стационар температур саһәсинин тә'јини. № 1, сәһ. 23.
Бәдәлов М. Ф., Рзајев М. А., Әлијев М. И. Галлиум антимонидиндә тунел $p-n$ кечидләринин тәдиги. № 1, сәһ. 62.
Вишијакон Ј. Д., һәсәнов Г. Ш., Умански Ј. С. Бир сыра мис хәлитә-ләриндә гурулуш дифектинин тә'јини. № 2, сәһ. 108.
Ворович И. И., Салманов В. С. Лөвһәнин әјилмәсиндә бир тәгриби нәзә-ријә үчүн әсас тәликләр вә сәрһәд шәртләри. № 5, сәһ. 46.
Гасымов Б. О. $(n-1)$ -дән $\left(\frac{n}{2}\right)$ јә гәдәр каналлы информасија шәбәкәләринин структурлар сајынын тә'јини мәсәләсинә даир. № 5, сәһ. 63.
Гасымов Б. О. Бир артыг каналлы информасија шәбәкәләринин структурлары сајынын тә'јини мәсәләсинә даир. № 1, сәһ. 49.
Гачар Ч. О., Иманов Л. М. Баш әталәт моментләринин ики тәртибли фәрги методунун тәбтиги. № 2, сәһ. 71.
Гулузаде Ч. М. Зәиф фраунһофер хәтләри контурларынын асимметриклији һаггында. № 1, сәһ. 92.

