

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՌ-ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱՇԱԽԵՄՐԱՅԻ

# ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ.  
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԿՄԱԿԻՐԱԿԱՆ ԿՈՆԻՄԻՏ

Աղոնց Հ. Ց., Ալեքսեևսկի Վ. Վ., Քասպարյան Ա. Մ., Խղիազարյան Ի. Վ., Կասյան Մ. Վ., Նախարով Ա. Գ. (պատ. խմբագիր), Սիմոնով Ս. Չ., Տեր-Ստեփանյան Դ. Ի., Փինաջյան Վ. Վ. (պատ. խմբագրի տեղակալ):

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Авони Г. Т., Алексеевский В. В., Каспарян А. М., Егшизаров И. В., Касьян М. В., Назаров А. Г. (отв. редактор), Пиндусян В. В. (зам. отв. редактора), Симонов М. З., Тер-Степанян Г. И.

И. В. ЕГИАЗАРОВ

ВОЗМОЖНОСТЬ ЗНАЧИТЕЛЬНОЙ ЭКОНОМИИ ВОДНЫХ  
РЕСУРСОВ ДЛЯ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА.  
И ОДНОМОЛЕКУЛЯРНАЯ ПЛЕНКА ДЛЯ БОРЬБЫ  
С ИСПАРЕНИЯМИ С ПОВЕРХНОСТИ ВОДОЕМОВ, ОЗЕР  
И ВОДОХРАНИЛИЩ

(2-ое сообщение)

В сообщении первом\* были даны общие соображения о значении борьбы с испарениями с водной поверхности покрытием мономолекулярной пленкой из нетловых спиртов. Рассмотрены условия для определения стоимости одного кубического метра экономии воды. По данным исследований за рубежом (96 названий) был дан обзор способа создания пленки, условия ее сохранности и детектирования, влияние на флору и фауну и на качество воды, влияние пленки на величину испарения, удельный расход гексадеканоля, стоимость гексадеканоля, стоимость одного кубометра сохраненной воды и программы необходимых исследований в первом приближении.

Приведенные показатели охватывали опыты как лабораторные так и натурные, но для водоемов, наибольший размер которых был около 1 кв. км. Поэтому полученные данные можно было распространять на большие подоемы, водохранилища и озера только условно.

Наибольшие сомнения возникали по вопросам влияния ветра, сохранности пленки и степени обнажения водной поверхности от пленки, которые для больших водоемов могут значительно отличаться и приводить к менее благоприятной экономике борьбы с испарением.

Все эти обстоятельства были учтены в США, где после больших подготовительных исследований описанных в нашем первом сообщении, в 1958 году приступили к исследованиям на озере Хефнер площадью в 10 кв. км. Озеро Хефнер было избрано из большого числа других водоемов США, так как площадь озера достаточно велика, чтобы выявить влияние метеорологических условий и так как водный и тепловой балансы озера были исключительно хорошо изучены предыдущими исследованиями и особенно Харбеком (л. 40)\*\* и Албертсоном (л. 98). Площадь бассейна озера составляет только 130% его

\* См. Известия ТН, 1960, № 3.

\*\* Номера литературы до 96 относятся к библиографии первого сообщения. номера после 96 — см. в конце настоящей статьи.

поверхности и весь сток из озера идет на питание водой города Оклахома, т. е. точно учитывается, фильтрация из озера незначительна и может не учитываться. Орография озера такова, что не искажает воздушные потоки и не препятствует развитию ветра. В течение лета 1958 года спокойных периодов со слабым ветром было мало. Объем исследований проведенных до 1958 года, т. е. до опытов с мономолекулярной пленкой, совершенно исключительный и делает озеро Хефнер наиболее изученным озером всего мира.

Огромный объем метеорологических данных потребовал для обработки применения математических машин и перфорированных карт. Сделано сопоставление опытных данных с шестью эмпирико-теоретическими уравнениями для испарения и для водного баланса.

Для исследований 1958 года с мономолекулярной пленкой был организован координационный комитет в состав которого входили представители: Бюро Мелиораций США, Геологического управления США, Служба общественного здравоохранения США, Муниципалитет г. Оклахома и отдел Здравоохранения штата Оклахома.

Одновременно с опытами 1958 г. на озере Хефнер были проведены также полевые исследования 22 разных комбинаций жирных спиртов, включая и приготовление гексадеканоля использованного для озера Хефнер, для определения влияния температуры и зависимости уменьшения испарения от температуры для оценки качества технического (коммерческого) гексадеканоля.

Эти проверки показали, что имеются различного сорта цетиловые спирты и их комбинации, которые должны быть значительно более эффективны, чем то качество химикалия, который был применен в описываемых опытах на озере Хефнер. Обработка данных опытов производилась в целях контроля каждой группой исследователей независимо, и только в декабре 1958 г. эти группы встретились и сопоставили свои данные.

Приводимые ниже данные почерпнуты из совместного отчета упомянутых выше учреждений (л. 144).

*Определение уменьшения испарения под влиянием пленки* произведено по методу энергетического теплового баланса опубликованного Харбеком и Кобергом (л. 45) и сопоставлено с водным балансом за период: 18 мая — 30 октября 1958 г. Энергетический баланс составлялся декадно, хотя измерения производились чаще. Энергетический баланс и водный баланс дали хорошее совпадение, за исключением последней декады июня; за эту декаду выпало осадков более 200 мм и приток с бассейна озера был недостаточно определенный; поэтому этот период исключен; также был исключен период с 28/VIII по 2/IX, когда не работал прибор регистрировавший радиацию.

Эти исключенные периоды были восстановлены.

Испарение составило в млн. куб. м.

	Водный баланс	Тепловой баланс
С 21/V по 16 VI	1,68	1,65
С 7/V по 28/VIII	3,29	3,30
С 7/IX по 2/X	1,26	1,19
	6,23	6,14

Разница по обоим методам составила только 1% для всего периода; для отдельных периодов максимальная разница составила — 5%.

Водным балансом охвачен весь период с 18 мая по 31 октября 1958 г., для которого испарение составило 9,7 млн. куб. м или 970 мм.

На основе этих данных, также данных об испарении озера Хефнер за предыдущие годы, когда не было пленки, произведено сравнение. За период с 7 июля по 2 октября уменьшение испарения составило 9% или 540,000 куб. м и увеличение температуры воды под пленкой от 0,9 до 1,5 С.

Максимальное месячное испарение озера Хефнер за 1950—1951 гг. составило 235 мм, а за три летних месяца 555 мм.

По отдельным частям всего периода получились следующие данные:

1958	Уменьшение испарения в %	Увеличение температур. поды
15—25 июля	10	1,3
27 июля—7 августа	12	1,3
31 июля—7 августа	8	1,2
10—16 августа	12	1,5
1—19 августа	10	1,3
23—31 августа	7	0,9
5—12 сентября	14	1,2
Октябрь	0	

Такие низкие значения для уменьшения испарения объясняются метеорологическими условиями (ветер и температура), условиями подачи гексадеканоя, условиями сохранения пленки, которые будут описаны ниже. В отчете подчеркиваются неблагоприятные условия для озера Хефнер с характерными бурными ветрами, высокой температурой воды и плохими условиями эксплуатации мономолекулярной пленки (л. 144, стр. 44).

### Влияние ветра и сохранность пленки

Орографическое положение озера Хефнер и его незащищенность от ветров приводит к постоянному бурному состоянию водной поверхности. За лето 1958 г., когда велись опыты с пленкой периоды спокойствия были очень редки. Скорость ветра достигала и превышала 10 м/с и волны с обрывом гребней (барашки) были частым явлением.

Как результат степень покрытия площади озера пленкой получилась очень низкая, несмотря на подачу гексадеканоля в достаточном количестве для покрытия всей площади, кроме отдельных заливов очень мелких, площадь которых составляет 10<sup>0</sup>/<sub>0</sub>.

Максимальное, единичное, покрытие достигло 89<sup>0</sup>/<sub>0</sub>. Максимальное среднесуточное покрытие составило 62<sup>0</sup>/<sub>0</sub>. За 55 дней подачи гексадеканоля (остальные 31 день подачи по разным причинам не производилось) среднее покрытие составило 16<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, а среднее покрытие за все 86 дней — только 10<sup>0</sup>/<sub>0</sub>.

Совершенно ясно, что такие цифры указывают не только на трудности, вызываемые метеорологическими условиями, но указывают на плохую эксплуатацию средств аппликации и поддержания пленки.

Это обстоятельство наряду с влиянием температуры является основной причиной почему за весь период проведенного опыта величина экономии испарения составила только 9<sup>0</sup>/<sub>0</sub>.

Сделана попытка получить зависимость между скоростью ветра и степенью покрытия площади озера пленкой. Разброс точек огромный, и даже больший при относительно малых скоростях ветра. Так при скорости ветра в 4—4,5 м/с степень покрытия в отдельные дни менялась от 50 до 10<sup>0</sup>/<sub>0</sub>; с увеличением скорости ветра этот разброс даже несколько уменьшается. Эти показания подтверждают отмеченную плохую эксплуатацию по созданию и поддержанию пленки.

В периоды скоростей ветра приводящих к обрыву гребней волн (ок. 10 м/с) величина покрытия пленкой практически равна нулю. К сожалению не приводятся данные о степени восстановления пленки после таких волнений.

Отмеченный разброс точек по степени покрытия пленкой, тем более непонятен, что отмечается (л. 144, стр. 31) положительное влияние ветра для сжатия пленки и образования в ней необходимого давления, при бризах, и даже при скоростях ветра до 5 м/с (л. 144, стр. 43). Подчеркивается, что бризы и ветры такого порядка очень благоприятны для образования пленки и поддержания равновесного давления.

Опытами не обнаружено зависимости количества подачи гексадеканоля от скорости ветра, хотя суточная подача имела 5-ти кратные колебания, что также указывает на случайность полученных результатов.

На нарушение и разрушение пленки влияют ветер, взвешивание гексадеканоля и верхнем слое воды при волнениях, биологическое разрушение или расхождение отмеченное в первом нашем сообщении, о котором будет еще речь ниже, растворимость и летучесть гексадеканоля, несмотря на то, что летучесть и растворимость очень малы, но при сильно развитой поверхности они приводят все же к расходу в 0,009 г. на кв. м в сутки по исследованиям Мансфильда (л. 73, 144).

Из этих факторов наиболее вредным является прямое сдувание пленки, причем скорость перемещения пленки может достигать  $1 \text{ м/с}$ .

При отсутствии ветра, но при наличии волнения на водной поверхности пленка может растягиваться; при этом пленка снижает свое давление и следовательно ослабляет свое влияние на испарение.

Исследование Розано и Ламера (л. 60) показали, что увеличение площади приходящейся на одну молекулу на  $7\%$  по сравнению с равновесным состоянием приводит к падению давления ниже  $10 \text{ дин на см}$  и к уменьшению эффективности пленки по испарению на  $80\%$ .

В связи с отмеченными обстоятельствами в Австралии автоматизируют подачу гексадеканоля на ветер. Клапан (затвор) резервуара подачи эмульсии автоматизирован на ветер так, что срабатывает только если ветер дует от берега (л. 99). Вообще подача должна быть автоматизирована в зависимости от направления ветра и не должна работать при волнении с обрывом гребней (л. 74).

Полученные на озере Хефнер результаты за 1958 год несколько противоречат исследованиям Минсфильда (л. 73). Исследование показало, что тогда как без пленки испарение непрерывно возрастает с увеличением ветра, при наличии пленки такое возрастание при уменьшенных значениях испарения происходит значительно медленнее и при том до скорости ветра в  $2 \text{ м/с}$ , а затем остается неизменным до скорости в  $4 \text{ м/с}$  и больше.

Оказалось, что в этих пределах экономия испарения при ветре в  $3 \text{ м/с}$  значительно больше, чем при ветре в  $0,6 \text{ м/с}$ . Эта разница тем больше чем больше инсоляция; при отсутствии инсоляции разница получилась в 1,75 раза; при инсоляции в 40 калорий на  $\text{кв. см}$  в час — в 4 раза; с дальнейшим увеличением инсоляции это соотношение еще увеличивается (л. 73, фиг. 5 и 4). Увеличение температуры водной поверхности составило  $2,7^\circ\text{C}$ .

### Влияние температуры воды

Чтобы осветить вопрос о влиянии температуры поверхности воды на состояние пленки, необходимо остановиться более подробно, чем что было сделано в первом сообщении, на условиях образования давления внутри мономолекулярной пленки.

Образование пленки из  $25 \text{ мм}$  шарика чистого гексадеканоля (99 процентного) при периметре в  $78 \text{ м.м}$  контакта с водой и при температуре  $25^\circ\text{C}$ , исследовалось (л. 19) на давление в пленке (with a hydrophil balance). Давление в пленке начинает образовываться через 9 минут, достигает  $25 \text{ дин на см}$  через 20 минут, а к 50 минутам доходит до равновесного состояния в  $40 \text{ дин на см}$ .

При этом давлении в пленке экономия испарения получается наибольшая (л. 19, 74).

Если дальше сжимать пленку, то при сжатии на  $2,3\%$  достигается давление в  $48,6 \text{ дин}$  после которого пленка теряет давление (коллапс).

Пока площадь занятая одной молекулой больше 25 квадр. ангстремов давление в пленке очень мало; с уменьшением этой площади это давление резко возрастает пока не достигает условий равновесия при 40 динах. Искусственное дополнительное сжатие вызывает коллапс при площади 22,3 квадр. ангстремов.

Опыты с образованием пленки из порошкообразного гексадеканоля с частицами в 0,1 мкм не привели к ускорению образования пленки, так как площадь контакта с водой уменьшается. Оптимальным размером части оказался 1,5—2,0 мкм. Исследовано влияние числа шариков и дисков на скорость образования пленки.

При равновесном давлении в 40 дина на см, молекулы пленки так плотно прилегают друг к другу, что при дальнейшем сжатии на 2,3% молекулы выдвигаются из одномолекулярного слоя и наступает коллапс.

Разница в площади, занимаемой молекулой гексадеканоля в условиях равновесия и в условиях коллапса показывает, что цепочка (C) не располагается вертикально, а несколько наклонена.

Давление в пленке определяется разностью поверхностного натяжения водной поверхности без пленки, по сравнению с поверхностным натяжением при наличии пленки (л. 74, 91).

Если первоначальное поверхностное натяжение для воды 72 дина, а после образования пленки 52 дина то разница в 20 дина и будет соответствовать давлению в пленке (л. 142).

Увеличение температуры воздуха и воды отрицательно влияет на давление пленки. Поэтому существенна высокая температура плавления гексадеканоля (ок. 50°С) и возможность ее увеличения химическими добавками (л. 74, 81).

При температуре в 4, 5° равновесное давление в пленке 25 дина, которое растет до 40 дина при 28° и падает до 39 дина при 32°С (л. 142).

Температура воды и пленки значительно влияет на экономию испарений, что зависит и от температуры плавления гексадеканоля. Опыты в Индии (л. 81) показали, что если при 20°С экономия испарений достигает 60%, то при 30° падает до 35%, а при 50° до 20%.

Лабораторные опыты 1958 года проведенные одновременно опытами на озере Хефнер показали, что при равновесном давлении экономия испарения в 64% получается только при низкой температуре, и что для температур озера Хефнер за летний период (25—28°С, л. 144, стр. 41) экономия будет около 35%. Следовательно по условиям существования пленки и степени покрытия экономия испарения была уменьшена еще 4 раза, так как получилась 9% (см. выше).

Поэтому для озера Севан, при летних температурах воды 13—18°С, условия будут значительно более благоприятны чем для озера Хефнер.

### Качество продукта для образования пленки, условия аппликации и расход гексадеканоля

В опытах 1958 года на озере Хефнер применялся коммерческий (технический) гексадеканолю высокого качества. При этом отмечается, что в будущем могут быть получены другие жирные спирты еще более высокого качества (л. 144, стр. 19).

Всего израсходовано 18 тонн гексадеканоля, полученных в четырех приемах, партиями, от 1,8 до 9 тонн. Состав продукта в этих четырех поставках колебался незначительно: ацетил 194,3—196,9 единиц; гидроксил 227—231 единиц; температура плавления 50,9—51,0°С; состав по длине углеродной цепи:  $C_{12}$ —0,2—0,69;  $C_{14}$ —4,01—4—4;  $C_{16}$ —90,3—92,89;  $C_{18}$ —2,07—4,8;  $C_{20}$ —0—0,3 г. е. главная составная часть гексадеканолю.

Сухой порошок гексадеканоля механически взвешивался в воде (суспензия) и разбрызгивался на поверхность озера, с моторной лодки, и с буксируемой платформы на четырех понтонах. На моторной лодке оборудование было менее доступно обслуживанию, но зато маневрирование легко осуществлялось и при любом ветре. Лодку можно было загружать до 180 кг, а платформу до 400 кг гексадеканоля, что было более чем достаточно для дневной порции.

Вода подавалась насосами из озера в два резервуара с механическими мешалками и суспензия разбрызгивалась на поверхность специальными насадками. Поддача производилась только днем в течении 7 часов. Для планирования подачи был составлен график суточного распределения испарения идеализированного дня, минимум которого составлял 60% от максимума (максимум от 15 до 18 часов).

Максимальная суточная подача составила 660 кг.

Оказалось, что определять наличие пленки и степень покрытия можно визуально, фотографированием с некоторой высоты, и с высоко расположенных зданий на берегу и аэрофотосъемкой.

В отчете приведены соответствующие фотографии (л. 144 фиг. 6—8). Судя по тексту отчета визуально определялось не только наличие пленки, но и степень ее сжатия. В отчете нет указаний на методы определения давления в пленке: по-видимому сжатие пленки постоянно обеспечивалось ветром и скорее следовало опасаться коллеса и обнажения поверхности, а не падения давления.

### Биологическое разрушение пленки

В дополнение к изложенному в нашем первом сообщении можно отметить, что были проведены опыты с стерилизованной водой содержащей гексадеканолю в количестве одной миллионной и с посевом двух видов бактерий; рост бактерий оказался стократным. При тех же условиях и количестве химикалия 100 на миллион увеличение получилось в 1000 раз. То же самое в сырой, не стерильной воде дало соответственно рост в 500 и 10.000 раз. Во всех случаях *Pseudomonas* давали больший рост чем *Alcaligenes* (л. 14).

Для всех опытов были избраны эти бактерии, так как другие например *Proteus*, *Escherichia coli*, *Shigalla* и др. приводили к менее заметному росту (л. 14).

В целях борьбы с значительным влиянием бактерий на пленку применялось хлорирование воды, а также химические добавки к гексадеканолу: Tribromomelamine, Trichloromelamine (ТВМ), Hexachloromelamine (НСМ), Pentachlorophenol, Benzachlorophenol, Dichlorochloroaminotriazine, Trichlorocarbonylide, Betanopol и Iodine (I<sub>2</sub>) в количестве 5 и 15% (л. 19).

Эти добавки несколько уменьшают давление в пленке, с 40,4 до 36,8 дин на см: хлорирование воды не влияет на давление в пленке.

Влияние хлорирования воды складывается очень значительно и приводит примерно к увеличению экономии испарения ок. 20%. Влияние перечисленных выше добавок слабее, но Ши Лу Чанг (л. 19) отмечает, что в лабораторных условиях добавки НСМ и ТВМ дали хорошие результаты, которые не повторились в натуре (outdoor), что объясняется разложением этих добавок на солнце.

Обратное получилось с I<sub>2</sub> — которое в открытых условиях обеспечило дезинфекцию и большее давление в пленке.

Существенно влияние добавок на длительные сроки. В течении первых двух дней гексадеканол без добавок приподил к наибольшей экономии испарений (л. 19).

Имеется указание на то, что бактерии, не влияя на качество воды для питья, могут увеличить урожайность флоры озера (л. 14).

Для исследования влияния пленки на растворенные в воде неорганические соединения, опыты проводились на озерах Кидс и Хефнер. Проверялись: полное содержание щелочей, фенол-фталиновых щелочей, хлоридов и полная жесткость. Заметных изменений при наличии пленки не было обнаружено. (л. 14). Был обнаружен некоторый рост водорослей, но он сопровождался понижением уровня воды в озерах и связан также с увеличением азотистых веществ в воде (л. 14).