- Гулијев А. А., Шаһтахтински М. Г., Томтијев Д. С. Бисмут-сүрмә бәрк мәһлулларынын галваномагнит хассәләри. № 3—4, сәһ. 17.
Гулијев М. А. Таваны мүәјјән кечиричи зоналарә малик олан лајда маје ахыны. № 5, сәһ. 75.
Дағкәсәмәнски Н. Д. Вулканизасија просесинин идарәедилмә мәсәләсинә даир. № 5, сәһ. 69.
Әличанов М. Ә., Нәсиров Ј. Н., Рүстәмов П. Н. GaTe—SeTe систе-миндә истилик вә електрик хассәләринин тәдиги. № 2, сәһ. 82.
Әлмәмәдов М. С. Јарымохда икинчи сыранын интегро-диференсинал тәликләрин һәлли үчүн асимптотик формуллар. № 5, сәһ. 3.
Әфәндизадә А. Ә., Заирова Т. А. Мүһәрриклә жүкләнмиш үчфазлы јары-тәнзимләнән дүзәлдиричидә кечид просесләринин һесабы. № 1, сәһ. 110.
Әфәндизадә А. А., Листенгартен Б. А., Курдјуков Ј. М. Тиристор-ларда үчфазлы инвераторун чыхышында әјри кәркилик формаларынын тәдиги. № 5, сәһ. 101.
Әфәндијев Г. И., Дашдәмиров К. М. һелиум-оксикен гарышығы плаз-масынын винтвары дајаныгсызлыгынын тәдиги. № 2, сәһ. 97.
Әфәндијев Г. А. Назик плјонкаларда фаза чеврилмәләринин тәдигиндә электронографијанын кинематик методу. № 3—4, сәһ. 25.
Әһмәдов Б. Ә., Колосовскаја А. К. Гидаланма контурунун вә лајын да-банынын кечиричи олмасынын һоризонтал гујунун ишинә тә'сири. № 5, сәһ. 60.
Заманов Т. А. Мүчәррәд фәзаларда јубанан диференсинал тәликләрә даир. № 1, сәһ. 3.
Ибраһимбәјов Р. М. Чохрабитәли техноложи объектларин долајы кәстәричи-ләринә көрә квазиоптимал идарәси. № 1, сәһ. 125.
Ибраһимбәјов Р. М. Статистик һәлләрин чохрабитәли техноложи объектла-рин субоптимал идарә олунмасы мәсәләләринә тәбтиги. № 5, сәһ. 124.
Ибраһимов И. И., Әлијев Р. М. Бә'зи ән јахшы кубатура формуллары һаггында. № 5, сәһ. 154.
Иванова В. А., Әлијев Г. М. Хром ашгарларынын кристал вә маје селенин електриккечирмәсинә тә'сири. № 2, сәһ. 78.
Иманов Л. М., Гачар Ч. О. Етил спирти молекулунун микродалға спектри, структурасы, дипол моменти вә дахили тормозланма фырланмасы. № 3—4, сәһ. 33.
Исмајылов З. А. GWO_г вә RYTa_г дәјишән улдузларын спектринин хусу-сијәтләри һаггында. № 3—4, сәһ. 64.
Кәримов И. К., Рүстәмов Ә. Н., Вәлијев Л. М. Антиферромагнит јарымкечиричи MnS вә MnSe -нин електриккечирмә вә термо EDT-си. № 1, сәһ. 69.
Кәримов К. А. Енинә зәрбә заманы полимер материалларын өзүлү-эластик-пластик характеристикаларынын тәдиги. № 5, сәһ. 185.
Марон В. И., Сәфәров Н. Н. Мајенин мүстәви лөвһәнин сәрһәд лајына атылмасы. № 1, сәһ. 28.
Маһмудов А. С. Карлеман теореминин үмумиләшмәси. № 1, сәһ. 8.
Мәмәдов Ш. Н., Мухтаров Г. Г. Шагули дағ ишләнилмәсинин тәшки-линдә техноложиянын тәкмилләшдирилмәси. № 6, сәһ. 60.
Мәмәдов К. П., Сүлејманов З. И. Термографик үсулла аморф селенин тәмизлик дәрәҗәсинин кристаллашма хусуси истилијинә тә'сиринин тәдиги. № 6, сәһ. 7.
Мәмәдов Ә. Х. һидрокрекинг гурғусу пневмо һаггијат системинин оптимал режими тә'јининин бә'зи мәсәләләри һаггында. № 5, сәһ. 82.
Мәмәдов М. Ә. Кресок-Пелте (1954, XII) кометинин сон орбити. № 5, сәһ. 94.
Мәмәдов М. Б. Бә'зи гејри-үзви областларә гидрединкерин гејри-гошма опе-раторунун хусуси функцијаларә ајрылмасы һаггында. № 5, сәһ. 162.
Мәмәдов Х. И. Ашағы температурда парафинләрдә үзви молекулларын ква-зихәтти електрон спектри. № 3—4, сәһ. 43.
Мирзәчанзаде А. Х., Хасијев А. М., Гурбанов Р. С., Әһмә-дов З. М. Ненјутан нефт јатагларынын ишләнмәси вә истисмар едилмәсинин бә'зи хусусијәтләри. № 5, сәһ. 137.
Муғалов А. Н. Чезаро-Данжуа ма'нада интегралда лимитә кечмәк һаггында. № 1, сәһ. 33.
Мусајев Е. М., Нәсирова Т. И. Чиһазын сырадан чыхмасы вә бәрпа едил-мәси системи. № 5, сәһ. 119.
Мустафајев Л. Г. Полугруд бағлылары. № 5, сәһ. 167.
Мухтаров Н. А., Мухтаров Р. Н., Мухтаров Е. Н. 1, 1,2-үчфторлуе-тан молекулунун гурулушу. № 2, сәһ. 74.
Мухтаров А. И., Мурадов Р. Х. Јүксәк енержили Π -мезонларын елек-тронлардан еластики сәпилмәси. № 2, сәһ. 86.
Нағыјева Ф. М. Чәлд ишләјән 'код-аналог чевричиси. № 2, сәһ. 55.
Нәсиров М. Х. Икигәт әдәди сыраларын Бернштејн-Рогозинскинин үмуми үсулу илә чәмләнмәси. № 2, сәһ. 19.
Нәсиров Ј. Н., Нағыјев В. Ә., Зејналов А. Ә. Керманиум кадмиум-ла әвәз етмәнин GeTe бирләшмәсинин истилик вә электрофизики хассәләринә тә'сири. № 3—4, сәһ. 15.

Нәчәфов Х. М. Гиперболик типли тәнлик үчүн Коши мәсәләси. № 1, сәһ. 18.
 Нәчәфов Х. М. Кәсилән әмсаллы трикома типли бир тәнлик үчүн T мәсәләси-
 нин јекәнә һәлли һаггында. № 5, сәһ. 28.
 Османов Г. И. J ($-\infty, \infty$) синфиндән олан функцијаларын чеврилмәсинин
 бә'зи хәссәләри. № 2, сәһ. 24.
 Островски Г. М., Шумунов Л. Н. Оптималь мәсәләләрин бир әдәди һәлл
 методу һаггында. № 1, сәһ. 56.
 Өмәров С. З., Нәчәјев М. С., Гусев Ж. Б. Шамахи астрофизика рә-
 сәдханасында (Пиргулу дагы) кечә парылтыларынын фотоэлектрик тә'јини. № 6,
 сәһ. 3.
 Пирмәммәдов В. Г. Мүтәһәррик сәрһәдли филтрәсијанын гејри-стационар
 мәсәләсинин һәллини фәргә методу. № 5, сәһ. 130.
 Расизадә Ж. М., Мәммәдов Р. М. Өзлү-пластик мајеләрин ики паралел
 ләвһә арасында вә даирәви ен кәсикли цилиндрик боруја структур режимдә һәрәкәти
 заманы истилик мүбадиләси. № 5, сәһ. 54.
 Султанов Н. Ф. Астероидләрин вә илкин ири чисимләрин гәлпәләринин бө-
 лүнмәсиндәки бә'зи ганунаујуғлуғлар. № 3—4, сәһ. 73.
 Тағызадә Ә. Н. Дәјишән галынлыгы ләвһәләрин сәрһәд мәсәләләринин кичик
 параметр үсулу илә һәлли. № 2, сәһ. 33.
 Талиби М. Ә., Крутенјук Ж. Г., Нәғәјев Ә. М. Селен $p-n$ гетеро-
 кечидләриндә электроакустик эффект. № 1, сәһ. 77.
 Таһиров С. И., Таһиров В. И., Гулијев Ә. А. Тәркибиндә 15 ат%-дәк
 силисиум олан P типли керманий-силисиум системи монокристалларында магнит са-
 һәсинин һолл әмәяли тә'сиринин тәдғиги. № 1, сәһ. 87.
 Хасмәммәдов Ф. И. Јаначаг бир ахынла верилән ики ахынлы гыздырычы
 радиант типли борулу собаларын динамик тәнликләри. № 6, сәһ. 38.
 Хәлилова Т. А. Бир синиф өз-өзүнә гошма олмајан, параметрдән асылы ди-
 ференциал операторларын спектринин тәдғиги. № 5, сәһ. 33.
 Хәлилова Р. З. Тәрс мәсәлә һаггында. № 5, сәһ. 169.
 Һагвердијев К. С., Никитин А. К. Өзлү газын даирәви узун боруја
 изотермик һәрәкәти. № 5, сәһ. 39.
 Һәсәнәлизадә Ә. Н. Узунлуг ваһиди илә өлчүлән јени физики сабит мәсә-
 ләси һаггында. № 1, сәһ. 99.
 Һәсәнов Г. М. Бә'зи интерполјасија просесләринин јығылмасы тәртиби һаг-
 гында. № 2, сәһ. 14.
 Һәсәнов К. Г., Әһмәдов Г. Т. Ади диференциал тәнликләр үчүн мүәјјән
 мәһдудияјат дахилиндә бир варијасија мәсәләси. № 5, сәһ. 17.
 Һүсејнов А. И., Мухтаров Х. Ш. Фәзалардакы компактлыг әламәтләри.
 № 5, сәһ. 145.
 Һүсејнов Б. Т. Група дахил олдурда кәмиләрин көзләмә вахты һаггында.
 № 2, сәһ. 49.
 Һүсејнов Ф. Г., Гулијев Ж. Е., Елдаров О. А. Электрик стансијасы-
 нын әсас аваданлығын тә'мир едилмәсиндә оптималь планлашдырылманын ријазии
 методлары. № 6, сәһ. 50.
 Чуварлы Ч. М., Мурадов Ә. М., Электрик дөврләриндә кечид һадисәсинин
 һесабында Z -модериләшдирилмиш чеврилмәсинин тәдғиги. № 1, сәһ. 116.
 Чуварлы Ч. М., Мухтарскаја Л. А. Күкүрд туршусу тәмизләмәсинин
 дәринлијинин трансформатор јағларынын дајанылығына тә'сири. № 6, сәһ. 55.
 Чуварлы Ч. М., Миронов Г. А. Квазихәтли системләрдә 2-чи тәртибли
 N ади диференциал тәнликләрдә јазылан чохтезликли резонанс рәгсләрин һесабы.
 № 6, сәһ. 27.
 Чуварлы Ч. М., Вечхәјзер Г. В., Леонов П. В. Диелектриклә һүдуд-
 лашдырылмыш газ очагында электрик далғасы импульсларын орталашдырылмасы.
 № 6, сәһ. 34.
 Чуварлы Ч. М., Мүслүмов М. М. 110 кВ шәбәкәләрдә трансформаторла-
 рын нејтралында тәһлүкәли илдирым ифрат тәнликләринин еһтималы. № 5, сәһ. 114.
 Чуварлы Ч. М., Вечхәјзер Г. В., Леонов П. В., Горин Ж. В. Ди-
 электриклә мәһдудлашдырылмыш газ бошлуғларында электрик бошалмасы. № 3—4,
 сәһ. 87.
 Чуварлы Ч. М., Дмитријев Ж. В. Электрик шәбәкәсиндә кечид просеслә-
 рын әдәди һесабына мәсәләсинә даир. № 5, сәһ. 93.
 Чуварлы Ч. М., Мухтарскаја Л. А. Трансформатор јағларынын термик
 дајанылығын тәдғиги. № 2, сәһ. 100.
 Чуварлы Ч. М. Физика-техника вә ријазиијат саһәсиндә наилијәтләримиз.
 № 3—4, сәһ. 3.
 Шерман Д. И. Потенциаллар нәзәријәсинин бир хүсусләшмиш сәрһәд мәсә-
 ләси һаггында. № 1, сәһ. 42.
 Шерман Д. И. Потенциаллар нәзәријәсинин бир хүсусләшмиш сәрһәд мәсәләси һаг-
 гында. № 2, сәһ. 38.