#### Удельный расход гексадеканоля и экономика борьбы с испарениями (л. 144, стр. 89—91)

За время опытов 1958 года расход гексадеканоля составил 18 тонн по цене 1,15 доллара за килограмм (в сообщении первом было принято 1,33 доллара), т. е. вся стоимость продукта составила кругло 20,000 долларов.

Удельный расход гексадеканоля получался 0,020 г на кв. м в сутки (в сообщении первом было принято 0,014).

Так как сэкономлено 540,000 куб. м воды, то один куб. метр обошелся, только по стоимости продукта в 3,7 цента.

Прочие эксплуатационные расходы составили: амортизация оборудования, топливо, ремонты и пр. — 2620; рабочая сила 4222; разные рас-

ходы—750; а всего 7410 долларов или 37% от стоимости продукта (по данным Дреслера и Иохансона—д. 30)—эксплуатационные расходы составляли только 15% от стоимости продукта). Следовательно эксплуатационные расходы составили 1,4 цента на куб. м воды.

Поэтому полная стоимость одного сохраненного куб. м воды составила, при отмеченных выше тяжелых условиях озера Хефнер, 5,1 цента, при среднем покрытии поверхности озера пленкой только в 10% и при высокой температуре воды.

Интересно, что в отчете (л. 114, стр. 91) отмечается, что стоимость технического гексадеканоля может быть уменьшена вдвое, и качество может быть повышено; может быть повышена и биологическая устойчивость, что разумеется снизит средний суточный расход гексадеканоля.

При таких условиях, даже без увеличения степени покрытия пленкой, стоимость 1 куб. м сохраненной воды для озера Хефнер может быть доведена до 3 центов.

В условиях более низкой летней температуры и увеличения покрытия только в двое (до 20%) стоимость 1 куб. м сохраненной воды может быть доведена до 1 цента.

### В ы в о д ы

Таким образом несмотря на мало благоприятные показатели, полученные для озера Хефнер в результате опытов 1958 г., перспективы этого метода борьбы с испарениями достаточно благоприятные, и безусловно оправдывают широкую постановку исследований в СССР.

Направление исследований было правильно намечено в первом сообщении; в первую очередь необходимы: улучшение методов создания пленки при наличии ветра, поддержание ее на большей части поверхности, сохранность пленки, защита от биологического воздействия, улучшение температурной характеристики петлиловых спиртов, увеличение температуры плавления. Необходимы меры к уменьшению стоимости продукта вместе с улучшением качества и дезинфицирующих свойств и с увеличением промышленной выработки не из жиров, а из синтетических продуктов.

### НАЧАЛО ИССЛЕДОВАНИЙ В СССР ПО БОРЬБЕ С ИСПАРЕНИЯМИ

В СССР, кроме чисто лабораторных опубликованных исследований 1933—40 гг. (л. 1р—9р), к исследованиям по практической борьбе с испарением с водной поверхности приступлено в 1960 году.

По инициативе МСХ СССР, ВАСХНИЛ'а и постоянной комиссии по поверхности активным веществам, с участием советского комитета по ирригации и дренажу (акад. А. И. Аскоченский), к исследованиям привлечены лаборатории Института физической химии АН СССР (проф. докт. А. А. Трапезников), Института органической химии (чл. корр. АН СССР А. Д. Петров), Всесоюзный Институт гидротехники

и мелиорации (ВНИИГиМ—В. С. Макарова) и Валдайская Лаборатория гидрологических исследований Гос. Гидрол. ин-та ГУГМС'а (В. И. Кузнецов).

Начаты в Москве лабораторные исследования по 12-ти жирным спиртам, -жирового и синтетического происхождения и с гексадеканолем полученным из США.

Параллельно ведутся исследования на испарителях и на водоеме в 100 кв. м на Валдае.

Построен механический прибор для детектирования и определения давления пленки (системы Трапезникова и Огарева), пригодный в безветренных условиях. Ведутся работы по созданию прибора для натуральных условий при волнении водной поверхности.

Опыты 1960 года на Валдае уже дали интересные характеристики 12-ти исследованных химикалий (см. статью научной сотрудницы ВНИИГиМ'а В. С. Макаровой в Трудах Гидрологического института 1961 г.). Но эти опыты нужно рассматривать как предварительные, учебные, так как еще не освоено все то, что за 8 лет достигнуто за рубежом.

В результате повторных предложений со стороны пишущего, начиная с 1958 года (на ученом совете Водно-энергетического института (ВЭНИ) Армянской АН, на заседаниях Бюро Отделения технических наук и Президиума Академии), в 1960 году Институтом гидравлики и энергетики АН АрмССР (ранее ВЭНИ) начата подготовка к исследованиям на испарителях и на двух водоемах площадью 0,4 и 0,2 кв. км (лагунные озера) на восточном берегу озера Севан (Арманиш), т. е. в натуральных береговых условиях озера. Водный и тепловой баланс этих озер изучается. Химикалии для опытов любезно предоставлены ВНИИГиМ'ом. В целях координации этих опытов и опытов на Валдае, Институтом было командировано 2 сотрудника для участия в опытах на Валдае, а осенью 1960 г. научный сотрудник ВНИИГиМ'а В. С. Макарова, очень энергично осуществляющая научную связь, оказала помощь и участвовала в опытах поставленных в Армении с 6-ю из отмеченных выше химикалий.

Кроме того, в большой открытой Лаборатории Института в Норке, организованной в 1951 году пишущим для волновых исследований в нижнем бьефе Куйбышевской гидроэлектростанции, создан искусственный водоем площадью 6600 кв. м (длиной 50 и глубиной 1,5 м) снабженный волнопродуктором, для опытов с защитной, от испарения, пленкой при волнениях водной поверхности с высотой воли до 30 см.

Что очень существенно, эта лаборатория располагает мощной самолетной пропеллерной установкой мощностью 820 л. с. (самолет ЛИ-2) для опытов со сдуванием защитной пленки и ее дрейфом. Разумеется и опыты 1960 года в Армении носят только предварительный и учебный характер. И здесь также должно быть освоено то, что уже достигнуто за рубежом.

Изучение опыта за рубежом, резюмированное в наших двух со-

общениях, показывает, что исследования 1961 года должны идти в трех направлениях.

1. Исследование советских химикалий для образования защитной пленки и ее проверка в натуральных условиях.

2. Исследования непрерывной подачи суспензии (цетилового спирта) в условиях ветровых волнений водной поверхности и в условиях ветрового стога пленки. Определение степени покрытия пленкой поверхности водоема и эксплуатационных условий, обеспечивающих увеличение степени покрытия.

3. Определение советских условий производства технических жирных спиртов высокого качества и условий удешевления этого продукта, с получением его из синтетических продуктов нефти в промышленных количествах.

Необходимо создание Всесоюзного Комитета по борьбе с испарениями на базе положений Постановления Совета Министров СССР от 22 апреля 1960 г. № 425, о „Мерах по упорядочению использования и усилению охраны водных ресурсов СССР“.

Институт гидравлики и энергетики

АН Армянской ССР

Поступило 10.X.1960

Ի . Վ . ԵՂԱԶԱՐՅԱՆ .

**ԺՈՂՈՒՐԳԱԿԱՆ ՏՆՏԵՍՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԱՐ ԶՐԱՅԻՆ ՊԱՇԱՐՆԵՐԻ  
ԶԳԱԼԻ ՏՆՏԵՍԱՄԱՆ ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ԶՐԱՎԱԶԱՆՆԵՐԻ, ԼՃԵՐԻ  
ՈՒ ԶՐԱՄՐԱՐՆԵՐԻ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹԻՑ ԳՈՂՈՐԾՈՒՄՍԱՆ ԿՅՈՒ ՊԱՅԲԱՐԵԼՈՒ  
ՀԱՄԱՐ ՄԻԱՄՈԼԵԿՈՒԼԱՐ ՊԱՇՏՊԱՆԻՉ ԻՄՎԱՆԻԹ**

(Հաղորդում 2)

Ա մ փ ո փ ս ւ ւ փ

Առաջին հաղորդման մեջ բերված էին ցետիլալին սպիրտների միաժույկուլյար թաղանթով ծածկույթի միջոցով ջրային մակերևույթից գոլորշիացման դեմ պալքարի նշանակության վերաբերյալ ընդհանուր գատողություններ: Դիտված էին մեկ խորանարդ մետր տնտեսված ջրի արժեքի որոշման պայմանները: Ըստ արտասահմանյան հետազոտությունների տվյալների (96 անվանում) ընդհանրացված էր թաղանթի ստեղծման ֆիզիկան և քիմիան ընդգրկող հարցը, թաղանթի պահպանման և ղեկկցման պայմանները, ֆլորայի և ֆաունայի ու ջրի որակի վրա նրա ազդեցությունը, թաղանթի ազդեցությունը գոլորշիացման մեծության վրա, հեկտադեկոնալի տեսակարար ծախսը, հեկտադեկոնալի արժեքը, մեկ խորանարդ մետր պահպանված ջրի արժեքը, ինչպես և տրված էր առաջին մտայնորոշված կատարվող անհրաժեշտ հետազոտությունների ծրագիրը:

Բերված գույանիչները ընդգրկել էին ինչպես լարերատոր, ախպես և բնական փորձերը, սակայն ախպիսի ջրամբարների համար, որոնց մեծազույն չափը մոտ 1 քառ. կմ է: Այդ պատճառով ստացված տվյալները կարելի է տարածել մեծ ջրավազանների, ջրամբարների ու լճերի վրա միայն պայմանալի մեծությամբ:

Նշանակալից կատկածներ ևն առաջանում քամու սպիտակաթուղթի, թաղանթի պահպանման ու ջրային մակերևույթը թաղանթից մերկացման աստիճանին վերաբերող հարցերը, որոնք մեծ ջրավազանների համար կարող են զղայթուն տարրերվել և զրանով իսկ գոլորշիացման դեմ պալքարը անուսուպես անբարենպաստ դարձնել:

Նշված բոլոր հանդամանքները ԱՄՆ-ում հաշվի էր առնված, որտեղ 1958 թվականին յսփականին մեծ նախապատրաստական հետազոտություններից հետո (արբ մասին նկարագրված է մեր առաջին հաղորդման մեջ) անցել էին հետազոտությունների 10 քառ. կմ մակերևույթի շեփեր լճի վրա:

ԱՄՆ-ում եղած բազմաթիվ ջրավազաններից շեփեր լճի ընտրությունը բացատրվում է նախ լճի մակերևույթի բախարար մեծությունը, որը հնարավորություն է բնականում բացահայտելու օդերևույթաբանական պայմանների ազդեցությունը, անպես և հաշվի է առնվել լճի ջրային և ջերմային բալանսների լավ ուսումնասիրությունը նախորդ հետազոտողների և հատկապես Հարբինի [10]\* և Սկրեբտոունի [98] հոդվածի:

Լճի ավազանի մակերևույթը կազմում է նրա մակերևույթի միայն 150% և լճից կատարվող ամբողջ ելքը գտնվում է Սկրախումա քաղաքի ջրամուցման վրա. օդային ուր դա ճիշտ հաշվառքի է ենթարկվում. իսկ լճի ֆիլտրացիան աննշան լինելով հնարավոր է անտեսել:

Լճի անդադատությունները պայմանավորված է, որ նա չի ալպալպում օդային հոսանքները և չի խոչընդոտում քամու ստրամանը: 1958 թվականի ամառվա ընթացքում եղել են թվով աննշան թույլ ջրամակերպի հանդիսա ժամանակաշրջաններ:

Հետազոտությունների ծավալը, որոնք կատարվել էին մինչև 1958 թվականը՝ ալսինքն, մինչև միամուկուլյար թաղանթով կատարված փորձերը, միանգամայն յսպառիկ է և շեփեր լիճը դարձնում է ամբողջ աշխարհում ամենասոսմանասիրված լիճը:

Հսկայական ծավալի հոսանք օդերևույթաբանական սպիտակների մշակման համար պահանջվել էր մասնամատկական մեքենաների և պերֆեկցացված բորակների օդապարծում: Համեմատություն է կատարված փորձական տվյալների և գոլորշիացման ու ջրային բալանսի համար եղած վեց փորձատեսական բանասանքի միջև:

1958 թվականին միամուկուլյար թաղանթով կատարվող հետազոտությունների համար կազմակերպվել էր կոորդինացիոն կոմիտե, որի կազմի մեջ էին մտել՝ ԱՄՆ-ի Մեյխուրացիայի Բլոքոն, ԱՄՆ-ի Գեոլոգիական վարչությունը, ԱՄՆ-ի Հասարակական ստոգրապատիվան ժառանգությունը, Սկրախումայի քաղաքային մունիցիպալիտետը և Սկրախումա շտաբի Աստղագրական թանկանք:

Շեփեր լճի վրա կատարված 1958 թվականի փորձերի հետ մեկտեղ անց էր կացված նաև գաղտային ուսումնասիրություններ ճարպային սպիրտների 22 տարրեր կոմբինացիաների համար, որոնց մեջ էր մտնում շեփեր լճի համար օդապարծված հեկադեկադեկ պատրաստումը: Ուսումնասիրությունները նպատակ ունին որոշելու ջերմաստիճանի ազդեցությունը և ջերմաստի-

\* Գրականության համարները մինչև 98-ը վերաբերում են առաջին հաղորդման բնութագրականին, 98-ից հետո եղածները՝ անս ալս հոդվածի վերջում:

ճանից կախված գոլորշիացման պակասեցումը տեխնիկական (տեխնոլոգիական) հեկտադեկանոցի որակի գնահատման համար:

Այդ ստուգումները ցույց էին տվել, որ գոլորշիուն աճին տարրեր տեսակի ցեաղախին սպիրտներ և զբանց կամրինացիաներ, որոնք պետք է լինեն նշանակալից չափով էֆեկտիվ, քան ան թիմիական նյութերի որակը, որոնք օգտագործվել էին վերը նկարագրված շեֆներ լճի վրա կատարված փորձերում:

Ստուգման նպատակով հետազոտողների լուրջ քննարկումը խմորի փորձերի ավելանելի մշակումը վերջիններիս կողմից կատարված է իրարից անկախ և միայն 1958 թվականի դեկտեմբերին այդ խմբերը հանդիպում են և համեմատում իրենց ավելաները:

Ներքևում բերվող ավելաները վերցված են վերը թվարկված հիմնարկների համասեղ հաշվետվությունից (144):

1958 թվականի փորձերի ժամանակաշրջանում ամբողջ շեֆներ լճի (10 քառ. կմ) գոլորշիացման տեսետումը կազմել է 510 000 խոր. մ կամ լճի ամբողջ մակերևույց կատարվող գոլորշիացման  $9^{\circ}$  և ըստ որում ջրի ջերմատիճանի բարձրացումը թաղանթի տակ կազմում է 0,9-ից մինչև  $1,5^{\circ}\text{C}$  ջերմաստիճանի 25—28  $^{\circ}\text{C}$ -ի դեպքում. քանի որ լճի մակերևույթի միջին ծածկույթը թաղանթով 86 օրվա համար կազմում է միայն  $10^{\circ}$  և այսինքն  $K = 0,1$ :

Հաշվետվություն մեջ նշվում է ջերմաստիճանի և հատկապես քամու անբարենպաստություն պայմանը, որից լճի լուրջությամբ պաշտպանված չէ և որ փորձերի համարյա ամբողջ ընթացքում քամին կրում էր փոթորկալի բնույթ և աչքի էր ընկնում իր մեծ արագություններով:

Այդ փորձերի համար ստացված էր 18 տոննա քանակությամբ հեկտադեկանոց լուրջ քննարկումը կիրառմամբ 1,15 գոլորշի արժողությամբ: Հաշվարկությունում նշվում է, որ տեխնիկապես պիտանի հեկտադեկանոցի արժեքը կարելի է կրկնակի նվազեցնել, ըստ որում դրա հետ մեկտեղ բարձրացնելով նրա որակը:

Ջրի պահպանված լուրջ քննարկումը խոր. մետրի արժեքը կազմել է 5,1 ցենտ, նշված պայմաններում մակերևույթի միայն  $10^{\circ}$ -ի թաղանթի միջին ծածկույթի դեպքում:

Մակերևույթի միայն  $10^{\circ}$  միջին ծածկույթի դեպքում գոլորշիացման տեսետում  $9^{\circ}$  ցույց է տալիս, որ դա շատ մեծ տեսետում է. նվազ վերջինը վերաբերի հենց այդ  $10^{\circ}$ -ին: Հետևաբար, շնայած շեֆներ լճի վրա 1958 թվականի փորձի անբարենպաստ պայմաններին, գոլորշիացման դեմ պայքարի այդ եղանակի հետևանքը բավարար չափով բարենպաստ է՝ արդարացնում է մեծ ջրավազանների (լճերի, ջրամբարների) համար զբոս լայն հետազոտությունները և անցում արդարեանում է դրանց անմիջական կիրառումը փոքր ջրամբարների համար:

Անհրաժեշտ է հասնել էժան, բայց որակավոր սովետական հեկտադեկանոցի ստացմանը:

Հարկավոր է լայն բնական փորձեր դնել մեծ ջրավազանների (լճերի) մակերևույթի քամու առկայություն պայմանում ավելի մեծ արդյունավ թաղանթին ծածկույթով պահպանելու համար:

Երկրորդ հաղորդմանը կցված է հոդվածների բիբլիոգրաֆիական ցանկ (52 անվանում), որը լրացնում է առաջին հաղորդման ցանկը: Հոդվածի վերջում անդեկոթվածներ են ընդգրկված 1959 թվականին ՍՍՄԿ-ում և մասնավորապես Հայկական ՍՍՄԿ-ում ԳԱ Հիդրամիլիայի և էներգետիկայի ինստիտուտում սկսված հետազոտությունների վերաբերյալ: Այդ հետազոտությունները առաջիմ կրում են նախնական, աստիճանական բնույթ, սակայն 1961 թվականին պետք է ընդլայնվեն, հատկապես պաշտպանական թաղանթի վրա քամու ազդեցության ուսումնասիրության հարցում:

Այս կադակցությունը, հիմնվելով ջրային մետաղների օդոտորման միջոցառումների և ջրային կորուստների դեմ պայքարի վերաբերյալ ՍՍՄԿ ինստիտուտների Մայկաի 1960 թվականի ապրիլի 22-ի № 125 որոշման վրա, անհրաժեշտ է կազմակերպել համամիութենական կոորդինացիոն հանձնաժողով:

### Л И Т Е Р А Т У Р А

97. Adam N. K. A rapid method for determining the lowering of tension of exposed water surfaces. Proc. Royal Soc. London, Vol. 122, Series B, 1937.
98. Albertson M. L. La mecanique de l'évaporation. Журнал Houille Blanche, 1955, № 5: 1959, № 1—2.
99. Atty T. Phyllos. Magazine, 1933, 15, 82.
100. Archer-Daniels-Midland Co. Evaporation-major agricultural problem. Conservation Bulletin, 1957, № 1.
101. To жe. Experimental procedures for water control testing. Conservation Bull. 1957, № 2.
102. Bikerman J. J. Surface chemistry for Industrial Research. 1948, p. 75, Academic Press, New York.
103. Blaney H. F. Evaporation from free water surfaces at high altitudes. PASCE, Irr. div., 1956, Nov. Discussion 1958 Jan.
104. Brookfield u др. Proc. Royal Soc. A, 190, 59, 1917.
105. Brunt D. Physical and dynamical meteorology. 1914, Cambridge University Press.
106. Burdon R. S. Surface tension and the spreading of liquids. 1949, 2-nd ed., p. 70, Cambridge University Press.
107. Ghang S. L. u др. Evaluation of hexadecanol formulations containing desinfective agents in evaporation reduction. R. Taft Sanitary Eng. Center. Cincinnati, Ohio, 1958.
108. Carey and Rideal, Proc. Royal Soc. A, vol. 109, pp. 301—338, 1925.
109. CSIRO Reducing water losses. CSIRO press release. Australia, 1957.
110. Crowe F. R. and Daniel E. R. Chemical means of controlling evaporation from open water surfaces. Ann. Meet. Am. Soc. Agric. Eng. East Lansing, Mich, 1967.
111. Docking and others Nature, 1940, 146, 265.
112. Dressler R. G. Southwest cooperative research project on reservoir evaporation control. First Intern. Conf. on Reservoir evaporation control. San Antonio, Tex. 1956, Southwest Research Institute.
113. Drew H. R. Evaporation control in Texas, 26-th annual convention Nat. Reclam. Assoc. Phoenix, Ariz. 1957.
114. Du Nouy P. L. Evidence indicating the existence of a superficial polarized layer of molecules at certain dilutions. Journ. Exper. Medecine, 1924, 39, 717.
115. Du Pont De Nemours E. J. & Co. „Loral“ 24 as an evaporation retardant. Information Sheet. 1957.
116. Editors note. „Research“ 1957, 10, 204. London.
117. Evans L. F. Austral. Journ. Appl. Sc., 1953, 4, 165.