УКАЗАТЕЛЬ

СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В «ИЗВЕСТИЯХ АН АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР,
 СЕРИЯ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ И МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК» В 1967 г.

Аббасов Р. А. О взаимосвязи между полным и частным наилучшими прибли-
 жениями почти-периодических функций, № 2, стр. 3.
 Аббасов А. С., Мамедов К. Н., Сулейманов Д. М. Термодинамические
 свойства фосфида галлия, № 3—4, стр. 48.
 Аббасов Г. И. Применение ЭЦВМ для обработки спектрограмм, № 2, стр. 92.
 Абас-заде А. К., Гырманов А. А., Ахундов С. К., Джамалов Р. М.
 К теплопроводности алифатических спиртов, № 6, стр. 22.
 Абдуллаев Г. В., Баграмов В. Г., Иремашвили Д. В., Леонтев Н. И.,
 Салаев Э. Ю. Импульсный электронный ускоритель, № 3—4, стр. 51.
 Абдуллаев Г. В., Алиева Л. Н., Каграманов К. Ш., Кулиев А. З.
 Влияние примесей на электрические свойства сульфида свинца, № 2, стр. 66.
 Абдуллаев Г. В., Ибрагимов Н. И., Мамедов Ш. В. Изучение доноро-
 акцепторных взаимодействий в селене методом ЭПР, № 6, стр. 16.
 Агарунов М. Я., Гаджиев С. Н., Карашарли К. А., Нагдалиева Ю. Р.
 Физико-химическое исследование кремнийорганических соединений, № 6, стр. 11.
 Адигезалов А. Д. Некоторые неравенства для обобщенных тригонометрических
 полиномов, № 2, стр. 9.
 Алиджанов М. А., Насиров Я. Н., Рустамов П. Г. Исследование тепло-
 вых и электрических свойств системы $GaTe-SnTe$, № 2, стр. 82.
 Алмамедов М. С. Асимптотические формулы для решений линейных интегро-
 дифференциальных уравнений второго порядка на полуоси, № 5, стр. 3.
 Аразов Г. Т. Относительное движение искусственного спутника сферической
 планеты, № 3—4, стр. 81.
 Ахвердиев К. С., Никитин А. К. Об изотермическом движении вязкого газа
 в длинной круглой трубе, № 5, стр. 39.
 Ахмедов Б. А., Колосовская А. К. Влияние контура питания и проницае-
 мости подошвы пласта на работу горизонтальной скважины, № 5, стр. 60.
 Бабаева А. А., Намазов Г. К. О гиперболических уравнениях с разрывными
 коэффициентами вырождающихся на начальной плоскости, № 5, стр. 11.
 Багиров М. А., Николаев Б. П., Малин В. П. Расчет распределения темпе-
 ратуры в нефтяном пласте, создаваемой подвижным очагом горения, № 3—4, стр. 109.
 Багиров М. А., Климова Н. В., Малин В. П. Исследование влияния элек-
 трического разряда на диэлектрические свойства полистирольной пленки, № 1, стр. 101.
 Бадалов М. Ф., Рзаев М. А., Алиев М. И. Исследование туннельных $p-n$ -
 переходов в антимониде галлия, № 1, стр. 62.
 Бахышев Ш. М. Определение нестационарного температурного поля в тонкой
 конечной цилиндрической оболочке, № 1, стр. 23.
 Баясанов Д. Б., Керимов З. А. Исследование влияния режимов работы не-
 полнительных механизмов автоматизированных систем на динамику процессов газоснаб-
 жения, № 2, стр. 59.
 Вишняков Я. Д., Гасанов Г. Ш. и Усманский Я. С. Исследование дефор-
 мационных дефектов упаковки в ряде сплавов на основе меди, № 2, стр. 108.
 Ворович И. И., Салманов В. С. Основные уравнения и граничные условия
 одной приближенной теории изгиба пластин, № 5, стр. 46.
 Гасанализаде А. Г. К вопросу о новой физической постоянной с размерностью
 длины, № 1, стр. 99.
 Гасанов Г. М. О порядке сходимости некоторых интерполяционных процессов,
 № 2, стр. 14.

Гасанов К. Г., Ахмедов К. Т. Об одной задаче вариационного исчисления для обыкновенного дифференциального уравнения при наличии ограничений, № 5, стр. 17.

Гулиев А. М. Течение жидкости в пласте учетом наличия частично проницаемых зон на кровле, № 5, стр. 75.

Гусейнов Б. Т. О времени ожидания судов, прибывающих составами, № 2, стр. 49.

Гусейнов Р. Э. Некоторые вопросы механизмов солнечных вспышек и образования энергии, № 3—4, стр. 57.

Гусейнов А. И., Мухтаров Х. Ш. Критерий компактности в пространствах, № 3—4, стр. 145.

Гусейнов Ф. Г., Гулиев Ю. Э., Эльдаров О. А. Математические методы оптимального планирования ремонтов основного оборудования электростанций, № 6, стр. 50.

Дагкесаманский Н. Д. К задаче об управлении процессом вулканизации автопокрышек, № 5, стр. 69.

Джуварлы Ч. М., Вечхайзер Г. В., Штейншрайбер В. Я. Диэлектрический цилиндр в электрическом поле с объемным зарядом, № 1, стр. 105.

Джуварлы Ч. М., Мурадов А. М. Исследование переходных процессов в электрических цепях с помощью модифицированных z-преобразований, № 1, стр. 116.

Джуварлы Ч. М., Мухарская Л. А. Исследование термической стабильности трансформаторных масел, № 2, стр. 100.

Джуварлы Ч. М. Наши достижения в области физико-технических и математических наук, № 3—4, стр. 3.

Джуварлы Ч. М., Вечхайзер Г. В., Леонов Т. В., Горин Ю. В. Электрический разряд в газовых полостях, ограниченных диэлектриком, № 3—4, стр. 87.

Джуварлы Ч. М., Дмитриев Е. В. К вопросу численного расчета переходных процессов в электрической сети, № 3—4, стр. 93.

Джуварлы Ч. М., Муслимов М. М. Вероятность опасных грозных перенапряжений на нейтральной трансформаторов в сети 110 кв., № 4—4, стр. 114.

Джуварлы Ч. М., Миронов Г. А. Расчет многочастотных резонансных колебаний в квазилинейных системах, описываемых N-дифференциальными уравнениями второго порядка, № 6, стр. 27.

Джуварлы Ч. М., Вечхайзер Г. В., Леонов П. В. Усреднение импульсов тока разряда в газовой полости, ограниченной диэлектриком, № 6, стр. 34.

Джуварлы Ч. М., Мухарская Л. А. Влияние габаритов серникоислотной очистки на стабильность трансформаторных масел, № 6, стр. 55.

Заманов Т. А. О дифференциальных уравнениях с запаздывающим аргументом в абстрактных пространствах, № 1, стр. 3.