118. Evaporation Control. The application of monolayers. *Water and Water Eng-g.* 1957 June, p. 255.
119. *Fergusson J.* Austral. Journ. Sc. Research, 1952, A 5, 315.
120. *Florey Q. L.* Reservoir evaporation control. Screening tests on monolayers and duplex films. Chem. Eng. Labor. Rep. № 12, Bureau of Reclamation, 1957.
121. *Gilby A. R.* and *Heymann E.* Austral. Journ. Sc. Research, 1948, A 1, 197.
122. *Hanson H. G.* Public health service interest and program in reservoir evaporation control research. First intern. Confer. on reservoir evaporation control. San Antonio, Texas, 1956. Southwest Res. Inst.
123. *Harleck G. E.* and *Coffay E. N.* A comparison of rainfall data obtained from rain gage measurements and changes in lake levels, 1959.
124. *Harkins N. D.* The physical chemistry of surface films. 1952, Reinhold Publ. corporation.
125. *Hayes M. L.* Biological effects of hexadecanol. Colorado State Univ. Rep. 1959.
126. *Heyman E.* and *Ioffe A.* Trans. Faraday Soc., 1942, 38, 408.
127. *Idem.* 1943, 39, 217.
128. *Hickman K. C. D.* Industr. Eng. Chem. Anal., 46; 1442, 1954.
129. *Hinckley N.* Bacterial degradation of hexadecanol. Masters Thesis North Texas State College, Denton, Tex. 1957.
130. *Hunt J. A.* Evaporation from lake Ontario. Tr. ASCE. Hydr. div., 1959 Feb.
131. *Jeffreys H.* Philosophical Mag., 1918, 35, 270.
132. *Jordan H. E.* Increasing use of water by industry. Yearbook of Agriculture. 1955, U.S. D-t of Agric., Washington.
133. *Langmuir L.* and *Schaffer V. J.* Properties and structure of protein monolayers. Chemical Reviews 1939, 24, № 2, April.
134. *Laycock H. C.* Cetyl Alcohol used to control evaporation. Western Water News. Oct. 1956, San Francisco, Cal.
135. *Mansfield W. W.* Summary of field trials on the use of cetyl alcohol to restrict evaporation from open storages. CSIRO div. of Ind. Chem. Serial, № 74 and 75, 1957, Melbourne, Australia.
136. *Olmstead F. H.* and *Davis G. H.* Geologic features and ground water storage capacity of Sacramento Valley. Water supply paper U. S. Geological Survey.
137. *Pockels A.* Surface tension. Nature, 1891, 43, pp. 437-439.
138. *Rayleigh J. W. S.* Investigation on capillarity. Philos. Mag., 1799, 47, p. 337.
139. *Swan F. A.* Reclamation tests way to prevent evaporation losses from vital reservoirs. D-t of Interior Press Release № P N 17432, 1957, Washington.
140. *Timblin L. O.* Preliminary toxicity studies with hexadecanol. Eng. Laboratories Rep. № 12, Bureau of Reclamation Denver.
141. *Timblin L. O.* Activities of the Bureau of Reclamation on lake Hefner project Sept. 1956 to Sept. 1957. Paper at 46-th conference of Southwestern Am. Water. Assoc. Oklahoma Oct. 1957.
142. *Timblin L. O.* and *Florey Q. L.* Reservoir evaporation reduction by monomolecular layers. 31-st annual meeting Am. W. W. Assoc. Santa Fe New Mexico, Sept. 1957.
143. *Turre G. J.* Water quality at Ralston reservoir following application of hexadecanol. Letter Oct. 1, 1957.
144. Water loss investigations lake Hefner 1953. Evaporation reduction investigations Report of collaborators. June 1959.
145. *Wells J. V. B.* Surface water supply of U. S. 1953 p. 9. U. S. Geological Survey water supply paper 1283, 1955.
146. *Whitlow E. P.* and *Cruse R. R.* Reduction of water losses by retardation of evaporation 15-th annual Water Conference Eng. Sec. West. Pennsylvania. 1957.
147. *Woodward D. R.* Availability of Water in the U. S. with special reference to Ind. needs by 1980. Ind. Armed Forces. D-t of defence. Washington, 1957.
148. U. S. Senate Committee on Interior and Insular affairs. Resolution 135 and S. 3370. 85-th Congress 2-nd session March 20, 1958.



ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Г. Т. АДОНЦ, Г. А. АЙРАПЕТЯН, Г. Д. АКОПДЖАНЫН, К. А. ГАМБУРЯН

ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЗАКАВКАЗСКОЙ  
ЭНЕРГОСИСТЕМЫ В СВЯЗИ С ВВОДОМ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ  
МИНГЕЧАУР-АТАРБЕКЯН

В в е д е н и е

В настоящее время в Советском Союзе и за рубежом проводятся большие работы по объединению энергосистем.

У нас эти работы проводятся по плану создания единой энергосистемы Союза (ЕЭС). В частности, создается объединенная энергосистема трех братских республик Закавказья, как одна из составных частей будущей ЕЭС. В связи с работами по объединению энергосистем возникает ряд актуальных задач по исследованию статической и динамической устойчивости конкретных объединяемых энергосистем.

Кроме предмета исследования, представляют значительный интерес вопросы методов и точности производства расчетов устойчивости. Имеется в виду использование для расчетов устойчивости, кроме математических моделей энергосистем, вычислительных машин дискретного действия (ВМДД). При использовании ВМДД представляет большой интерес формулировка алгоритма расчета устойчивости с учетом динамических характеристик нагрузок энергосистемы.

В настоящей статье излагаются первые результаты исследования статической и динамической устойчивости режимов Закавказской объединенной энергосистемы, связанные с вводом в эксплуатацию межсистемной электропередачи Мингечаур-Атарбекян. Результаты этих исследований относятся к состоянию энергобаланса в системе на уровне 1960 г. Расчеты устойчивости выполнены с помощью модели электросистем 400 герц с 20 генераторными и 200 линейными элементами, сооруженной в Институте электротехники АН Армянской ССР.

В приложении к статье дана формулировка алгоритма расчета с помощью ВМДД динамической устойчивости указанной энергосистемы.

Указанный алгоритм может быть обобщен для энергосистемы другой структуры и энергобаланса.

Рассматриваемые в статье вопросы могут быть использованы в качестве примеров для построения методики расчетов статической и динамической устойчивости других энергосистем.

Методика исследования устойчивости объединения энергосистем определяется главным образом видом и объемом схемы замещения объединенной системы. В общем случае, в схеме замещения объединенной системы, полученной после эквивалентирования ряда ее генераторных станций, нагрузок и линий электропередач, могут оказаться до десятка и более источников эдс и несколько десятков независимых контуров и узлов.

Использование аналитических методов расчета устойчивости для исследования таких систем исключается не только в силу возникающей необходимости производства при этих исследованиях весьма большого числа расчетов, но и в силу очевидности того, что в таких трудоемких расчетах неминуемы ошибки.

Наиболее рациональной оказывается методика исследования, основанная на использовании модели электросистем в сочетании с производством некоторых аналитических расчетов от руки или с помощью вспомогательных вычислительных устройств, или же использование для этих целей ВМД.

### 1. Схема замещения объединения Закавказских энергосистем

Схемы замещения объединяемых энергосистем, полученные после их эквивалентирования и приведения к напряжению 230 киловольт показаны на рис. 1а (энергосистема Армении—система „А“), на рис. 1б (энергосистема Грузии—система „В“) и на рис. 1в энергосистема Азербайджана—система „М“). На рис. 1г показана схема связей этих энергосистем в узле „С“ (Актафинский переключательный пункт), как то видно из рис. 1а—г, схема содержит в себе следующее число эле-

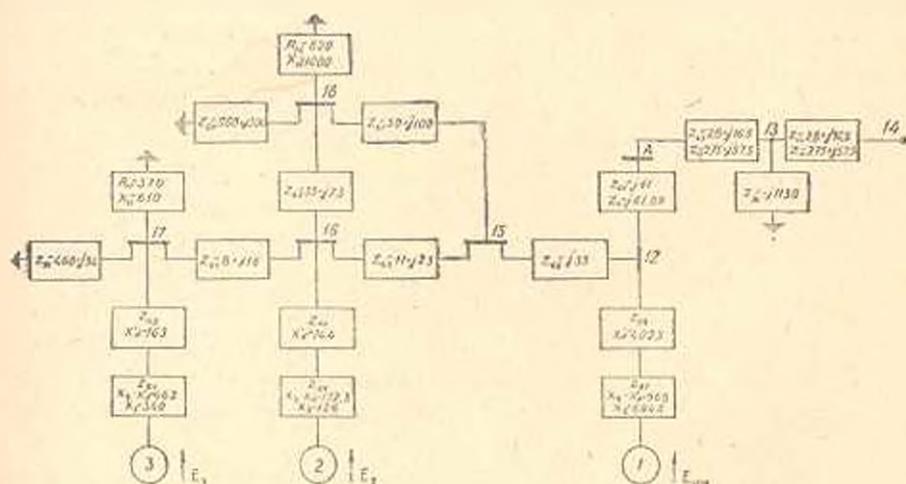


Рис. 1а.

ментов: источников эдс—8; нагрузок—13; поперечных сетевых элементов—5 и ряд других продольных сетевых элементов.

Из числа 8 источников эдс, воспроизводящих эквивалентные ге-

нераторы системы, пять (за №№ 2–6) являются источниками с постоянной по модулю эдс  $E_{\text{э.н}}$ , а три (№№ 1, 7, 8) — источниками с переменной во времени эдс. Из числа 13 пассивных элементов, воспроизводящих эквивалентные нагрузки, 4 (за №№ 18–21) представляются состоящими из последовательно соединенных  $R$  и  $X_L$ , а 9 (за №№ 9–17) — из параллельно соединенных  $R$  и  $X_L$ .

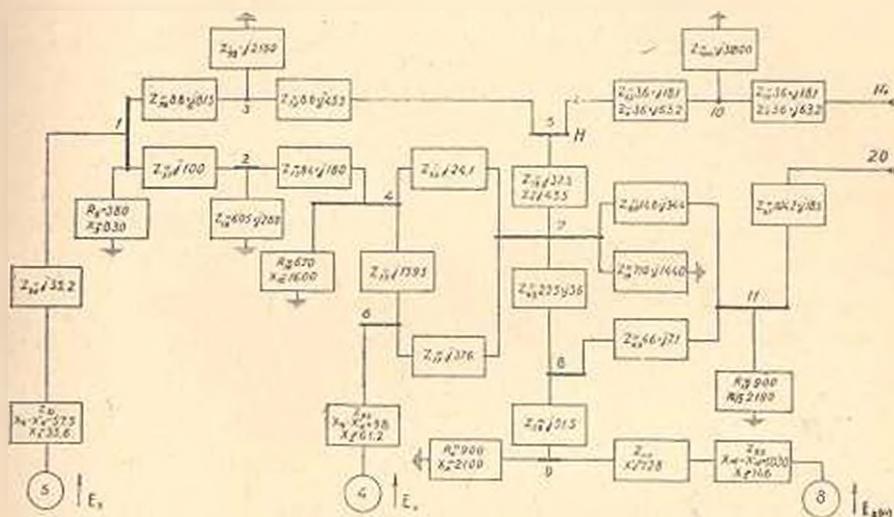


Рис. 16.

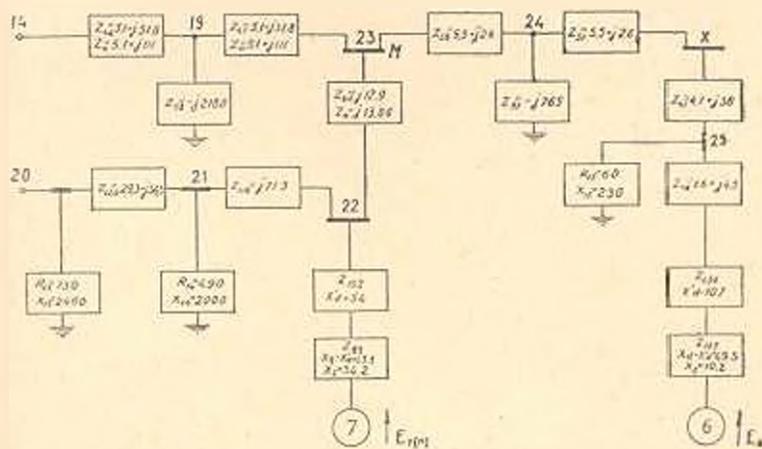


Рис. 17.

Всего в схеме замещения системы вместе с шунтом короткого замыкания содержится 56 ветвей, образующих независимых 25 узлов и 31 контур. На рис. 1 показаны также эквивалентные сопротивления  $Z_{\text{э.н}}$ ,  $Z_{\text{э.к}}$  схем замещения сетей обратной и нулевой последовательностей, измеренные на модели из точки короткого замыкания (кз) — места соединения межсистемных связей трех энергосистем (узел „С“).

Параметры этих элементов схемы замещения даны в относительных единицах с учетом масштаба модели.

Эквивалентные гидрогенераторы за №№ 1-5 и 7 представляются параметрами  $X_g, X_d'$ , а турбогенераторы за №№ 6 и 8 — параметрами  $X_d, X_d''$ .

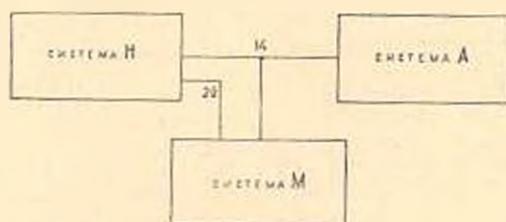


Рис. 1г.

Параметры  $Z_1, Z_2, Z_3$  линий электропередач, трансформаторов и нагрузок, использованные при построении сетей трех последовательностей, также показаны на рис. 1. При этом, для случая  $Z_2 = Z_1$  принято обозначение  $Z$  с индексом номера элемента схемы. Для нагрузочных элементов принято  $Z_0 = (0,35 \pm 0,4) Z_1$ .

## II. Порядок расчета статической устойчивости электропередачи по межсистемным связям

Наибольший практический интерес представляет вопрос о пределах мощности, передаваемой по межсистемным связям в некотором предельном режиме, и оценка меры устойчивости ( $K_p$ ) по отношению разности предельной (расчетной) мощности ( $P_{пр}$ ) и мощности ( $P$ ) в нормальном (исходном) режиме электропередачи по данной межсистемной связи

$$K_p = \frac{P_{пр} - P}{P}, \quad (1)$$

где  $P_{пр}$  и  $P$  — мощности на шинах подстанций приемной энергосистемы в предельном и нормальном режимах.

Формула (1) рекомендована Комиссией по дальним электропередачам Энергетического института им. Г. М. Кржижановского АН СССР.

Проверка устойчивости по второй из рекомендуемых той-же Комиссией формул, а именно:

$$K_u = \frac{U - U_{пр}}{U}, \quad (2)$$

где  $U_{пр}$  и  $U$  — напряжение на шинах подстанции приемной энергосистемы, соответственно, в предельном и нормальном режимах. показала, что значение  $K_u$  находится в пределах от 0 до 0,14. Очевидно, что нарушения статической устойчивости по причине снижения напря-

жения (случай  $K_n > 0,1$ ) в отдельных узлах нагрузок могут быть предотвращены путем установки соответствующих компенсаторов-генераторов реактивной мощности.

Таким образом, для оценки статической устойчивости по мощности необходимо определить параметры двух установившихся режимов—нормального и предельного.

Нормальный (исходный) режим электропередачи по данной межсистемной связи, статическая устойчивость которой исследуется, задается на модели путем подбора режимов на генераторных элементах системы. Определяются значения напряжения, активной и реактивной мощностей на зажимах генераторов, нагрузок и межсистемных линий электропередачи, а также значение  $E_d$  за переходным сопротивлением генераторов.

Предельный режим электропередачи находится путем поворота ротора отправной станции до достижения на шинах приемной энергосистемы максимальной величины активной мощности, передаваемой по данной межсистемной линии электропередачи.

Если при этом, отдаваемая отправной станцией, окажется больше ее установленной мощности, то в таком случае она уменьшается до пределов установленной, за счет передачи мощности от других станций отправной энергосистемы.

Таким образом, одним из условий достижения предельного режима является обеспечение мощности станций отправной энергосистемы в пределах их установленных. Вторым условием достижения предельного режима служит восстановление на всех генераторах энергосистемы соответствующих значений  $E_d$  исходного, нормального режима.

С целью обеспечения выполнения первого из указанных условий оказывается необходимым снизить величину передаваемой в приемную энергосистему мощности.

Параметры схем, замещающих нагрузки в предельном режиме, определяются по статическим характеристикам нагрузок в зависимости от уровня напряжения на их зажимах.

### III. Результаты расчета статической устойчивости электропередачи по межсистемным связям

В расчетах статической устойчивости по схеме рис. 1 принимались в качестве отправной станции—источник эдс 7, отправной энергосистемы—система „М“.

Приемными служили: система с источниками эдс 1, 2 и 3 (система „А“) и система с источниками 4, 5 и 8 (система „Н“). Соответственно, в качестве межсистемных электропередач служили ЛЭП: между узлами М—С в качестве отправной, между узлами С—А и С—Н в качестве приемных. Связь между узлами 11 и 22 является весьма слабой и особого влияния на расчеты не оказывала.

Результаты расчета, точнее, результаты измерений параметров нормального (исходного) и предельного установившихся режимов представлены в форме таблиц: 1, 2 и 3.

В этих таблицах даны: углы ( $\delta$ ), продольная составляющая эдс за переходным сопротивлением ( $E_d$ ), активная ( $P$ ), реактивная ( $Q$ ) мощности и напряжения ( $U$ ) на зажимах всех генераторов системы: а также величины  $P$ ,  $Q$ ,  $U$  на ЛЭП, представляющих межсистемные связи, измеренные на зажимах приемных энергосистем и отправного генератора.

Согласно таблице 1, при установленной мощности отправной системы, равной 12,4 единиц модели, в предельном режиме передается в систему „А“ —1,05 единиц и в систему „Н“ —0,91 единиц против мощностей, соответственно, 0,70 и 0,50, передаваемых в эти системы в нормальном режиме.

Таблица 1

Режим	Генераторы и ЛЭП	Генераторы								ЛЭП между узлами		
		1	2	3	4	5	6	7	8	С—Н	С—А	М—Х
Нормальн.	$\delta$	356.2	334	331.5	323	8.8	10.5	345.8	350.8			
	$E_d$	55	55.5	50	47	48.5	45.4	57.8	46.7			
	$P$	0.55	1.78	0.58	0.90	2.60	8.20	2.90	0.56	0.50	0.70	
	$Q$	0.21	1.30	0.42	1.02	1.20	1.08	1.16	0.505			
	$U$	47.9	46.8	44.0	47.8	48.2	48.8	49.6	44.4			
Предельн.	$\delta$	356.2	334	331.5	323	8.8	27	8.5	350.8			
	$E_d$	55	55.5	50	47	48.5	45.4	57.8	46.7			
	$P$	0.46	1.59	0.535	0.70	2.24	8.7	3.7	0.43	0.91	1.05	0.08
	$Q$	0.235	1.46	0.50	0.13	1.06	1.19	1.02	0.50	0.30	-0.22	-0.87
	$U$	47	46.8	44.3	48.8	47.7	48.7	49.6	43.4	45	45.8	46.3

При этом максимальная мощность устанавливалась на зажимах „А“ электропередачи „С—А“.

Согласно таблице 2, при почти полном использовании мощности (12,2 единицы модели) отправной системы „М“, в предельном режиме передается в систему „А“ —1,8 единиц, против мощности 0,61 единицы, передаваемой в нормальном режиме. В этом случае межсистемная связь „С—Н“ были отключена, т. е. система „Н“ работала вне объединения.

Согласно таблице 3, воспроизводящей данные режима передачи энергии из системы „Н“ в систему „А“ при отключенной межсистемной связи „С—М“, в предельном режиме система „А“ получает 1,33 единицы активной мощности против 0,69 единицы в нормальном режиме электропередачи.