Ибрагимов И. И. и Алиев Р. М. О некоторых наилучших кубатурных формулах, № 3—4, стр. 154.

Ибрагимбеков Р. М. Применение теории статических решений к задачам субоптимального управления многосвязными технологическими объектами, № 3—4, стр. 124.

Ибрагимбеков Р. М. Субоптимальное управление многосвязными технологическими объектами по косвенным показателям, № 1, стр. 125.

Иванова В. А., Алиев Г. М. Влияние примесей хрома на электропроводность кристаллического и жидкого селена, № 2, стр. 78.

Иманов Л. М., Каджар Ч. О. Микроволновой спектр, структура, дипольный момент и внутреннее заторможенное вращение молекулы этилового спирта, № 3—4, стр. 33.

Исмаилов З. А. Об особенностях спектра переменных звезд GWOri и RY Tau, № 3—4, стр. 64.

Каджар Ч. О., Иманов Л. М. Применение метода вторичных разностей главных моментов инерции, № 2, стр. 71.

Касимов Б. О. К вопросу определения числа структур информационных сетей с избыточностью в один канал, № 1, стр. 49.

Касимов Б. О. К вопросу определения числа структур информационных сетей с числом каналов от $n-1$ до $\left(\frac{n}{2}\right)$, где n —число источников информации, № 5, стр. 63.

Керимов И. Г., Рустамов А. Г., Валиев Л. М. Электропроводность и термоэдс антиферромагнитных полупроводников MnS и MnSe, № 1, стр. 69.

Керимов К. А. Исследование вязко-упруго-пластических характеристик полимерных материалов при поперечном ударе, № 3—4, стр. 185.

Кулиев А. А., Шахтахтинский М. Г., Томтнев Д. С. Гальваномагнитный эффект в твердых растворах висмут—сурьма, № 3—4, стр. 17.

Кулиева Д. М. Об асимметрии контуров слабых фраунгоферовых линий, № 1, стр. 92.

Мамедов М. Б. О разложении по собственным функциям несамоспряженного оператора Шредингера в некоторых неограниченных областях, № 3—4, стр. 162.

Мамедов А. Х. О некоторых вопросах определения оптимального режима системы пневмотранспорта установки гидрокрекинга, № 5, стр. 82.

Мамедов М. М. Окончательная орбита кометы 1954 XII Кресак—Пельтье, № 5, стр. 94.

Мамедов К. П., Сулейманов З. И. Термографическое исследование влияния чистоты аморфного селена на теплоту превращения, № 6, стр. 7.

Мамедов Ш. Н., Мухтаров Г. Г. Совершенствование технологии проведения горизонтальных горных выработок, № 6, стр. 60.

Мамедов Х. И. Квазилинейчатый электронный спектр органических молекул в парафинах при низкой температуре, № 3—4, стр. 60.

Мамедов К. П., Багиров С. Б. Рентгендифрактометрическое исследование теплового расширения кристалла TlSe, № 1, стр. 73.

Марон В. И., Сафаров Г. Г. Выбрасывание жидкости в пограничный слой на плоской пластинке, № 1, стр. 28.

Махмудов А. С. Обобщение теоремы Карлемана, № 1, стр. 8.

Мирзаджанзаде А. Х., Хасаев А. М., Гурбанов Р. С., Ахмедов З. М. Некоторые особенности разработки и эксплуатации месторождений негидрокарбонатных нефтей, № 3—4, стр. 137.

Мирзоева Л. М. Термодинамический равновесный состав и термодинамические параметры продуктов реакции азотно-кислородных смесей при высоких температурах, № 6, стр. 70.

Мугалов А. Г. О предельном переходе под знаком интеграла в смысле Чезаро-Данжуа, № 1, стр. 33.

Мусаев Э. М., Насирова Т. И. Система с ожиданием в случае возможности выхода прибора из строя и восстановления, № 3—4, стр. 119.

Мустафаев Л. Г. Связки полугруд, № 3—4, стр. 176.

Мухтаров А. И., Мурадов Р. Х. Упругое рассеяние Π мезонов высоких энергий на электронах, № 2, стр. 86.

Мухтаров И. А., Мухтаров Р. И., Мухтаров Э. И. Молекулярная структура 1,1,2-трифторэтана, № 2, стр. 74.

Нагиева Ф. М. Быстродействующий преобразователь код-аналог, № 2, стр. 55.