Таблица 2

Режим	Генераторы и ЛЭП	Генераторы					ЛЭП между узлами	
		1	2	3	6	7	С—А	М—Х
Нормальн.	$\delta$	356.2	334	331.5	349.4	340.1		
	$E_2$	55	55.6	50	45.4	57.8		
	$P$	0.625	1.88	0.745	7.33	3.47	0.61	1.0
	$Q$	0.18	1.1	0.365	0.97	0.74	0.215	1.03
	$U$	51	48.7	46.2	48.3	52	52	47.5
Пределы.	$\delta$	356.2	334	331.5	59.8	39.3		
	$E_2$	55	55.6	50	45.4	57.8		
	$P$	0.2	0.8	0.375	8.5	3.7	1.8	-0.15
	$Q$	0.285	1.67	0.525	1.25	1.18	-0.1	0.82
	$U$	43	43.5	41	48	48.7	41.8	45

Таблица 3

Режим	Генераторы и ЛЭП	Генераторы						ЛЭП между узлами	
		1	2	3	4	5	6	С—Н	С—А
Нормальн.	$\delta$	352	335.7	326.6	14.0	11.0	324		
	$E_2$	54.4	53.6	50.2	47	40.8	54.8		
	$P$	0.44	1.67	0.52	3.4	1.54	0.12	-0.72	0.69
	$Q$	0.25	1.18	0.45	1.37	0.37	0.97	-0.75	-0.275
	$U$	45.4	45.0	42.3	48.0	43.0	43.7	43.5	41.7
Пределы.	$\delta$	352	335.7	326.5	49	52.5	19.5		
	$E_2$	54.4	53.6	50.2	47	40.8	54.8		
	$P$	0.25	1.10	0.40	3.40	1.65	0.70	-1.46	1.33
	$Q$	0.34	1.52	0.55	1.62	0.62	1.04	-0.40	-0.72
	$U$	41.8	43.0	40.5	47.0	43.0	44.0	39.5	41.0

#### IV. Порядок расчета динамической устойчивости

Расчет динамической устойчивости режимов сложной электросистемы, выполняемый с использованием модели, сводится к производству ряда последовательных операций, соответствующих определяемым дискретным значениям времени, например, 0; 0,05; 0,1 и т. д. секундам времени динамического процесса, начиная с момента короткого замыкания.

Для каждого из этих моментов времени на модели воспроизводится определенный установившийся режим, параметры которого из-

меряются и принимаются соответствующими заданным дискретным значениям времени. Приращения между параметрами реализуемых на модели установившихся режимов для данного момента времени и предшествующего момента вычисляются по формулам приращений.

Более конкретно, расчеты динамической устойчивости выполняются с использованием модели в следующем порядке:

а) после набора на модели пассивной части схемы замещения системы (рис. 1) в параметрах, соответствующих прямой последовательности чередования фаз, устанавливается режим источников эдс так, чтобы добиться заданных перетоков мощности по межсистемным связям и генерируемых мощностей самих источников эдс. Измеренные на модели (на зажимах: источников эдс, нагрузок и ЛЭП) параметры полученного режима фиксируются как соответствующие моменту времени  $t \leq 0$  сек;

б) в точке схемы, соответствующей месту короткого замыкания (кз), включается шунт из  $Z_{2\text{кз}}$  и  $Z_{0\text{кз}}$ , воспроизводящий данный вид кз. Восстанавливаются величины  $E_i$ , за переходными сопротивлениями источников эдс, что означает соблюдение принципа постоянства потокоцепления синхронных генераторов системы. Измеренные параметры фиксируются как соответствующие моменту времени  $t > 0$  сек

в) по результатам измерений на модели параметров установившегося режима вычисляются приращения: активной мощности, углов, продольной составляющей эдс за переходным сопротивлением генераторов, а также приращения активных и реактивных сопротивлений для ряда нагрузочных элементов;

г) полученные в результате расчета приращения вносятся в схему, что означает воспроизведение на статической модели перехода от состояния при  $t > 0$  к состоянию при следующем дискретном значении  $t$  переходного процесса, например,  $t = 0.05$  сек;

д) измеряются параметры нового установившегося режима, представляющего собою состояние динамического процесса в данное дискретное значение  $t$ ;

е) описанные выше операции: измерение режимов, вычисление приращений, внесение их в модель, измерение новых режимов и т. д. повторяются  $n$ -кратно.

Результаты измерений углов, мощностей, напряжений и других параметров режимов генераторов, нагрузок, ЛЭП представляются как функции дискретных значений  $t$ , по которым и судят об устойчивости динамического перехода системы с момента возникновения короткого замыкания в одной из точек системы до наступления нового установившегося режима после отключения участка сети, содержащего точку короткого замыкания;

ж) приращения продольной составляющей эдс за переходным сопротивлением для источников с переменной эдс вычисляются по

формулам (II-7) с использованием также формул (II-5) и (II-6), приведенных в приложении к статье.

Приращения активной мощности и роторных углов всех генераторов вычисляются по приводимым там же формулам (II-10) и (II-12) с одновременным использованием формул (II-11);

з) приращения скольжений асинхронных двигателей определяются по характеристикам соответствующих нагрузок, воспроизводящим функцию

$$\Delta s_{H(n-1)} = \varphi \left[ \begin{array}{c} U_{H(n)}, t \\ U_{H(0)} \end{array} \right], \quad (3)$$

где  $H$  — индекс нагрузки;

$n$  — индекс номера дискретного значения  $t$ .

Для моментов вз и отключения участка с вз в формулу (3) подставляются значения  $U_{H(n)}$ , соответствующие  $t > 0$  и  $t > t_{\text{вз}}$ :

и) значения  $R_{H(n+1)}$ ,  $X_{H(n+1)}$  для каждой переменной нагрузки для  $n+1$ -го интервала определяются в зависимости от значений напряжений на зажимах двигателя для  $n$ -го номера дискретного значения  $t$ .

## V. Результаты расчета динамической устойчивости объединения трех энергосистем

Наиболее неблагоприятным местом аварийного нарушения нормального режима принят узел "С" — точка соединения межсистемных связей трех энергосистем. В расчете принимается, что в этом узле имеет место двухфазное короткое замыкание на землю, продолжительностью 0,20 сек, против 0,18 сек, рекомендуемых Комиссией дальних электропередач для рассматриваемого напряжения передачи.

Результаты расчета представлены в форме кривых  $\delta_r(t)$  генераторных углов в функции времени, начиная с момента короткого замыкания, по закону изменения которых оценивается устойчивость или неустойчивость режимов: электропередачи по межсистемным связям, отдельных энергосистем и объединения в целом.

В таблице 4 приводятся величины  $E_{\text{дсн}}, E_{\text{вз}}, P_{\text{вз}}, \delta_{\text{вз}}$  для всех (S) генераторов в нормальном режиме.

В таблице 5 приводятся данные нормального (исходного) режима и параметров нагрузок при  $t < 0$ . Таким образом, в таблицах 4 и 5 приводятся т. н. начальные условия задачи по расчету устойчивости. На рис. 2, 3, 4 представлены результаты расчета для случаев передачи в нормальном (исходном) режиме по межсистемным связям следующих заданных мощностей: 1,25 (по ЛЭП „М—С“), 0,2 (по ЛЭП „М—Х“), 0,5 (по ЛЭП „С—Н“) и 0,7 (по ЛЭП „С—А“).

Данные о нормальном (исходном) режиме генераторов приводятся в столбцах 2-5 таблицы 4. Данные рис. 2 соответствуют случаю,

Таблица 4

Данные нормального (исходного) режима генераторов при  $t \leq 0$

Генераторы	$E_{dcs}(0)$	$E'_{dcs}(0)$	$\delta_s(0)$	$P_N(t=0)$
1	2	3	4	5
1	98,9	55	356,2	0,52
2	85,8	55,5	334	1,72
3	77,1	50	331,5	0,665
4	57,6	47	323	0,745
5	57,1	48,5	8,8	2,34
6	78,8	45,4	10,5	8,52
7	62,3	57,8	345,8	3,07
8	115	46,7	350,8	0,535

Таблица 5

Данные нормального (исходного) режимов и параметров нагрузок при  $t \leq 0$

№№ нагрузок	$R_N(0)$	$X_N(0)$	$Z_N(0)$	$P_N(t=0)$
1	2	3	4	5
9	380	830	0,014	1,28
10	670	1600	0,014	0,66
11	900	2100	0,014	0,53
12	900	2190	0,014	0,475
13	730	2400	0,014	0,616
14	490	2000	0,014	1,05
15	60	230	0,014	7,45
16	620	1080	0,014	0,73
17	370	610	0,014	1,29

когда через 0,2 сек после КЗ отключается межсистемная связь „С—Н“, в результате чего отделяется от объединения система „Н“ со своими источниками эдс за №№ 4, 5, 8.

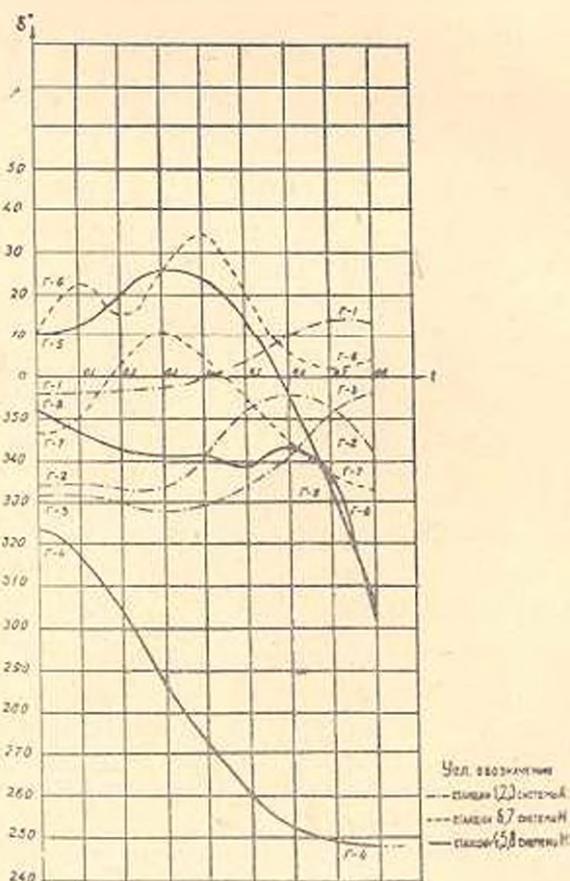


Рис. 2.

Данные рис. 3 соответствуют случаю, когда через 0,2 сек после кз отключается межсистемная связь „С—А“, в результате чего отделяется от объединения система „А“ со своими источниками эдс за №№ 1, 2, 3.

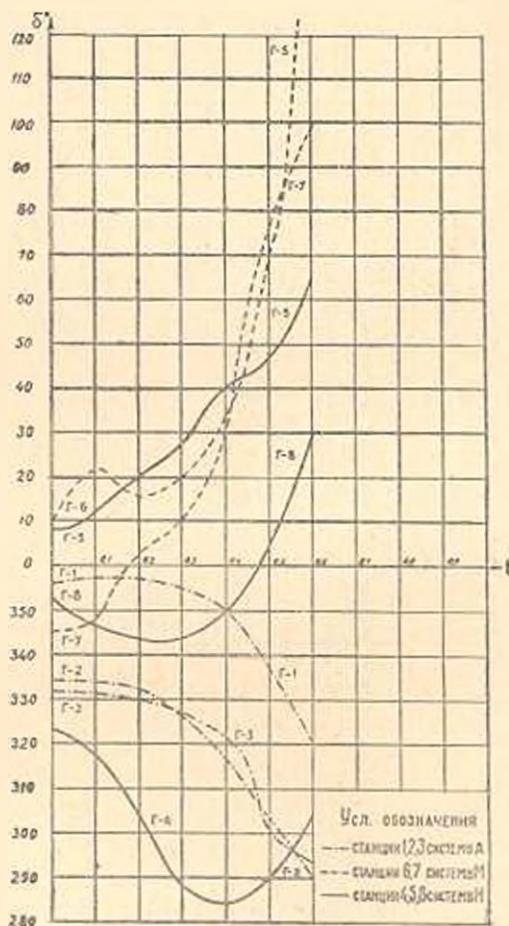


Рис. 3.

Данные рис. 4 соответствуют случаю, когда через 0,2 сек после кз. отключается межсистемная связь „С—М“, в результате чего отделяется от объединения система „М“ со своими источниками за №№ 6, 7.

Из кривых  $\delta_i(t)$ , представленных на этих рисунках видно, что относительные углы генераторов отделившейся и оставшейся частей объединения поразнь во всех трех случаях приобретают тенденцию к сближению, т. е. динамический переход от исходного режима (табл. 4) к послеаварийному является устойчивым.

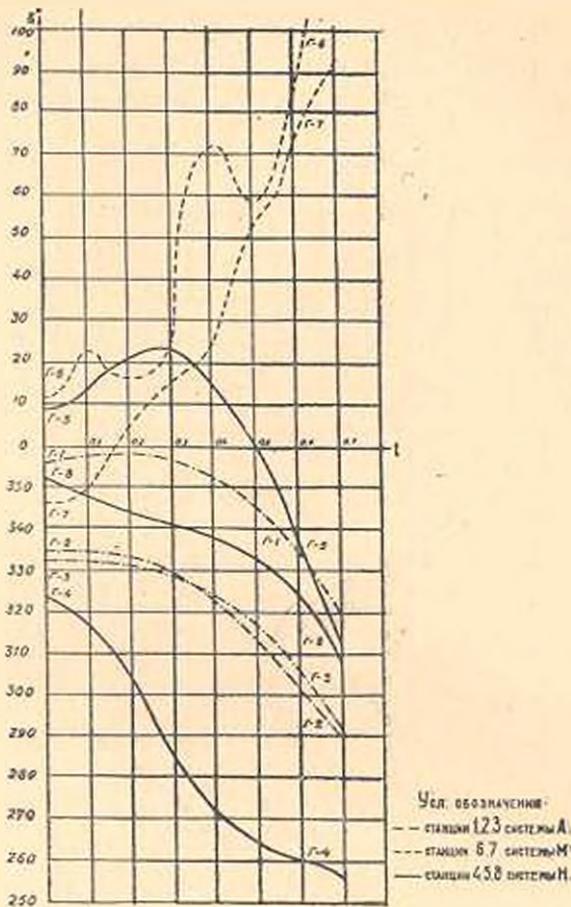


Рис. 4.

## VI. Об использовании ВМДД для расчетов динамической устойчивости

В связи с большим распространением ВМДД и возможностями их широкого использования для расчетов режимов энергосистем, например, расчетов потокораспределения, устойчивости, экономичных режимов и др., возникает необходимость формулировки алгоритма решения с помощью ВМДД ряда таких задач.

В частности, для решения задачи расчета динамической устойчивости энергосистемы сложной структуры (например, системы рассматриваемой в настоящей статье), с помощью ВМДД, необходима формулировка алгоритма по ряду соображений. В их числе можно указать на следующие:

а) сопоставление результатов расчетов, выполненных с помощью модели и ВМДД, с целью получения оценки точности расчетов устойчивости сложных систем на модели;

б) оценка вопроса о совместном использовании МСНТ и ВМДД, вплоть до их сопряжения;

в) разработка вспомогательного вычислительного устройства к МСПТ для автоматизации расчетов устойчивости;

г) разработка требований к ВМДЛ, специализированной для расчетов режима энергосистем.

В приложении приводится в качестве примера формулировка алгоритма решения рассматриваемой в статье задачи устойчивости с числовыми параметрами уравнений, соответствующими схеме замещения по рис. 1.

#### Приложение

##### АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ВМДЛ ЗАДАЧИ О ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ, ПРЕДСТАВЛЕННОЙ СХемой ЗАМЕЩЕНИЯ (Рис. 1)

Ниже приводится состав расчетных уравнений и порядок их использования для расчетов динамической устойчивости системы, представленной в качестве примера схемой замещения по рис. 1, с учетом динамических характеристик нагрузок за №№ 9-17. Уравнения, необходимые для расчета устойчивости сложной системы, могут быть разбиты на четыре группы, а именно, уравнения, описывающие процессы: 1) в электрических сетях объединенной системы; 2) в электромагнитных контурах эквивалентных генераторов; 3) в узлах нагрузок системы и 4) процессы, связанные с колебаниями роторных углов генераторов. В результате совместного решения уравнений динамического перехода системы получаются зависимости ряда величин (роторных углов, скольжения асинхронных нагрузок, эдс генераторов и др.) от времени.

Для совместного решения уравнений принимается метод последовательных интервалов, идея которого заключается в следующем: по заданным начальным условиям вычисляются приращения исследуемых переменных величин за некоторый промежуток времени  $\Delta t = \text{const}$ . Полученные в результате этого расчета величины (значения при  $t=0$  плюс приращение) принимаются в качестве новых начальных условий, используемых для вычисления приращений, соответствующих промежутку времени  $2\Delta t$  и т. д. Путем циклического повторения расчетов находят значения всех искомым переменных величин за  $n$  промежутков времени, т. е. время  $t$  представляется как  $n \cdot \Delta t$ , где  $n$  — число интервалов.

Взамен записи переменных и функции времени  $t$  принимается запись, в форме индекса, зависимости переменной величины от значения  $n$ . Например  $\delta_s(n)$ ,  $E_{d_s}(n)$ ,  $P_s(n)$  и т. д., где  $s$  — индекс станций системы,  $n$  — индексе функций времени (интервала расчета).

Начальные условия задачи задаются для времени  $t \leq 0$ , что соответствует моменту, предшествующему короткому замыканию. Далее, определяются значения при  $n=0$ , т. е.  $t > 0$ , что будет соответ-

ствовать моменту начала короткого замыкания. Принимая интервал  $\Delta t = 0,05$  сек, получим для случая  $n = 4$  ( $t = 0,2$  сек) два значения искоемых переменных, соответствующие одно — ( $n_{4-}$ ) моменту окончания режима короткого замыкания, второе — ( $n_{4+}$ ) моменту после отключения короткого замыкания. Значения переменных при  $n > 4$  будут соответствовать послеаварийному режиму. В качестве начальных условий задачи по расчету динамической устойчивости задаются следующие параметры режима, предшествующего короткому замыканию, т. е. соответствующие времени  $t \leq 0$ :  $E_{d1(0)}, E_{d2(0)}, \delta_{s(0)}, P_{s(0-1)}, R_{11(0)}, X_{11(0)}, z_{11(0)}, P_{11(0-1)}$ , где  $s = 1 \div 8, H = 9 \div 17$ . В частности, значения указанных начальных условий приводятся в таблицах 4 и 5.

### 1. Уравнения, описывающие процессы в электрических сетях

Расчетные уравнения, описывающие процессы в сетях с момента короткого замыкания, т. е.  $t \geq 0$  получаются согласно методу контурных токов и имеют следующий вид:

$$[Z_{cs(n)}] |I_c| = |E_{s(n)}|, \quad |c, s = 1, 2 \dots 31), \quad (11-1)$$

где  $I_c$  — комплексные контурные токи. Для значений  $c = 1 \div 22$   $I_c$  представляют собою токи в ветвях схемы по рис. 1.

$E_{s(n)}$  — комплексные эдс, зависящие от времени, где:

$$E_{sn} = \begin{cases} 0 & \text{при } s \geq 9 \\ E_{ds(n)} = E_{ds(0)} < \delta_{s(n)} & \text{при } s = 2 \div 8. \end{cases}$$

В качестве примера ниже приводятся некоторые из элементов матрицы  $[Z_{cs(a)}]$ :

а) Диагональные элементы:

$$Z_{1,1} = 2,8 + j 318$$

$$Z_{2,2} = 13,8 - j 920,1$$

$$Z_{3,3} = 21,8 - j 815,5$$

$$Z_{4,4} = 8,8 - j 1721$$

$$Z_{5,5} = 8,8 - j 2963,3, \text{ и т. д.}$$

$Z_{11(n)}$  ( $H = 9 \div 17$ ) вычисляется по формуле (11-21).

б) Недиагональные элементы:

$$1. Z_{1(2, 3, 16, 17, 20, 21)} = -2,8 + j 1052,5 \quad Z_{1(20, 21)} = j 1130.$$

$$2. Z_{1(4, 15, 21)} = -13,8 + j 994,5 \quad Z_{2(16, 20)} = -2,8 + j 1017,5 \quad Z_{2,26} = -1,1 - j 23 \quad Z_{2(23, 24)} = Z_{1,23}.$$

$$3. Z_{1,16} = Z_{2,16} \quad Z_{3(17,21)} = -21,8 + j 978,5 \quad Z_{3,20} = Z_{2,18} \quad Z_{2,26} = \\ = Z_{2,20} \quad Z_{3(29,30)} = Z_{1,29}.$$

$$4. Z_{1(5,9,10,15)} = -j 2180 \quad Z_{1(6,11,12,13,19,25)} = -j 37,5 \quad Z_{4,23} = -j 376 \\ Z_{4,21} = -8,8 - j 83 \quad Z_{4,28} = -8,8 + j 2134,5.$$

$$5. Z_{5(8,16,19)} = -8,8 + j 2098,5 \quad Z_{5,21} = -8,8 - j 81,5 \quad Z_{5,29} = Z_{4,5}.$$

С момента отключения короткого замыкания, т. е. с  $t > 0,2$  сек соответствующего послеаварийному режиму, на матрицу  $[Z_{cs(n)}]$  налагаются следующие дополнительные условия:

а) для случая отключения межсистемной связи „С—Н” приобретают значения  $\infty$  следующие диагональные элементы:  $Z_{22,22}$ ,  $Z_{25,25}$ ,  $Z_{28,28}$ ,  $Z_{29,29}$ , что обращает в нуль следующие контурные токи:  $I_{22}$ ,  $I_{25}$ ,  $I_{28}$ ,  $I_{29}$ ;

б) для случая отключения межсистемной связи „С—А” оказываются равными  $\infty$  диагональные элементы и соответственно равными нулю контурные токи с индексами: 22, 29, 30;

в) для случая отключения межсистемной связи „С—М”, соответственно: 22, 25, 30, 31.

Для расчета динамической устойчивости нет необходимости полностью решать систему уравнений  $(II-1)$  относительно токов  $I_{cs}$ . Оказываются вполне достаточными вычисления в каждом из интервалов определителя  $\Delta_{cs(n)}$  матрицы  $[Z_{cs(n)}]$  и ряда ее алгебраических дополнений, для которых примем обозначение  $\Delta_{cs(n)}$ , где  $c$  и  $s$  — индексы вычеркиваемых при его получении столбцов и строк матрицы  $[Z_{cs(n)}]$ . В частности, необходимо вычислять в каждом из интервалов  $n$  следующие две группы алгебраических дополнений:

а) для расчета электромагнитных процессов и активной мощности восьми генераторов  $\Delta_{cs(n)}$  ( $c, s = 1 \div 8$ ).

б) для расчета напряжений на зажимах нагрузок

$$\Delta_{Hs(n)} \quad (H = 9 \div 17; \quad s = 1 \div 8).$$

По данным этих величин вычисляются для каждого из значений  $n$  следующие комплексные сопротивления:

$$Z_{cs(n)} = \frac{\Delta_{cs(n)}}{\Delta_{cs}}; \quad Z_{H,s} = \frac{\Delta_{Hs(n)}}{\Delta_{Hs}} \\ (c, s = 1 \div 8) \quad (s = 1 \div 8; \quad H = 9 \div 17). \quad (II-2)$$

Вычисляются также модули этих величин и аргументы первых из них, а именно:

$$Z_{cs(n)} = \left| \frac{\Delta_{cs(n)}}{\Delta_{cs}} \right| \quad Z_{Hs(n)} = \left| \frac{\Delta_{Hs(n)}}{\Delta_{Hs}} \right|$$

$$\varphi_{cs(n)} = \text{Arg} \frac{\Delta_{cs(n)}}{\Delta_{ln}}$$

## 2. Уравнения, описывающие процессы в электромагнитных контурах эквивалентных генераторов

Начиная с  $n=0$ , по известным величинам:  $E_{cs(n)}$ ,  $Z_{cs(n)}$ ,  $\varphi_{cs(n)}$ ,  $\delta_{cs(n)} = \delta_{cs(n)} - \delta_{cs(0)}$ ,  $x_s - x_{ds}$  (согласно схеме по рис. 1) вычисляются по приводимой ниже системе формул  $E_{s(n)}$  для трех генераторов  $s=1, 7, 8$ , представленных переменными эдс, т. е. зависящими от  $n$

$$\frac{E_{ds(n)}}{x_{qs} - x_{ds}} = \frac{E_{s(n)}}{x_{qs} - x_{ds}} - \sum_{c=1}^8 \frac{E_{cs(n)}}{Z_{cs(n)}} \sin(\delta_{cs(n)} + \varphi_{cs(n)}) \quad (s=1, 7, 8). \quad (\text{II-4})$$

Для остальных генераторов ( $s=2 \div 6$ ), как было отмечено выше, принимаются постоянные величины модулей эдс, а именно:

$$E_s = E_{ds(n)} = E_{ds(0)}$$

По величинам  $E_{s(n)}$  и  $E_{ds(n)}$  вычисляются продольные эдс  $E_{ds(n)}$  за синхронным реактансом  $x_{ds}$  для генераторов 1, 7.

$$E_{ds(n)} = [E_{s(n)} \cdot (x_{ds} - x_{qs}) - E_{ds(n)} (x_{ds} - x_{qs})] \frac{1}{x_{qs} - x_{ds}} \quad (s=1, 7) \quad (\text{II-5})$$

Для генератора  $s=8$  принимается  $E_{ds(n)} = E_{s(n)}$ . Если окажется что для генераторов  $s=1, 7, 8$   $\frac{U_{s(n)}}{U_{s(0)}} = \frac{1}{U_{s(0)}} \cdot x_{qs} \sum_{c=1}^8 \frac{E_{cs(n)}}{Z_{cs(n)}} < 0,85$ ,

то вычисляются по следующей формуле изменения эдс генераторов, связанные с вводом в действие схемы форсировки возбуждения

$$E_{ds(n+1)} = E_{ds(n)} \left[ 1 + (K_{\Phi} - 1) \cdot \left( 1 - e^{-\frac{(n+1)\Delta t - 0,65}{T_{cs}}} \right) \right] \quad (s=1, 7, 8). \quad (\text{II-6})$$

где  $T_{cs} = 0,65$  — постоянная времени цепи возбуждения возбудителя;

$\Delta t = 0,05$  — продолжительность интервала расчета;

$K_{\Phi} = 1,7$  — коэффициент форсировки возбуждения.

Вычисляются также

$$\Delta E_{ds(n+1)} = \frac{\Delta t}{T_{ds}} \cdot (E_{ds(n+1)} - E_{ds(n)}) \quad (\text{II-7})$$

$$E_{ds(n+1)} = E_{ds(n)} + \Delta E_{ds(n+1)} \quad (s=1, 7, 8). \quad (\text{II-8})$$

Величины  $E_{ds(n+1)}$  и  $F_{ds(n+1)}$  используются в качестве начальных условий для следующего  $(n+1)$  интервала расчета устойчивости.

### 3. Уравнения, описывающие электромеханические процессы в генераторах

Вычисляются активные мощности генераторов для  $n$  интервалов, начиная с  $n = 0$  (для  $t \geq 0$ )

$$P_{s(n)} = \frac{E_s^2}{Z_{ss(n)}} \cos \varphi_{s(n)} - E_s(t) \cdot \sum_{c=1}^8 \frac{E_c(t)}{Z_{sc(n)}} \cos (\delta_{sc(n)} + \varphi_{sc(n)}). \quad (11-9)$$

Вычисляются приращения мощностей  $P_{s(n)}$  относительно мощностей  $P_{s(n-1)}$ , соответствующей  $t < 0$  (см. табл. 4).

$$\Delta P_{s(n)} = P_{s(n)} - P_{s(n-1)}, \quad (s = 1 \div 8). \quad (11-10)$$

Для интервалов  $n = 0$  ( $t = 0$ ) и  $n = 4$  ( $t = t_{\text{от}} = 0,2$  сек) принимаются следующие полусуммы мощностей:

$$P_{s(0)} = \frac{1}{2} [P_{s(0-)} + P_{s(0+)}],$$

$$P_{s(4)} = \frac{1}{2} [P_{s(4-)} + P_{s(4+)}],$$
(11-11)

где  $P_{s(0-)}$  соответствует  $t < 0$ , а  $P_{s(0+)} - t > 0$ .

$P_{s(4-)}$  соответствует началу окончания кз, а

$P_{s(4+)}$  соответствует началу послеаварийного режима, т. е. моменту начала после отключения кз.

Вычисляются приращения роторных углов

$$\Delta \delta_{s(n+1)} = \Delta \delta_{s(n)} + K_s \cdot \Delta P_{s(n)}, \quad (11-12)$$

где  $K_s$  — коэффициенты, величины которых равны

$$15 \text{ для } s = 1, 2, 3, 4, 5, 7 \text{ и } 30 \text{ для } s = 6, 8.$$

Вычисляются новые значения роторных углов, которые принимаются в качестве начальных условий для следующих интервалов расчета

$$\delta_{s(n+1)} = \delta_{s(n)} + \Delta \delta_{s(n+1)}. \quad (11-13)$$

### 4. Уравнения, описывающие процессы в узлах нагрузок системы

Вычисляются для каждой из нагрузок (11-9-17) величины напряжений за каждый интервал ( $n$ ) относительно напряжения на зажимах соответствующих нагрузок в момент времени  $t < 0$ , т. е. при  $n = 0$ .

$$U_{H(n)} = \frac{1}{U_{H(0-)}} \cdot Z_{H(n)} \cdot \sum_{c=1}^8 Z_{Hc(n)} E_c(t) \quad (H = 9 \div 17) \quad (11-14)$$

Вычисляются мощности нагрузок  $H = 9 \div 17$

$$P_{H(n)} = \frac{A_H \cdot U_{H(n)}^2}{s_{Hk}^2 + \sigma_{H(n)}^2} \cdot \sigma_{Hk} \cdot \sigma_{H(n)}, \quad (11-15)$$

где  $\sigma_{Hk}$  — критическое скольжение эквивалентного асинхронного двигателя данного  $H$ -го узла нагрузок;

$\sigma_{H(n)}$  — скольжение того же двигателя в начале данного интервала времени;

$A_H$  — величина постоянная, определяемая на основе той же формулы по данным для времени  $t \leq 0$ , т. е. для  $n = 0$

$$P_{H(0)} = \frac{A_H \cdot U_{H(0)}^2}{s_{Hk}^2 + 0,02^2} \cdot \sigma_{Hk} \cdot 0,02, \quad (11-16)$$

где  $P_{H(0)}$ ,  $\sigma_{Hk}$ ,  $U_{H(0)}$  являются известными.

Вычисляются приращения мощностей за данный интервал времени относительно мощности при  $t \leq 0$ .

$$\Delta P_{H(n)} = P_{H(n)} - P_{H(0)} \quad (H = 9 \div 17). \quad (11-17)$$

Вычисляются приращения скольжений за интервал

$$\Delta \sigma_{H(n+1)} = \Delta \sigma_{H(n)} + \Delta P_{H(n)} \frac{1}{M_H}, \quad (11-18)$$

где  $M_H$  — постоянная инерция эквивалентного асинхронного агрегата.

Вычисляются новые значения скольжения эквивалентного двигателя

$$\sigma_{H(n+1)} = \sigma_{H(n)} + \Delta \sigma_{H(n+1)}. \quad (11-19)$$

Вычисляются коэффициенты изменения активных и реактивных сопротивлений нагрузок в функции новых значений скольжений

$$K_{en(n+1)} = f_r(\sigma_{H(n+1)}), \quad K_{xn(n+1)} = f_x(\sigma_{H(n+1)}), \quad (11-20)$$

где  $f_r$ ,  $f_x$  — задаются таблицей, полученной по схеме замещения асинхронного двигателя.

Вычисляются новые значения  $Z_{H(n+1)}$ , являющиеся слагаемыми диагональных элементов матриц  $Z_{es(n)}$  для следующего интервала расчета

$$Z_{H(n+1)} = jK_{en(n)} \cdot K_{xn(n)} \cdot \frac{R_{H(n)} \cdot X_{H(n)}}{K_{en(n-1)} \cdot R_{H(0)} + jK_{xn(n-1)} \cdot X_{H(0)}}, \quad (11-21)$$

$H = 9 \div 17$ ,

где  $R_{H(0)}$ ,  $X_{H(0)}$  — задаются начальными условиями задачи и приводятся в таблице 5.

Полученные значения  $Z_{H(n+1)}$ ,  $\sigma_{H(n+1)}$  используются в качестве начальных условий для следующего интервала расчета.

Հ. Տ. ԱԳՈՆԹ. Գ. Ու. ՀԱՅՐԱՊԵՏՅԱՆ, Գ. Գ. ՀԱԿՈԲՉԱՆՅԱՆ, Գ. Հ. ԴԱՄՐՈՒԲՅԱՆ

ԱՆԻՒՆՎՈՒԿԱՍՅԱՆ ԷՆԵՐԳՈՍԻՍՏԵՄԻ ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ,  
ԿԱՊՈՒԿԱՍ ԳՐԱԳԵՉՄԱՆՈՒԹՅԱՆ ԻՆՏԵՐՔԵՆՏՆԱՆ ԷԼԵԿՏՐՈԼԵԿՏՐՈՒԿԱՆ  
ԳՑԻ ՇԱՀԱԳՈՐԾՄԱՆ ՀԱՆՁՆԵԼԻՑ ՀԵՏ

Ա մ փ ո փ ո ռ մ

Վերջին ժամանակներս մեծ աշխատանք է տարվում Մոսկվայի միացյալ էներգոսիստեմ սահմանափակումը ուղղութիւնով: Այդ կապակցութիւնով մի շարք հարցեր են առաջանում, որոնք բխում են միջսիստեմային կապերի ստատիկական և դինամիկական կայունութիւնն ապահովման պայմաններէ:

Հոգիւմտում շարադրվում են Անդրկովկասյան միացյալ էներգոսիստեմի աշխատանքային սեւիմների ստատիկական և դինամիկական կայունութիւնն հետազոտութիւնների առաջին արդունքները, կապված Մինդիշտուր-Աթարբեկյան միջսիստեմային էլեկտրատնօղղման դժի շահագործման հանձնելու հետ: Հետազոտութիւնները կատարվում են Հոսիական ՍՍՍ Դիտութիւնների ակադեմիայի էլեկտրատնօղղման ինստիտուտում կատարված 400 հարց հաճախականութիւնն փոփոխական հոսանքի ցանցերի մոդելի օդնութիւնով: Շարադրվում են փոփոխական հոսանքի մոդելի օդնութիւնով ստատիկական և դինամիկական կայունութիւնն հաշվման մեթոդները:

Անդրկովկասյան միացյալ էներգոսիստեմի աշխատանքային սեւիմների ստատիկական կայունութիւնը ուսումնասիրելիս որոշվել են ուղղակի էներգոսիստեմից (միջսիստեմային կապի դժերով) զեպի ընդունող էներգոսիստեմները հարցարկող հարցութիւնն սահմանային արմեքները, ելնելով ուղղակի էներգոսիստեմի հնարափոխութիւններից:

Հետազոտութիւնների արդունքները լերվում են № 1, 2, 3 սղլուտակներում, որտեղից երևում է, որ Աղսաաֆա-Աթարբեկյան միջսիստեմային կապի դժով զեպի Հոսիական էներգոսիստեմ կարելի է հարցարկել նսխատեւում 0,7 միավոր հարցութիւնն փոխարեն ալելի մեծ հարցութիւններ— մինչեւ 1,05 միավոր: Այդ զեպում Աղսաաֆա-Նոսիկայից զժով զեպի Վրացական էներգոսիստեմ կարելի է հարցարկել 0,7—0,9 միավոր հարցութիւնն:

Միացյալ էներգոսիստեմի աշխատանքի սեւիմների դինամիկական կայունութիւնն ուսումնասիրութիւնը կատարվել է ալն զեպի համար, երբ կարծ միացումը տեղի է տնեցել երեք էներգոսիստեմների միացման հանգուլցում (երկֆայ կարծ միացում հոգի հետ): Կարն միացումը նշված հանգուլցում հանդիսանում է փոսթարուլն զեպերից մեկը դինամիկական կայունութիւնն սղլահովման տեսակետից: Հետազոտութիւնները ցուլց են տալիս, որ բոլոր երեք էներգոսիստեմներն էլ աշխատում են դինամիկորեն կայուն (տեւնկ. 2—3), երբ դիտարի ենթարկվում հարցարկման դիմը անջատվում է կարն միացումից 0,2 վրկ հետս:

Հոգիւմտում հետազոտվում է նսն դիտարիտ զործողութիւնն հաշվիլ մեքենայի օղտաղրմանն հարցը էլեկտրական սիստեմների դինամիկական կայունութիւնն հաշվման համար:

Համեմատումը բերված է զիսկրեա դորժոգուժյան հաշվիչ մեքենայի օգնությամբ դինամիկ կալուճություն հաշվման այդորիթմի ձևակերպումը հետազոտվող էներգոսխառնի համար: Ատապիված այդորիթմը կարելի է ընդհանրացնել նաև այլ կատուցվածքի էներգոսխառնների դինամիկ կալուճության հաշվման համար:

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Жданов И. С. Устойчивость электрических систем. ГЭИ, 1948.
2. Маркович И. М. Режимы электрических систем. ГЭИ, 1957.

ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ

Ու Ա ՆՈՒՂՈՒԹՅԱՆ

ԵՆԵՐԳԱԳ ԿԱՐԲԻԻԻ ՎԱՌԱՐԱՆՆԵՐԻ ՍԻՄԵՏՐԱՑՄԱՆ ՍԻ ՔԱՆԻ  
ՀԱՐՑՆԵՐԻ ՄԱՍԻՆ

Ինչպես հայտնի է, Երևանի Ս. Մ. Կիրովի անվան զործարանի կարբիդի վառարանները եռաֆազ, ասիմետրիկ սպառիչներ են: Այդ ասիմետրիան սուղանում է «կարճ ցանցի» էլեկտրահզորգման դժերի և վառարանի էլեկտրոդների անհամաչափ դասավորությունից և շատ ցարտուն է, որովհետև վառարանի աշխատանքային հոսանքը հասնում է մեծ չափերի՝ 35000—40000 ա: էլեկտրոդների կոնստրուկտիվ ասիմետրիկ դասավորությունը հիմնականում պայմանավորված է այն բանով, որ վառարանը շահագործող անձնակազմի աշխատանքի համար ստեղծվին բարենպաստ պայմաններ: Բայց մյուս կողմից էլ, էլեկտրոդների ասիմետրիկ դասավորությունը առաջացնում է շահագործման որոշ զգալիություններ: Այդ զգալիությունների խզիչ է պատկանում էլեկտրոդների աշխատանքային պայմանների ոչ-միանմանությունը: Բանն այն է, որ այն մամանակ, երբ միջին էլեկտրոդը աշխատում է հավասարաչափ, արտաքին երկու էլեկտրոդների աշխատանքում երևան են զալիս ընդ որոշ տարբերություններ ինչպես միմյանց, այնպես էլ միջին էլեկտրոդի (Փազի) համեմատությամբ: Այն ժամանակ, երբ էլեկտրոդներից մեկը միանգամայն հանդիսատ վիճակում է գտնվում բովախառնուրդի մեջ, մյուսի մոտ նկատվում է անհանգիստ շարժում, մեծ քանակի զալի արտադրություն, որը ստիպում է եզրակացնել, թե տեղի է ունենում էներգիայի համեմատաբար ավելի մեծ չափերի հոսանոց փոխարկում: Այս Փազի էլեկտրոդներիցիան մեծ մասամբ իր նպատակին չի հասնում, որովհետև արտադրված ջերմությունը, փոխանակվանալի ոչխատանքային տարածությունը հաղորդվելու, կորչում է ինչպես հեռացող զալերի, այնպես էլ լույսային ճառագայթի միջոցով: Այս երևույթը կարելի է դիտել նաև սովորական աչքով: Այն մամանակ, երբ էլեկտրոդներից մեկը խորը նստած է վաննայում, մյուսը գտնվում է վերևում՝ բովախառնուրդի վրա, հաղորդելով իր շրջապատին մեծ քանակությամբ ջերմություն և լույս: Այս արտաքին պատկերը փոռարանը շահագործող անձնակազմին հարկաչել է կիրառել էլեկտրոդների նկատմամբ հատուկ տարբերիչ անվանումներ, այն է՝ «կատաղած» և «մեռուլ» կամ «ուժեղ» և «թուլ» Փազեր: Ճանասական ցուցանիչների տեսակետից «ուժեղ» Փազը «թուլ» Փազի համեմատությամբ ավելի արտադրողաբար է աշխատում: Բայց մյուս կողմից էլ, «ուժեղ» Փազը մեծ մասամբ աշխատում է մյուս Փազերից անջատ, որի պատճառով խիստ զգալիանում է նրա արտադրած հեղուկ կալցիում կարբիդի հոսքը վառարանի ընդհանուր՝ միջին Փազի անցքից (летка): Ընթրստինքյան հասկանալի է, որ այս հանգամանքը զգալիացնում է աշխատանքը:

ստիպելով սպասարկող անձնակազմին առանձին ուշադրութիւն և խնամք հանդես բերել այս ֆազի նկատմամբ:

«Ուժեղ» և «թուշ» ֆազեր առաջացնելու երևույթի ֆիզիոլոկան բացատրութիւնը հետևյալն է. կոսմիսոց հոսանքի հաղորդման լարերի և էլեկտրոդների ասիմետրիկ դասավորութիւնը առաջացնում է ակտիվ նոդուլի վրայի փոխանցում, որանսֆորմացիա սարքավորման մէկ արտաքին ֆազից դեպի մյուսը: Էներգիայի այս փոխանցումը տեղի է տնենում էլեկտրամագնիսական ինդուկցիայի շնորհիվ: Փոխանցման ուղղութիւնը համընկնում է ղեներատորի լարման վեկտորի ուղղութիւնը: Տեղափոխից հոդուլի մեծութիւնը ուղիղ համեմատական է «յանցի հաճախականութիւնը», «կարճ ցանցի» երկարութիւնը և շրջապատի մագնիսական թափանցելիութիւնը: Այսպիսով, այդ արանսֆորմացիայի մեծութիւնը հիմնականում կախված է «կարճ ցանցի» երկարութիւնից, քանի որ այդպիսի պայմաններում ցանցի հաճախականութիւնը և շրջապատի մագնիսական թափանցելիութիւնը կարելի է ընդունել հաստատուն:

Պետք է ստել, որ այս երևույթը նկատելի է ոչ միայն էլեկտրական վառարանների «կարճ ցանցում», այլև առհասարակ ասիմետրիկ կոսմիսոց ցանցերում:

Այս երևույթից ընդհանուր առմամբ պաշտպանվելու համար կատարում են այսպես կոչված որանսպորտիս — տեղաշարժում, այսինքն՝ բնորոշում է հաղորդալարերի աչնայիսի դասավորութիւն մեկը մյուսի նկատմամբ, որով ստացվի էլեկտրական պայմանների միանմանութիւն: Այս նույն ձևով վարվում են նաև փոսարանի «կարճ ցանցում», որանսֆորմատորի սեղմակներէց դուրս եկող էլեկտրական հաղորդող լարերը ենթարկվում են կորգավորման (ИИХТОВКА): Բայց և այնպես չի հաջողվում լրիվ վերացնել երևույթը: Վերջին մամանակներս առաջարկվել են «կարճ ցանցի» հաղորդալարերի դասավորութիւն աչնայիսի ձևեր, որոնք այս կամ այն կերպ փոքրացնում են տեղափոխից հոդուլի մեծութիւնը:

Վառարանի էլեկտրոդների մոտ սիմետրիկ աշխատանք ստեղծել հնարավոր է նաև «կարճ ցանցի» էլեկտրական պարամետրներից և աշխատանքային հոսանքից կախված որանսֆորմատորի լարումների ճիշտ ընտրութիւնը: Ղեռ ասիլին, մամանակակից վառարանային որանսֆորմատորները հնարավորութիւն ունեն այդ բանը կատարել բնոի տակ, որի շնորհիվ և հնարավորութիւն է ստեղծվում համեմատ վառարանի սիմետրիկ աշխատանքին:

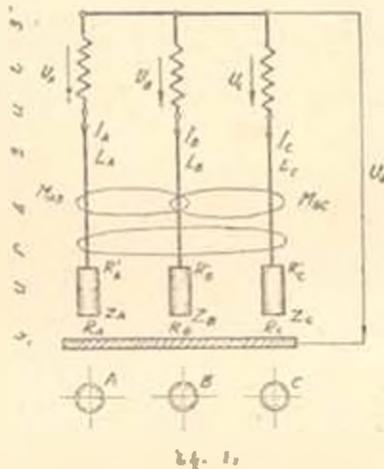
Աչնայիսի խոշոր էներգատար ուղառիչներ, ինչպիսին են կարբիդի վառարանները, ունեն նաև մի այլ առանձնահատկութիւն: Չնայած մատրի լարման սինստոիդալութիւնը, այս սպատիչները սլատագործում են ոչ-սինստոիդալ հոսանք: Այն վասար, որ սպատիչի կողմից օդաղարծից հոսանքները մամանակից կախված սինստոիդալ ֆունկցիաներ չեն, բացասարկում է վառարանի աշխատանքային տարածութիւն ղիմողութիւն ոչ-զմախութիւնը: Բնույթով ոչ-զմախութիւնը և ասիմետրիկութիւնը առաջացնում են անցանկալի երևույթներ: Իրանցից են՝ ուղիղ և հակադարձ հոսանքների, ինչպես նաև հոսանքի և լարման բարձր հարմանիկ բաղադրիչների առաջանալը:

Համեմատ հոսանքների սիմետրիկութիւն, հնարավոր է վերացնել հակադարձ հաղորդակիւնութիւն հոսանքները:

Նոսֆազ ռոսանքի ասիմետրիկ սխեմայի դիաագրամը

Նկ. 1-ում պատկերված է ասիմետրիկ էլեկտրահաղորդման գծեր ունեցող վառարանի սխեման: Մանի որ մենք ընդհանուր առմամբ ունենք հոսանքների ասիմետրիա, ապա բերված էլեկտրական սխեմայի համար կարելի է գրել

ՏՐԱՆՍՏՈՐԱՆՈՐ



$$\begin{aligned}
 U_A &= I_{1A}(R_A + R'_A) + j\omega I_{1A}(L_A + a^2 M_{AB} - a M_{AC}) - I_{2A}(R + R'_A) + j\omega I_{2A}(L_A + a M_{AB} - a^2 M_{AC}) \\
 U_B &= I_{1B}(R_B + R'_B) + j\omega I_{1B}(L_B + a M_{BA} + a^2 M_{BC}) + I_{2B}(R_B + R'_B) + j\omega I_{2B}(L_B + a^2 M_{BA} - a M_{BC}) \\
 U_C &= I_{1C}(R_C + R'_C) + j\omega I_{1C}(L_C - a^2 M_{CA} + a M_{CB}) + I_{2C}(R_C + R'_C) + j\omega I_{2C}(L_C + a M_{CA} + a^2 M_{CB}),
 \end{aligned}$$

(1)

ալյախոսով՝

$$\begin{aligned}
 |(R_A + R'_A) + j\omega(L_A + a^2 M_{AB} - a M_{AC})| &= Z_{1A} \\
 |(R_A + R'_A) + j\omega(L_A + a M_{AB} + a^2 M_{AC})| &= Z_{2A},
 \end{aligned}$$

(1A)

$$\begin{aligned}
 |(R_B + R'_B) + j\omega(L_B + a M_{AB} + a^2 M_{BC})| &= Z_{1B} \\
 |(R_B + R'_B) + j\omega(L_B + a^2 M_{AB} + a M_{BC})| &= Z_{2B},
 \end{aligned}$$

(1B)

$$\begin{aligned}
 |(R_C + R'_C) + j\omega(L_C + a^2 M_{AC} + a M_{CB})| &= Z_{1C} \\
 |(R_C + R'_C) + j\omega(L_C + a M_{AC} - a^2 M_{CB})| &= Z_{2C}
 \end{aligned}$$

(1C)

ալտանդ  $Z_1$ -ն՝ ուղիղ հաջորդականության թվացող դիմադրությունն է,  
 $Z_2$ -ն՝ հակադարձ հաջորդականության թվացող դիմադրությունը:  
 Եթե ավտմ մենք բնդունենք, որ ունենք հոսանքների սիմետրիա և  
 $R_A + R_A' = R_A$ ;  $R_B + R_B' = R_B$ ;  $R_C + R_C' = R_C$ , ապա կունենանք լարում-  
 ների հետևյալ սիստեմը.

$$\begin{aligned} \dot{U}_A &= \dot{I}_A R_A + \dot{I}_A j \omega L_A + \dot{I}_A j \omega a^2 M_{AB} + \dot{I}_A j \omega M_{AC} \\ \dot{U}_B &= \dot{I}_B R_B + \dot{I}_B j \omega L_B + \dot{I}_B j \omega a M_{BA} + \dot{I}_B j \omega a^2 M_{BC} \\ \dot{U}_C &= \dot{I}_C R_C + \dot{I}_C j \omega L_C + \dot{I}_C j \omega a^2 M_{CA} + \dot{I}_C j \omega a M_{CB} \end{aligned} \quad (2)$$

Լնդունենք թի՝

$$\begin{aligned} L_A = L_B = L_C = L, \quad x_L = \omega L, \quad x_M = \omega M \\ M_{AB} = M_{BA} = M, \quad M_{CA} = M_{AC} = \xi M \\ R_A = R_B = R_C = R \end{aligned}$$

$$\text{Տեղադրելով սպերատոր } a = -\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \text{ և } a^2 = -\frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2}$$

արմեքները (2) հավասարումների սիստեմի մեջ, կստանանք՝

$$\begin{aligned} \dot{U}_A &= \dot{I}_A \left( R + \frac{\sqrt{3}}{2} x_M - \frac{\sqrt{3}}{2} \xi x_M \right) + j \dot{I}_A \left( x_L - \frac{1}{2} x_M - \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{2} \xi x_M \right) \end{aligned}$$

Այսպիսով դիմադրության ակտիվ և ռեակտիվ բաղադրիչները կլինեն՝

$$\left. \begin{aligned} R_A^1 &= R + \frac{\sqrt{3}}{2} x_M - \frac{\sqrt{3}}{2} \xi x_M = R + \frac{\sqrt{3}}{2} x_M (1 - \xi) \\ x_A^1 &= x_L - \frac{1}{2} \xi x_M - \frac{1}{2} x_M = x_L - \frac{1}{2} x_M (1 + \xi) \end{aligned} \right\} \quad (3a)$$

Եււն գործողութունները կատարելով  $\dot{U}_B$ -ի և  $\dot{U}_C$ -ի համար, կստանանք.

$$\begin{aligned} \dot{U}_B &= \dot{I}_B \left( R - \frac{\sqrt{3}}{2} x_M + \frac{\sqrt{3}}{2} \xi x_M \right) + j \dot{I}_B \left( x_L - \frac{1}{2} x_M - \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{2} \xi x_M \right) \end{aligned} \quad (4)$$

որակից՝

$$\left. \begin{aligned} R'' &= R - \frac{\sqrt{3}}{2} x_M + \frac{\sqrt{3}}{2} x_M = R \\ x'' &= x_L - \frac{1}{2} x_M - \frac{1}{2} x_M = x_L - x_M \end{aligned} \right\} (4a)$$

$$U_C = I_C \left( R - \frac{\sqrt{3}}{2} x_M + \frac{\sqrt{3}}{2} \xi x_M + j I_C \left( x_L - \frac{1}{2} x_M - \frac{1}{2} \xi x_M \right) \right) \quad (5)$$

որակից՝

$$\left. \begin{aligned} R'' &= R - \frac{\sqrt{3}}{2} x_M + \frac{\sqrt{3}}{2} \xi x_M = R - \frac{\sqrt{3}}{2} x_M (1 - \xi) \\ x'' &= x_L - \frac{1}{2} x_M - \frac{1}{2} \xi x_M = x_L - \frac{1}{2} x_M (1 + \xi) \end{aligned} \right\} (5a)$$

Արտաբնով մենք տեսնում ենք (3a և 3b), որ երկու ծաղաղին ֆազերի ակտիվ գիմադրությունները իրար հավասար չեն և որ մեկ ֆազից պահասում է անբան ակտիվ գիմադրություն, ինչքան ավելանում է մյուսում:  $x_M$  մեծությունը, որ սկզբում հանդես էր գալիս որպես ուսակտիվ գիմադրություն, ավժամ որոշ գործակցով դաժարվում է ստաջին ֆազի ակտիվ գիմադրությանը, հանվելով երրորդից: Այս հավասարումների (3, 4, 5) մեջ  $x_L$  ինքնինգուցիտն գիմադրությունը մեծ է  $x_M$  փոխինգուցիտն գիմադրությունից և չգործակցից՝  $< 1$ -ից: Հետևարար,  $x' = x'' < x'$ : Օրկրորդ ֆազի ակտիվ գիմադրությունը պահպանում է իր մեծությունը, չժամանակցելով ար երկուլթի տակոժմանը:

Եզված հավասարումների (1-5) մեջ հոսանքները զիաված են որպես ժամանակից կախած սինուսոիդալ ֆունկցիաներու Քալց, ինչպես ասվեց վերեում. դրանք իրենց մեջ պարունակում են յարժր հանախականութլան հարմունիլ բաղադրիչներ և, հետևարար, հոսանքների գործող արժեքները իրենցից ներկայացնում են  $I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 \dots}$ , որակց  $I_1$ -ը,  $I_2$ -ը,  $I_3$ -ը հոսանքների հարմունիլ բաղադրիչների գործող արժեքներն են:

Ֆանի որ սխոտեմի երեք ֆազերի հոսանքներն ըստ մեծութլան ընդունեցիներ իրար հավասար, ապա, օգտվելով հուլյն օպիրատորից ( $a$  և  $a^2$ ), կարելի է գրել՝

$$I_B = I, \quad I_A = a I_B = a I, \quad I_C = a^2 I_B = a^2 I$$

Մեր հավասարումները (3, 4, 5) կրնդունեն հետևյալ տեսքը.

$$\dot{U}_A = \dot{I} \left( -\frac{1}{2} R + \frac{\sqrt{2}}{2} \xi x_M - x_L \frac{\sqrt{3}}{2} \right) - j \dot{I} \left( \frac{\sqrt{3}}{2} R + x_M - \frac{1}{2} x_M \xi - \frac{1}{2} x_L \right) \quad (6)$$

$$\dot{U}_B = IR + jI(x_L - x_M), \quad (7)$$

$$\dot{U}_C = I \left[ \left( -\frac{1}{2}R + \frac{\sqrt{3}}{2}x_L - \frac{\sqrt{3}}{2}\xi x_M \right) + j \left( -\frac{\sqrt{3}}{2}R - \frac{1}{2}x_L + x_M - \frac{1}{2}\xi x_M \right) \right], \quad (8)$$

Այս դեպքում տրանսֆորմատորի ցածր լարման կողմում գծային լարումները կլինեն՝

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B = I \left[ \left( -\frac{3}{2}R - \frac{\sqrt{3}}{2}x_L + \frac{\sqrt{3}}{2}\xi x_M \right) + j \left( \frac{\sqrt{3}}{2}R - \frac{3}{2}x_L + 2x_M - \frac{1}{2}\xi x_M \right) \right], \quad (9)$$

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C = I \left[ \left( \frac{3}{2}R - \frac{\sqrt{3}}{2}x_L + \frac{\sqrt{3}}{2}\xi x_M \right) + j \left( \frac{\sqrt{3}}{2}R + \frac{3}{2}x_L - 2x_M + \frac{1}{2}\xi x_M \right) \right], \quad (10)$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A = I \left[ \left( \sqrt{3}x_L - \sqrt{3}\xi x_M \right) + j \left( -\sqrt{3}R \right) \right], \quad (11)$$

Հետևաբար, մենք ստացանք տրանսֆորմատորի ցածր լարման այն կոմպլեքս արժեքները, որոնք անհրաժեշտ է պահպանել՝ վառարանի էլեկտրողների մոտ հզորությունների ցանկալի սխեմայի ստանդարտ համար: Այդ լարումների մոդուլները համապատասխանաբար հալասար են՝

$$|U_{AB}| = I \sqrt{\left( -\frac{3}{2}R - \frac{\sqrt{3}}{2}x_L + \frac{\sqrt{3}}{2}\xi x_M \right)^2 + \left( \frac{\sqrt{3}}{2}R - \frac{3}{2}x_L + 2x_M - \frac{1}{2}\xi x_M \right)^2}, \quad (12)$$

$$|U_{BC}| = I \sqrt{\left( \frac{3}{2}R - \frac{\sqrt{3}}{2}x_L + \frac{\sqrt{3}}{2}\xi x_M \right)^2 + \left( \frac{\sqrt{3}}{2}R + \frac{3}{2}x_L - 2x_M + \frac{1}{2}\xi x_M \right)^2}, \quad (13)$$

$$|U_{CA}| = I \sqrt{(\sqrt{3}x_L - \sqrt{3}\xi x_M)^2 + (-\sqrt{3}R)^2} \quad (14)$$

Ունենալով «կարճ ցանցի»  $R$ ,  $L$ ,  $M$  պարամետրերը, տրանսֆորմատորի լարումները կարելի է ընտրել 12, 13, 14 հալասարումներից:

Այս հալասարումները զույգ են բերված, ընդունելով վառարանի աշխատանքային դիմադրությունը հաստատուն:

Անհրաժեշտ է նշել, որ ասինխորիայի այսպիսի ուղղումը ցածր լարման

կողմում հանգեցնում է տրանսֆորմատորի բարձր լարման կողմի հոսանքների ասիմետրիայի։ Քանի որ մենք բարձր լարման կողմում ունենք սիմետրիկ լարման սխեմա (6,2 կվ), միացված հոսանկլուենաձև, ապա տրանսֆորմատորում կորուստները արձամարձակու գեպքում բարձր լարման կողմում հոսանքները ուղիղ համեմատական կլինեն ցածր լարման կողմի գծային լարումներին։ Այս հանդամանքը կարող է զործարանին կանգնեցնել մեծ գծվարտ թշուհների առաջ, որովհետև էներգոսխեմա՞ր գծվար թև թուլլ առ հոսանքների ալգպիսի ասիմետրիա։ Հարցի լուծու՞մը սլրուող հեշտունում է նրանուլ, որ գործարանում կան մեկից ավելի վառարաններ, և միացու՞մների համապատասխան համակցու՞թյամբ (կոմբինացիալըվ) հնարավոր է վառարանների հոսանքների ալնպիսի կարգավորում մացնել, որ էներգոսխեմում մեծ ասիմետրիա չառաջանա։

Ասիմետրիայի ուղղ-լու՞նց որինակ\*

Ընդունենք, թև սկարն ցանցը՝ ունի հետևյալ պարամետրերը.

$$x_L = 11,75 \cdot 10^{-4} \text{ օմ}$$

$$R_1^1 = 1,96 \cdot 10^{-4} \text{ օմ}$$

$$R_1 = 26,00 \cdot 10^{-4} \text{ օմ}$$

$$x_M = 5,87 \cdot 10^{-4} \text{ օմ}$$

$$\xi = 0,75$$

Այս գեպքում՝

$$U_{AB} = 1 \cdot 10^{-4} \sqrt{2560} = 1 \cdot 10^{-4} \cdot 50,8 \text{ վ}$$

$$U_{BC} = 1 \cdot 10^{-4} \sqrt{2025} = 1 \cdot 10^{-4} \cdot 45,2 \text{ վ}$$

$$U_{CA} = 1 \cdot 10^{-4} \sqrt{2517} = 1 \cdot 10^{-4} \cdot 50,1 \text{ վ}$$

Քանի որ տրանսֆորմատորը թուլլ է առլիս ստանալ ցածր լարման կողմից 153 վ գծային լարման մաքսիմալ արժևք, ապա հոսանքը ցածր լարման կողմից կլինի 30000 ա։

Դժային լարման արժևքները կառացվեն՝

$$U_{AB} = 152,4 \text{ վ}$$

$$U_{BC} = 135,6 \text{ վ}$$

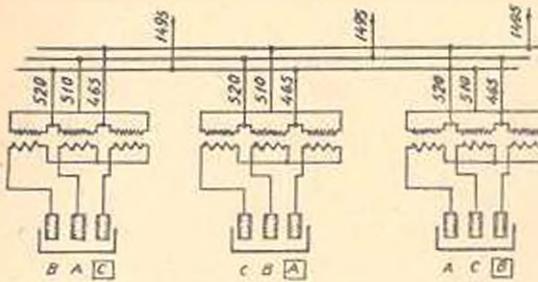
$$U_{CA} = 150,3 \text{ վ}$$

Անհրաժևշտ է նշել, որ ստացված գծային լարումների սխեմումը համապատասխանում է ալն գեպքին, երբ սկարն ցանցի՞ն բոլոր համապատասխան պարամետրերը տարրեր ֆազերում իրար հավասար են։ Ընդհանուր գեպքում ալք սլրարամետրերը ունեն տարրեր արժևքներ և փնարվող լարումների մեծու՞թյունները ստանալու համար անհրաժևշտ է սրողևս հլումք ընդու՞նել (2) հալասարումների սխեմումը։

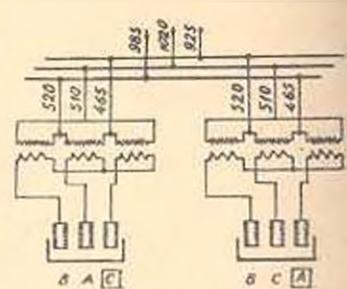
Յածր լարման կողմից գծային լարումների ալս սխեմումը կառաջացնի բարձր լարման կողմից գծային հոսանքների հետևյալ ասիմետրիան՝

\* «Կարն ցանցի՞ն պարամետրերը գերցված են կարգիչի վառարանների համար արված թվական արժևքներից [5]։

$$I_A = 520, I_{B'} = 510, I_C = 465$$



Նկ. 2:



Նկ. 3:

Հասանքների այսպիսի ասիմետրիան կարելի է կարգավորել՝ փոստարանի տրանսֆորմատորները նկ. 2 և 3-ում ցուցադրված համակցությամբ ցանցին միացնելու միջոցով: Այդ հույն նկարներում  $\square$ -նշանով ցույց են տրված բեռնալս ֆազերը:

Սրանալուծ բերված հասանքների մեծությունները տառայվել են հիմք ընդունելով այնպիսի հանգամանք, երբ տարբեր փոստարանների միևնույն ֆազերի հասանքները միմյանց նկատմամբ չունեն շեղման անկյուն:

Հայկական ՍՍԻՔ ԳԱ

Ելնկարատեխնիկայի ինստիտուտ

Հնդուսեված է 20. IX 1960

Р. А. ЧУГУРЯН

## О НЕКОТОРЫХ ВОПРОСАХ СИММЕТРИЗАЦИИ ТРЕХФАЗНЫХ КАРБИДНЫХ ПЕЧЕЙ

### Р е з ю м е

В статье рассматриваются:

а) причины возникновения несимметрии в работе трехфазных карбидных печей;

б) разложение несимметричной трехфазной системы напряжений карбидных печей на симметричные составляющие;

в) выражения модулей линейных напряжений печи через ток и электрические параметры печи—т. н. короткой сети;

г) способ достижения симметрии на высоковольтной стороне питающего печь трансформатора и пример расчета схемы симметризации.