Наджафов Х. М. О единственности решения задачи Т для одного уравнения типа Трикоми с разрывными коэффициентами, № 5, стр. 28.

Наджафов Х. М. Задачи Коши для одного уравнения гиперболического типа, вырождающегося на границе с разрывным коэффициентом в одной точке, № 1, стр. 16.

Насибов М. Х. Суммирование двойных числовых рядов общим методом Бернштейна-Рогозинского, № 2, стр. 19.

Насиров Я. Н., Нагиев В. А., Зейналов А. А. Влияние малых замещений германия кадмием на тепловые и электрофизические свойства GeTe, № 3—4, стр. 15.

Омаров С. З., Гаджиев М. С., Гусев Е. Б. Фотоэлектрическое определение ночной прозрачности в шемахинской астрофизической обсерватории (гора Пиркули), № 6, стр. 3.

Османов Г. И. Некоторые свойства преобразований Фурье, функций из класса $L^p(-\infty, \infty)$, № 2, стр. 24.

Островский Г. М. Об одном численном методе решения оптимальных задач, № 1, стр. 56.

Пирмамедов В. Г. Разностный метод решения одной нестационарной задачи, фильтрации с подвижной границей, № 3—4, стр. 130.

Расизаде Я. М., Мамедов Р. М. О теплообмене при структурном режиме движения вязкопластичных сред между двумя параллельными пластинками и в круглой цилиндрической трубе, № 5, стр. 54.

Султанов Г. Ф. Некоторые закономерности в распределениях астероидов и осколков первичных крупных тел по признакам их физических и орбитальных особенностей, № 3—4, стр. 73.

Тагизаде А. Г. Решение краевых задач теории пластин переменной толщины методом малого параметра, № 2, стр. 34.

Таиров С. И., Тагиров В. И., Кулиев А. А. Исследование влияния магнитного поля на коэффициент Холла в монокристаллах системы германий-кремний р-типа, содержащих до 15 ат. % кремния, № 1, стр. 87.

Талиби М. А., Крутенюк Е. Г., Нагиев Э. М. Электроакустический эффект на селеновых р-п-гетеропереходах, № 1, стр. 77.

Халилов А. Х., Исаев Ф. К. Исследование спектров термостимулированной люминесценции KClBr+AgCl фосфоров, № 1, стр. 32.

Халилов Р. З. Об одной обратной задаче, № 3—4, стр. 169.

Халилова Т. А. Исследование спектра одного класса несамоспряженных дифференциальных операторов, зависящих от параметра, № 5, стр. 33.

Хасмамедов Ф. И. Уравнения динамики двухпоточных нагревательных трубчатых печей радиантного типа (радиантных камер) в случае, когда топливо подается одним потоком, № 6, стр. 38.

Шерман Д. И. Об одной частной краевой задаче теории потенциала (часть первая), № 1, стр. 42.

Шерман Д. И. Об одной частной краевой задаче теории потенциала (II), № 2, стр. 38.

Эфендиев К. И., Дашдамиров К. М. Исследование винтовой неустойчивости плазмы в смеси гелий—кислород, № 2, стр. 97.
 Эфендиев Г. А. Кинематический метод электронографии в исследовании фазовых превращений в тонких пленках, № 3—4, стр. 25.
 Эфендизаде А. А., Листенгартен Б. А., Курдюков Ю. М. Исследование формы кривой напряжения на выходе трехфазного инвертора на тиристорах, № 3—4, стр. 101.
 Эфендизаде А. А., Заирова Т. А. Расчет переходных процессов при работе трехфазного полупроводящего выпрямителя при нагрузке на двигатель, № 1, стр. 110.