### Չ Ր Ա Շ Ա Ն Ե Վ Ր Վ Ա Ն Ե Ն

1. Брус К. А. Основы электротехники, т. 2, 1931, 1948.
2. Нейман А. Р. и Калантаров П. А. Теоретические основы электротехники, т. 3, 1958.
3. Вонке Н. Элок роплавления печи, 1936.
4. Kluss E. Einführung in die Probleme des elektrischen Lichtbogen- und Widerstands-ovens, 1941, Springer.
5. Отчет НИЭЛ заводу им. С. М. Кирова. Некоторые вопросы электрических режимов карбидных печей, 1959.
6. Сисоян Г. А. Электрическая дуга в рудотермической печи, 1954.

МАШИНОВЕДЕНИЕ

М. В. КАСЬЯН

РЕЖИМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ

Одним из ответственных задач в машиностроении является выбор эффективных значений элементов режимного поля и, в особенности, скорости резания. Методика выбора скорости резания, основанная на так называемой экономической стойкости, порочна, поскольку она не гарантирует заданного качества поверхности обрабатываемой детали. Наоборот, в ряде случаев, скорость резания, выбранная по этой методике лежит в зоне максимальной деформации срезаемого слоя со всеми отсюда вытекающими обстоятельствами. Это означает, что глубина деформированного слоя за линией среза и степень деформации при этом достигают максимума, удельный расход электроэнергии возрастает, все составляющие усилия резания увеличиваются. Кроме того, при больших степенях деформации срезаемого слоя, площадь контакта «резец-стружка» соответственно увеличивается по передней грани резца. С одной стороны интенсифицируется износ инструмента по глубине уменьшается, но площадь износа увеличивается; в результате этого несколько увеличивается стойкость инструмента разовая, но заметно уменьшается общая стойкость его, поскольку уменьшается число возможных переточек. Сказанное касается в первую очередь деталей, термическая обработка которых вызывается необходимостью рекристаллизации поверхностных слоев и снятия напряжений, возникших в процессе резания.

Детали со значительной деформацией поверхностных слоев, а следовательно с измененными физико-механическими свойствами и наличием микроконцентрации напряжений из-за шероховатости поверхности не могут рассматриваться как обычные детали с однородными свойствами. Наряду с этим нужно отметить, что и технологические расчеты отнимают много времени у технолога. Действительно, последовательность расчетов, базирующихся на высоком использовании металлорежущего станка по мощности состоит в следующем:

а) по заданному классу чистоты поверхности и рекомендованной для данной группы металла геометрии режущего инструмента определяется величина подачи  $S_0$  мм/об,

б) по мощности, расходуемой на шпинделе станка, количеству  $i$  одновременно работающих инструментов и величине  $S_0$  опреде-

деляется глубина резания  $t$ , применение которой приведет к полному использованию полезной мощности станка

$$t = \sqrt[3]{\frac{y_N}{iN_1 S_0^{x_N}}} \text{ мм.}$$

где  $N$  — полезная мощность,  $N_1$  — единичная мощность,  $y_N$  и  $x_N$  — показатели, зависящие от рода обрабатываемого металла;

в) по значениям  $S_0$  и  $t$  определяют скорость резания при заданной стойкости  $T$ :

$$U = \frac{C}{T^m S_0^{x_U} t^{y_U}} \text{ м/мин.}$$

Конечно, при этом все расчетные величины сопоставляются с кинематическими возможностями станка, на котором намечено осуществление обработки.

Поскольку детали современных машин обладают сложной конфигурацией, а для каждого перехода нужен свой комплекс расчетов, то естественно, что и объем расчетных работ возрастает. Применение элементарных счетных машин в данном случае облегчают труд технолога, но главные недостатки, связанные с применением в ряде случаев режимов максимальной деформации, приводящих к ухудшению эксплуатационных свойств деталей, а, следовательно и машины в целом, сохраняются. Совершенно ясно, что необходима другая апробированная методика расчетов, а главное принцип выбора элементов режимного поля, содействующих получению высокого качества поверхности обрабатываемых деталей в наиболее благоприятных условиях. Продолжительные исследования в этой области показали, что имеются вполне надежные пути реального применения принципов, использование которых обеспечивает оптимальные условия обработки стальных деталей. Если мы обратим внимание на взаимосвязи, существующие между скоростью резания с одной стороны, и факторами, на которые эта скорость влияет в весьма заметных пределах, то нетрудно установить следующие закономерности при обработке сталей:

1. с увеличением скорости резания степень деформации срезаемого слоя в начале возрастает, достигает максимума в определенной зоне скоростей, в дальнейшем стремительно уменьшается, а после этого интенсивность уменьшения сокращается и процесс деформации несколько стабилизируется;

2. по такому же закону, с увеличением скорости резания, изменяются усилия стружкообразования, процесс наростообразования и степень шероховатости поверхности;

3. глубина распространения деформации за линией среза с увеличением скорости резания уменьшается монотонно;

4. стойкость режущего инструмента связана со скоростью резания уравнением неравнобокой гиперболы. Однако поверхность об-

разуемой на передней грани лунки пропорциональна степени деформации срезаемого слоя;

5. энергоемкость процесса резания меняется с изменением скорости резания в определенных пределах.

Наличие этих закономерностей служит основанием для того, чтобы перейти к новой, более рациональной методике выбора режимов резания. При этом осуществлять это нужно в следующей последовательности:

1. учитывая, что в современных условиях припуски, оставляемые на механическую обработку резанием, уменьшены и имеют тенденцию к дальнейшему уменьшению в связи с улучшением работы заготовительных цехов, необходимо работу вести с большими подачами — допускаемыми требованиями к качеству поверхности, геометрией инструмента и возможностями станка;

2. скорость резания должна быть принята по кривой «деформация срезаемого слоя—скорость резания» в зоне нисходящей ее ветви, у начала падения интенсивности уменьшения деформации. В зависимости от свойства обрабатываемого металла, геометрии инструмента и величины подачи эта зона скоростей лежит в пределах 100—180 метров в минуту. Взятую по деформационной кривой скорость резания необходимо скорректировать по возможностям станка.

Важно отметить, что при использовании такого принципа выбора элементов режимного поля и, в частности, скорости резания, будут иметь место следующие особенности:

а) усилие стружкообразования достигнет минимального значения, деформация срезаемого слоя и слоя за линией среза станут незначительными. Таким образом, в значительной степени улучшится качество поверхности как за счет уменьшения высоты гребешков, так и за счет уменьшения глубины и степени деформации слоя за линией среза;

б) интенсивность наростообразования уменьшится с соответствующим положительным эффектом;

в) энергоемкость процесса резания сократится заметным образом.

Действительно, в условиях резания стали, работа резания на пути в один миллиметр может быть выражена следующим образом.

$$P_2 = P_{cm} \left( 1 - \frac{1}{\Delta} \right) - W_{zt} + W_{nr}$$

где  $P_2$  — касательная составляющая усилия резания,  $P_{cm}$  — усилие стружкообразования,  $\Delta$  — коэффициент усадки,  $W_{zt}$  — работа трения задней грани инструмента о поверхность резания,  $W_{nr}$  — работа трения образуемой стружки о переднюю грань инструмента.

Вполне понятно, что в зонах скоростей резания, характерных минимальным значением коэффициента усадки стружки, работа резания, определяющая понятие энергоемкости процесса будет уменьшаться.

Из выражения, приведенного выше, видно, что первая составляющая правой части уравнения, оценивающая часть работы, затрачиваемой на пластическую деформацию уменьшается с уменьшением  $\Delta$ . Третья составляющая работы резания — работа затрачиваемая на трение стружки о переднюю грань инструмента зависит от  $\Delta$ , а, именно, с увеличением коэффициента усадки длина стружки сокращается и это приводит к уменьшению  $W_{\text{тр}}$ . Но дело в том, что элементы стружки, образуемые при ее формировании, получают большие относительные сдвиги — с увеличением  $\Delta$ . Это явление заметным образом сказывается на шероховатости грани стружки, соприкасающейся с передней гранью режущего инструмента. В результате увеличения  $\Delta$ , увеличивается и шероховатость этой грани стружки, а это в свою очередь увеличивает коэффициент трения стружки об инструмент, увеличивая количество выделяющегося при этом тепла. Кроме того, выступающие элементки служат частички пазухами, способными уносить с собой микрочастицы изнашиваемой поверхности режущего инструмента, увеличивая тем самым объем лунки.

Характерной особенностью работы в зоне оптимальных скоростей резания является стабилизация процесса и как результат этого спокойная работа системы станок-деталь-инструмент. Такая особенность чрезвычайно важна в условиях автоматизации технологических процессов и машиностроения.

Переход на предлагаемый принцип выбора элементов режимного поля, в частности, скорости резания приведет к огромной экономии электроэнергии и удлинению срока службы эксплуатируемых машин.

Важность этого вопроса для армянского машиностроения вытекает из того, что за ближайший период объем машиностроения в республике возрастет более чем в 40 раз.

Մ. Վ. ԿԱՍՅԱՆ

## ՄԵՏԱԳՆՆԵՐԻ ԿՏՐՄԱՆ ՊՐՈՑԵՍԻ ԿԱՅՈՒՆԱՑՄԱՆ ՌԵՄԻՄՆԵՐԸ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

*Համառոտ հոդվածում նշվում են այն թվրոթվումները, որոնք կապված են կտրող գործիքի տնտեսական կայունությամբ վրա խաբսխված սղղղաատի կտրման սեմիմների ընարութան\* գոյութուն տնեցող սղղղուն ընեցի նեա:*

*Այլ թվրոթվումները կայանում են նրանում, որ մշակվող մասնիկի մակերեսի որակը վատանում է. կտրման պրոցեսի ճիգը (լարվածքը) և էներգատարողութունը մեծանում են և այլն:*

*Այլ արտասայոր մեթոդի փոխարեն հոդվածում առաջարկվում է կտրման արագութունը ընարել «կարվող շերտի դեֆորմացիան — կտրման արագութուն» կորով, նրա վարընթաց ճյուղի գոնայում, դեֆորմացիալի փոքրացման ինտենսիվութուն անկման սղղրում:*

*Հարատանի պավմաններում, երբ մեքինաշինական արդյունարերութունը մոտակա տարիներին կզարգանա և կմեծանա այլևի ջան և՛ անդամ, առաջարկվող նոր մեթոդը կտա միջոցների պոպլի տնտեսում:*

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

А. М. ГАСПАРЯН, Н. С. ИКАРЯН

СТЕСНЕННОЕ ПАДЕНИЕ ЧАСТИЦ

О максимальном расходе твердой фазы

(Сообщение 3)

Если в колонку 1 (рис. 1) заполненной жидкостью поднимать, через трубку 2, монодисперсную твердую фазу, то частицы этой фазы образуют взвесь, будут двигаться (падать) вниз со скоростью стесненного падения  $C$ . Если частицы сферичны, то:

$$C = K C_0 m^n = K C_0 (1 - \varphi)^n \quad (1)$$

Здесь  $K$  — постоянная;  $C_0$  — скорость свободного падения частицы;  $m$  — пористость взвеси;  $\varphi$  — концентрация (объемная) частиц во взвеси;  $n$  — степень, зависящая от числа Рейнольдса. Подробные данные об этом уравнении изложены ранее [1].

С увеличением подачи частиц концентрация возникающей взвеси  $\varphi$  возрастет и, согласно уравнения (1), скорость падения этой взвеси уменьшится. Расход твердой фазы через любое сечение 0—0 составит:

$$q = C \varphi = K C_0 m^n (1 - m) \quad (2)$$

Нетрудно заметить, что расход твердой фазы  $q$  имеет максимум. Дифференцируя уравнения (2) и приравнявая производную правой части нулю, находим то значение пористости  $m'$ , или концентрации  $\varphi'$ , при которых расход  $q$  достигнет своего максимума:

$$m' = \frac{n}{n+1} \quad (a); \quad \varphi' = \frac{1}{n+1} \quad (б); \quad n' = \frac{1-\varphi'}{\varphi'} \quad (в). \quad (3)$$

$$q_{\max} = C^n \varphi' \quad (4)$$

Под  $C^n$  подразумевается скорость стесненного падения, соответствующая максимальному расходу, или  $\varphi'$ .

Согласно данным, полученным в нашей лаборатории [1], для монодисперсных сферических частиц  $n$  имеет значения:  $n = 5$ , для

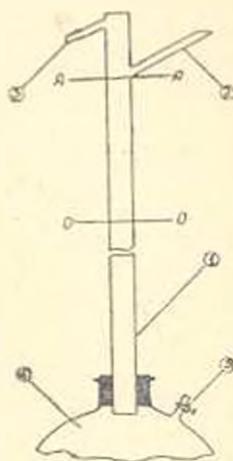


Рис. 1.

ламинарной области ( $Re \leq 0,5$ );  $n = 2,65$ , для турбулентной области ( $Re \geq 500$ ), а для переходной области:

$$n = 4,65 - 0,74 \lg Re. \quad (5)$$

Значения  $K$  и  $n$  входящие в уравнение (1), а также уравнение (5), получены на основе обработки результатов 47-и серий опытов со сферическими частицами, в диапазоне числа Рейнольдса от 0,0126 до 2960.

Если эмпирические уравнения (1) и (5) являются достаточно верными, то значение  $\varphi'$  во всем диапазоне числа Рейнольдса должно колебаться в пределах от 1:  $(5 - 1) = 0,167$  до 1:  $(2,65 + 1) = 0,274$ .

В таблице 1 приведены данные по вышеуказанным 47 сериям, в соответствующей интерпретации. В гр. 2 даны числа Рейнольдса, отнесенные к свободно падающей частице. В гр. 3 приведены значения степени  $n$ , рассчитанные по уравнению (5). В гр. 4 указаны значения  $\varphi'$ , рассчитанные по ур. (3б).

В гр. гр. 5 и 6 приведены найденные из опыта значения  $\varphi'$  и  $C'$ , а в гр. 7 произведение этих величин, составляющее  $q_{max}$ . Расхождение между расчетным и опытным значениям  $\varphi'$  приведено в процентах в гр. 8. В гр. 9 указаны значения степени  $n'$ , полученные по формуле (3и), на основе опытных значений  $\varphi'$  (графы 5).

На рис. 2 показан способ определения опытных значений  $\varphi'$  и  $C'$  на примере двух серий опытов (серий № 8 и № 43). Кривые 1 и 2 из себя представляют экспериментом найденную связь  $C = f_1(\varphi)$ . Кривые

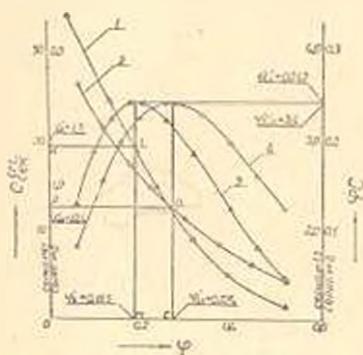


Рис. 2.

3 и 4, представляющие связь  $\varphi C = f_2(\varphi)$ , получаются умножением скорости  $C$  на соответствующую концентрацию  $\varphi$ . Площадь OABC представляет значение  $q_{max}$  для кривой 2, а площадь OKLM — для кривой 1.

Отметим, что расхождения, приведенные в гр. 8 табл. 1 для всех серий имеют одинаковый знак: расчетное значение  $\varphi'$  всюду меньше ее опытного значения. Эта односторонность расхождений указывает на то, что определяемый ур. (5)  $n$  несколько больше фактического его значения в области  $\varphi'$ . Это видно из сравнений данных гр. гр. 3 и 9. Однако, расхождение не доходит до 10%, и в среднем составляет 4,7%, что нужно считать приемлемым, учитывая приближенность уравнений (1) и (5).

Для изглядности, на рис. 3 дано графическое изображение данных граф 5 и 9 как функция от логарифма чисел Рейнольдса. Пунктирная линия представляет уравнение (5), или графу 3 таблицы.