МҮНДӘРИЧАТ

С. З. Өмәров, М. С. Нәчыјев, Е. Б. Гусев. Шамахи астрофизика рәсәдханасында кечә парылтыларынын фотоэлектрик тәҗини	3
К. П. Мәммәдов, З. И. Сүлейманов. Термографик үсүллә аморф селенин тәмизлик дәрәҗәсинин кристаллашма хүсуси истилијинә тәсиринин тәдгиги	7
М. А. Агарунов, С. Н. Нәчыјев, К. А. Гарашарлы, Ј. Н. Нәғдәлијева. Силициум үзвиг бирләшмәләринин физики-кимјәви тәдгиги. II җырланан бомбалы калориметр	11
Г. Б. Абдуллајев, Н. И. Ибраһимов, Ш. В. Мәммәдов. ЕПР методу илә селендә донораксептор гаршылыгы эләгәсинин өјрәнилмәси	16
А. Г. Абасзаде, А. Ә. Гылманов, С. К. Ахундов, Р. М. Чамалов. Алифатик спиртләрин истиликкечирмәсинә даир	22
Ч. М. Чуварлы, Г. А. Мионов. Квазихәтли системләрдә 2-чи тәртибли N ади диференсиал тәнликләрдә јазылан чохтезликли резонанс рәгеләрин һесабы	27
Ч. М. Чуварлы, Г. В. Вечхәјзер, П. В. Леонов. Диелектриклә һүдудлашмыш газ очағында електрик далғасы импульсларынын орталашдырылмасы	34
Ф. И. Хасмәммәдов. Јаначаг бир ахынла верилән ики ахынлы гыздырычы радиант типли борулу собаларын динамик тәнликләри	38
Ф. Г. Нүсейнов, Ј. Е. Гулијев, О. А. Елдаров. Електрик стансијасынын әсас аваданлығынын тәмир едилмәсиндә оптимал планлашдырылманын ријазии методлары	50
Ч. М. Чуварлы, Л. А. Мухарскаја. Күкүрд туршусу тәмизләмәсинин трансформатор јағларынын дајаныглығына тәсир	55
Ш. П. Мәммәдов, Г. Г. Мухтаров. Шагули дағ ишләнилмәсинин тәшкилиндә технолокијанын тәкмилләшдирилмәси	60
Л. М. Мирзәјева. Јүксәк температурда азот-оксикен гарышығынын реаксија мәнсулулуи термодинамики таразлыг һалында тәркиби вә термодинамики параметрләри	70

СОДЕРЖАНИЕ

С. З. Омаров, М. С. Гаджиев, Е. Б. Гусев. Фотоэлектрическое определение ночной прозрачности в Шемахинской астрофизической обсерватории (гора Пиркули)	3
К. П. Мамедов, З. И. Сулейманов. Термографическое исследование влияния чистоты аморфного селена на теплоту превращения	7
М. Я. Агарунов, С. Н. Гаджиев, К. А. Карашарли, Ю. Р. Нагдалиева. Физико-химическое исследование кремнийорганических соединений	11
Г. Б. Абдуллаев, Н. И. Ибрагимов, Ш. В. Мамедов. Изучение донорно-акцепторных взаимодействий в селене методом ЭПР	16
А. К. Абас-заде, А. А. Гылманов, С. К. Ахундов, Р. М. Джамалов. К теплопроводности алифатических спиртов	22
Ч. М. Джуварлы, Г. А. Миронов. Расчет многочисленных резонансных колебаний в квазилинейных системах, описываемых N дифференциальными уравнениями второго порядка	27
Ч. М. Джуварлы, Г. В. Вечхайзер, П. В. Леонов. Усреднение импульсов тока разряда в газовой полости, ограниченной диэлектриком	34
Ф. И. Хасмамедов. Уравнения динамики двухпоточных нагревательных трубчатых печей радиантного типа (радиантных камер) в случае, когда топливо подается одним потоком	38
Ф. Г. Гусейнов, Ю. Э. Гулиев, О. А. Эльдаров. Математические методы оптимального планирования ремонтов основного оборудования электростанций	50
Ч. М. Джуварлы, Л. А. Мухарская. Влияние глубин сернокислотной очистки на стабильность трансформаторных масел	55
Ш. Н. Мамедов, Г. Г. Мухтаров. Совершенствование технологии проведения горизонтальных горных выработок	60
Л. М. Мирзоева. Термодинамический равновесный состав и термодинамические параметры продуктов реакции азотно-кислородных смесей при высоких температурах	70

Подписано к печати 10/І 1968 г. Формат бумаги $70 \times 108^{1/16}$. Бум. лист. 2,63.
 Печ. лист. 7,2. Уч.-изд. лист. 7,00. ФГ 08014. Заказ 22. Тираж 640.
 Цена 80 коп.

Типография „Красный Восток“ Комитета по печати при Совете Министров
 Азербайджанской ССР. Баку, ул. Ази Асланова, № 80.