Пока в колонку (рис. 1) подается твердой фазы меньше чем  $q_{max} = C'\varphi'$ , вся эта фаза, образуя взвесь, будет падать в колонке и

Таблица 1

Опытные и расчетные значения некоторых величин

№ п/п	Число Рейнольдса $Re$	$\lambda$ по уравнению (5)	$\varphi$ по уравнению (36)	Опытные значения			Расхождение между гр. 4 и 5 в %	$\lambda$ по уравн. (36) по значениям гр. 5
				$\varphi$	$C'$	$\varphi C'$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,0126	5,00	0,167	0,170	0,030	0,0051	1,5	4,87
2	0,0382	5,00	0,167	0,170	0,103	0,0171	1,5	4,87
3	0,0753	5,00	0,167	0,172	0,715	0,1230	2,3	4,86
4	0,0846	5,00	0,167	0,173	0,117	0,1324	3,2	4,78
5	0,176	5,00	0,167	0,175	0,141	0,0217	4,0	4,75
6	0,259	5,00	0,167	0,177	0,163	0,0284	4,0	4,75
7	0,511	4,865	0,171	0,182	0,262	0,0477	5,6	4,53
8	0,565	4,834	0,171	0,185	1,305	0,242	7,5	4,41
9	0,603	4,813	0,172	0,181	0,250	0,0558	6,0	4,46
10	0,900	4,694	0,176	0,189	2,00	0,378	7,0	4,28
11	0,915	4,664	0,177	0,197	0,329	0,0635	8,2	4,17
12	1,412	4,539	0,181	0,198	0,297	0,0786	8,5	4,05
13	2,41	4,367	0,186	0,205	2,29	0,470	9,4	3,88
14	3,58	4,240	0,191	0,210	0,466	0,098	8,8	3,78
15	4,73	4,150	0,194	0,210	3,11	0,653	8,4	3,72
16	9,66	3,921	0,203	0,219	4,30	0,944	7,5	3,57
17	9,76	3,917	0,204	0,221	1,108	0,215	8,0	8,52
18	10,48	3,895	0,205	0,223	1,225	0,276	8,1	3,48
19	13,10	3,823	0,207	0,224	0,650	0,145	7,0	3,48
20	17,40	3,731	0,212	0,229	0,760	0,174	7,6	3,37
21	18,60	3,710	0,212	0,231	1,565	0,362	8,0	3,34
22	23,2	3,658	0,216	0,231	6,01	1,396	6,0	3,33
23	28,2	3,600	0,218	0,233	0,835	0,218	6,4	3,21
24	32,9	3,526	0,221	0,235	1,90	0,446	6,0	3,26
25	48,4	3,403	0,227	0,239	2,18	0,521	6,0	3,18
26	54,3	3,366	0,229	0,243	1,50	0,321	6,0	3,12
27	56,2	3,351	0,230	0,241	7,85	1,891	4,5	3,14
28	58,2	3,343	0,231	0,244	2,65	0,647	5,2	3,10
29	76,0	3,258	0,235	0,247	2,90	0,716	4,5	3,05
30	90,8	3,200	0,238	0,248	1,68	0,417	4,0	3,04
31	95,5	3,183	0,239	0,248	8,90	2,268	3,6	3,04
32	107,0	3,145	0,242	0,250	0,250	0,250	3,0	3,00
33	141,0	3,058	0,247	0,261	2,10	0,547	3,0	2,83
34	151,0	3,036	0,248	0,259	2,20	0,571	4,4	2,86
35	221	2,913	0,250	0,267	2,89	0,772	4,0	2,74
36	234	2,895	0,257	0,263	10,95	2,88	2,3	2,80
37	248	2,877	0,258	0,266	4,90	1,303	3,0	2,76
38	278	2,839	0,261	0,265	5,28	1,400	1,5	2,77
39	282	2,827	0,261	0,264	6,10	1,61	1,0	2,78
40	312	2,801	0,263	0,268	5,48	1,470	2,0	2,73
41	359	2,761	0,266	0,268	5,95	1,582	0,0	2,76
42	405	2,720	0,269	0,269	5,53	1,585	0,0	2,72
43	447	2,690	0,271	0,274	12,50	3,425	1,0	2,65
44	473	2,670	0,273	0,278	0,57	1,823	2,0	2,60
45	525	2,650	0,274	0,280	19,40	5,44	2,0	2,57
46	945	2,65	0,274	0,285	19,01	5,42	3,5	2,51
47	2960	2,65	0,274	0,285	24,40	9,82	4,0	2,51

собираться на ее дне, с вытеснением равного объема жидкости. Если же объем подаваемой в колонку твердой фазы  $q$  больше чем  $q_{\text{max}}$ , то тогда разница  $\Delta q = q - q_{\text{max}}$  не сможет погружаться в колонку и будет накапливаться у сечения  $A - A$ , и подниматься.

Нетрудно заметить, что при установившемся режиме когда  $q > q_{\text{max}}$ . Через любое сечение, выше сечения  $A - A$ , будет иметь

место два равных по объему потока — твердых частиц, объема  $q_{\max}$ , по направлению сверху-вниз и жидкой среды, того же объема, снизу-вверх и 2. Через любое сечение, выше сечения  $A-A$ , будет иметь место поток, только снизу-вверх, твердой фазы объема  $\Delta q$  вместе с жидкой фазой. Если твердая фаза вводится в колонку в сухом виде, то объем этой жидкой фазы будет равен  $q_{\max}$ . Если же

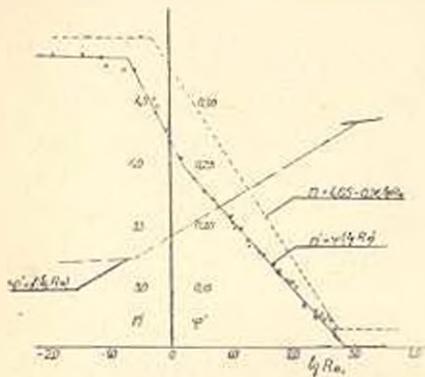


Рис. 3.

вместе с твердой фазой в колонку вводится также жидкая фаза в объеме  $Q$ , то объем этой жидкой фазы составит  $q_{\max} + Q = \omega$ . Средняя скорость суспензии, поднимающейся по колонке выше сечения  $A-A$ , составит:

$$V = (\omega + \Delta q), \quad (6)$$

а концентрация возникшей взвеси определится уравнением [2]:

$$\varepsilon = \frac{V\varepsilon}{V - C} = \frac{\Delta q}{V - C} \quad (7)$$

где  $\varepsilon = \Delta q : V$ .

Отметим, что величины  $q$ ,  $Q$ ,  $\omega$  и другие отнесены к единице сечения колонки.

*Другие случаи падения взвеси.* Выше мы рассмотрели такой случай падения взвеси, когда суммарный расход обеих фаз через какое-либо сечение  $0-0$  (рис. 1) равняется нулю, т. е. когда объемный расход твердой фазы сверху-вниз равен объемному расходу среды снизу-вверх. В этом случае (назовем его первым случаем), как уже указывалось, скорость падения взвеси относительно стенок колонки определяется уравнением (1). Кран  $\bar{5}$  в этом случае закрыт.

Однако, представляют определенный интерес также два других случая падения взвеси: случай второй — когда суммарный расход обеих фаз через сечение  $0-0$  направлен сверху-вниз (через кран  $\bar{5}$  выпускается определенный объем жидкости или суспензии), и случай третий, когда этот расход направлен снизу — вверх (через кран  $\bar{5}$  вводится некоторый объем жидкости).

*Случай II.* Пусть при падении суспензии по колонке, через кран  $\bar{5}$  непрерывно выпускается некоторый объем  $Q$ . Выразим этот объем через расход твердой фазы по колонке —  $q$ :

$$Q = Wq. \quad (8)$$

Нетрудно видеть, что в этом случае скорость  $l$  падения взвеси (относительно стенок колонки) будет больше скорости  $C$  стесненного падения взвеси той же концентрации, и

$$l = C + Q = K C_0 m^n + Wq \quad (9)$$

с другой стороны, расход твердой фазы  $q$  определяется:

$$q = \varphi l = (1 - m) l. \quad (10)$$

Из последних двух уравнений получается:

$$l = \frac{KC_0 m^n}{1 - W + Wm}. \quad (11)$$

Когда  $W = 0$ , т. е. отсутствует отвод через край 5, тогда, как вытекает из ур. (11), приходим к случаю I и  $l = C$ .

Когда  $W = 1$ , получается:

$$l = KC_0 m^{n-1} = \frac{C}{m}. \quad (12)$$

Расход твердой фазы составит:

$$q = \frac{C\varphi}{1 - W\varphi} = \frac{KC_0 m^n (1 - m)}{1 - W + Wm}. \quad (13)$$

Рассмотрение ур. (13) показывает, что оно, в определенной области значений  $W$ , имеет максимум и минимум. Приравнивание производной правой части этого уравнения к нулю приводит к выражению:

$$m' = \frac{2nW - (n+1) \pm \sqrt{(n+1)^2 - 4nW}}{2nW}. \quad (14)$$

*Случай III.* При падении суспензии, в колонку, через край 5 вводится жидкость в объеме  $Q = Wq$ . На этот раз жидкость движется по колонке против падающей взвеси, уменьшая скорость ее падения относительно стенок колонки:

$$l = C - Q = KC_0 m^n - Wq. \quad (9a)$$

Рассуждая аналогично случаю II, приходим к уравнениям:

$$q = \frac{C\varphi}{1 + W\varphi} = \frac{KC_0 m^n (1 - m)}{1 + W - W'm}. \quad (13a)$$

$$m' = \frac{2nW + (n+1) \pm \sqrt{(n+1)^2 + 4nW}}{2nW}. \quad (14a)$$

Уравнения (9a, 13a и 14a) аналогичны уравнениям (9, 13 и 14) и могут быть получены из последних изменением знака  $W$ .

На рис. 4 показана связь  $q = f(\varphi)$  для ряда значений  $W$ , согласно уравнений (13) и (13a). Точки, соответствующие  $m' = 1 - \varphi'$ , рассчитанные по уравнениям (14) и (14a), отмечены кружочками. При расчете кривых рис. 4 условно принято, что  $KC_0 = 1$ , а  $n = 5$ .

Из рис. 4 видно следующее: когда  $W = 0$  (случай I), кривая, в области реальных величин, имеет только одну точку поворота соответствующую  $q_{\max}$ . Пористость  $m'$  для этой точки можно определить только при помощи уравнения (3a), так как уравнения (14) и (14a) при  $W = 0$  превращаются в неопределенность. В области значений

$W'$  от нуля до 1 также имеется одна точка поворота (соответствующая максимальному расходу), а второй корень уравнения (14) лишен смысла. При значениях  $W'$  больше единицы возникает вторая точка поворота, соответствующая некоторому минимальному расходу. Однако, эти минимумы имеют практический смысл только для очень узкой области значений  $W'$ , примерно от 1,6 до 1,8. Для  $W' < 1,6$  минимумы наступают при таких значениях  $q$  (более 0,6), которые не могут иметь место в действительности. После этих минимальных значений  $q$ , при дальнейшем увеличении  $q$ , начинается быстрый рост расхода. При  $W' = 1,8$ , точки поворота, соответствующие максимуму и минимуму расходов, сливаются, переходя в точку перегиба.

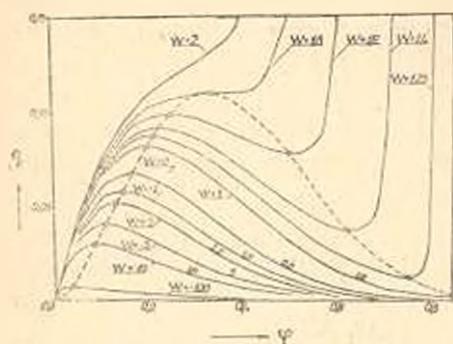


Рис. 4.

В турбулентной области, когда  $n = 2,65$ , это явление наступает при  $W' = 1,26$ .

При отрицательных значениях  $W'$  (случай III, рис. 4) второй корень ур. (14) лишается смысла; все кривые имеют только одну точку поворота, соответствующую максимальному расходу. В этой области значение  $W'$  не имеет ограничений, однако с ростом  $W'$  (в отрицательной области) уменьшается величина  $q$  и, пределом произведения  $qW'$  является  $C_0$  (скорость свободного падения отдельной частицы, когда падающая взвесь разбавлена до бесконечности), когда  $W'$  стремится к бесконечности, а  $q$  — к нулю.

## Выводы

1. Показано, что расход твердых частиц, падающих в неподвижной (случай I), или малоподвижной (случаи II и III) вязкой среде, имеет свой максимум. Выведены уравнения, определяющие значения концентраций, соответствующих этим максимальным значениям расходов.

2. Показано, что в переходной области степень  $n$  уравнения (1) меняется, в зависимости от  $\lg Re$ , не прямолинейно, как это вытекает из уравнения (5). Однако, как видно из таблицы 1 рис. 3, степень приближенности уравнения (5) остается в пределах применимости для практических целей.

Ա. Մ. ԿԱՍՊԱՐՅԱՆ, Դ. Ո. ԻԿԱՐՅԱՆ

ՄԱՍՆԻԿՆԵՐԻ ԿԱՇԿԱՆԴՎԱՆ ԱՆԿՈՒՄ

Պինդ ֆազայի մարսիմալ ծախսի մասին

(Հաղորդում 3)

Ա մ փ ո փ ո ռ մ

Եթե ջրով լցված 1 խողովակում (նկ. 1) անուցվում է մտուղիապիրս պինդ ֆազա (գնդաձև մասնիկներ), առաջացող կախվածքի մասնիկները կընկնեն C արագությամբ  $|1|$ : Մասնիկների անուցումն ավերացնելով կմեծանա կախվածքի շ խտությունը, իսկ (1) հավասարման համաձայն, կախվածքի անկման արագությունը կխոչրոհվի: Խողովակի ցանկացած 0 - 0 կտրվածքից անցնող պինդ ֆազայի ծախսն արտահայտվում է (2) բանաձևով: Այդ ծախսն ունի մարսիմալ արժեք: (3) բանաձևի հիման վրա հեշտ է սրտչել կախվածքի այն  $\varphi$  խտությունը, որի դեպքում պինդ ֆազայի ծախսն ստանում է մարսիմալ արժեք (4):

Այլուսակ 1-ում տրված են 47 սերիա փորձերի  $|1|$  ավյալները: 2 սյունյակում տրված է մասնիկի ազատ անկման պայմանների Լեչնոլդսի թիվը և 3 սյունյակում տրված են n աստիճանայուլլի արժեքները, ըստ (5) հավասարման: 4 սյունյակում տրված են  $\varphi$  արժեքներն, ըստ (3) հավասարման: 5 և 6 սյունյակներում տրված են  $\varphi$  և C' արժեքներն ըստ C-f ( $\varphi$ ) փորձնական կորերի (նկ. 2), և 7 սյունյակում տրված են  $Q_{max}$ -ների արժեքները: 8 սյունյակում տրված են փորձնական և հաշվալի  $\varphi$ -ների շեղման տոկոսները: 9 սյունյակում տրված են n աստիճանայուլլի արժեքները, որոնք ստացվում են 5 սյունյակի  $\varphi$ -ներից, ըստ (2) հավասարման: Հաշվալի և փորձնական  $\varphi$  արժեքների շեղումը 10 տոկոսից քի անցնում և միջին արժեքը կազմում է 4,7 տոկոս, որը կարելի է համարել բնորոշելի, նկատի ունենալով (1 և 5) հավասարումների մոտավոր լինելը: Նկ. 3-ում տրված է 5 և 9 սյունյակների ավյալների գրաֆիկական արտահայտությունը կախված Լեչնոլդսի թիվից: Պատկերը դժով տրված է (5) հավասարման գրաֆիկական արտահայտությամբ:

Եթե անուցվող պինդ ֆազայի ծախսը  $q > q_{max}$ , ապա  $\Delta q = q - q_{max}$  ավելացուկը կիւտակվի  $A - A$  կտրվածքում, կրարձրանա վերև և դարս կթափվի:  $A - A$  կտրվածքից ներքև, խողովակի ցանկացած կտրվածքում անցի կունենան ևրկու հավասարածափալ և հակադիր հոսանքներ—  $q_{max}$  ծափալի պինդ մասնիկները կիջնեն ներքև, իսկ նույն ծափալի հեղուկ միջավայրը կրարձրանա վերև:  $A - A$  կտրվածքից վերև, խողովակի ցանկացած կտրվածքում, տեղի կունենա միալն ներքևից վերև հոսանք—  $\Delta q$  ծափալի պինդ ֆազո, որը հեղուկ ֆազայի հետ միասին կրարձրանա վերև: Եթե պինդ ֆազան 1 խողովակ է տրվում չոր վիճակում, ապա վերև բարձրացող հեղուկ ֆազայի ծափալը կլինի  $q_{max}$ , իսկ եթե պինդ ֆազայի հետ տրվում է նաև Q ծափալ հեղուկ ֆազա, ապա վերև բարձրացող հեղուկ ֆազայի ծափալը կլինի  $Q = q_{max} + Q'$ : Վերև բարձրացող կախվածքի միջին արագությունը և խտությունը կարտահայտվեն (6) և (7) հավասարումներով:

Այսպիսով կարելի է պատկերացնել կախվածքի անկման երևք ղեպք: Վերահիշյալ | ղեպքում  $\delta$  փականը (նկ. 1) փակված է, և հեղուկ ու պինդ ֆազաների գումարային ծախսը  $0-0$  կտրվածքից հավասար է գերոյի: || ղեպքում  $\delta$  փականից հեռացվում է որոշակի ծավալ հեղուկ կամ կախվածք, և հեղուկ ու պինդ ֆազաների գումարային ծախսը  $0-0$  կտրվածքից ուղղված է վերևից ներքև: ||| ղեպքում  $\delta$  փականից տրվում է որոշակի ծավալ հեղուկ, և գումարային ծախսը  $0-0$  կտրվածքում ուղղված է ներքևից վերև:

|| ղեպքում կախվածքի անկման I արագությունը կարտահայտվի (11) հավասարումով, իսկ  $Q$  ծախսը՝ (13) հավասարումով:  $W$ -ի (8) արժեքների որոշակի ընագայառում (13) հավասարումն ունի մաքսիմում և մինիմում արժեքներ ըստ կախվածքի  $m$ ՝ ժակոտկենություն, որոնք արտահայտվում են (14) հավասարումով:

||| ղեպքի համար ստացվում են (9, 13 և 14) հավասարումներին նման հավասարումներ, միայն  $W$ -ի հակառակ նշանով: Նկար 4-ում տրված է (13 և 13a) հավասարումների գրաֆիկական արտահայտությունը  $W$ -ի մի շարք արժեքների համար: Երջանագծերով նշված կետերը համապատասխանում են (14 և 14a) հավասարումներից ստացվող  $\varpi' = 1 - m$  արժեքներին: Այս նկարից երևում է, որ | ղեպքում ( $W=0$ ) համապատասխան կորը ունի միայն մաքսիմում արժեք՝  $Q_{max}$  և դրան համապատասխան  $m$ ՝ ժակոտկենությունը կարելի է որոշել (3) հավասարումով:  $W=0-1$  սահմաններում (14) հավասարման արժատներից իմաստ ունեն միայն մաքսիմումի արժեքները:  $W > 1$  ղեպքում հանդես են գալիս նաև ծախսի մինիմումի արժեքները, սակայն դրանք զրոյանականում իմաստ են ստանում միայն  $W = 1,6-1,8$  սահմաններում:  $W = 1,8$  արժեքի ղեպքում (14) հավասարման արժատները նույնանում են և (13) հավասարման մաքսիմում և մինիմում արժեքները նույնանում են շրջման կետի հետ: Տարբայինում սեծիմի ղեպքում, երբ  $n = 2,65$ , այս երկփուլի տեղի է ունենում  $W = 1,26$  ղեպքում: ||| ղեպքի համար (երբ  $W$ -ն բացասական է) (14) հավասարման երկրորդ արժատն իմաստ չունի և ստացվում են միայն ծախսի մաքսիմում արժեքներ: Քաղաքական  $W$ -ի բացարձակ արժեքը կարող է զտոնալ անփերջ մեծ և այդ ղեպքում  $Q$ -ն կձգտի  $0$ -ի:

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гаспарян А. М., Заминян А. А. „Известия АН Армянской ССР“ (серия техн. наук), т. XII, № 5, 1959.
2. Гаспарян А. М., Заминян А. А. ЦАН Армянской ССР, XXVIII, № 3, 1959.

## 70 ЛЕТ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ К. С. ЗАВРИЕВА

В январе 1961 года отмечается семидесятилетие со дня рождения и пятидесятилетие научной педагогической, инженерной и общественной деятельности выдающегося ученого, инженера и педагога, действительного члена Академии строительства и архитектуры Союза ССР, академика АН Грузинской ССР Кириака Самсоновича Завриева.

К. С. Завриев родился в 1891 году в Тифлисе в семье военного топографа. В 1908 году он окончил с золотой медалью Тифлискую 3 мужскую гимназию и поступил в Петербургский институт инженеров путей сообщения. В 1914 году, после окончания института с золотой медалью, был оставлен там же преподавателем по сопротивлению материалов и высшей математике. В 1919 году он переезжает в Одессу, где принимает участие в организации политехнического института и зачисляется деканом строительного факультета. Спустя 4 года он приглашается в Тифлисский политехнический институт где работает сначала доцентом, с 1923 года



профессором, а с 1924 года деканом инженерного факультета. В 1928 году при его активном участии был организован Закавказский научно-исследовательский институт сооружений (ЗИС, ныне ТНИСГЭИ), а в 1930 г. филиал этого института в Эриване.

К. С. Завриев является одним из основоположников Закавказского института инженеров путей сообщения имени В. И. Ленина, впоследствии переименованного в Тбилисский институт инженеров железнодорожного транспорта. В течение 13 лет он возглавлял научную работу в ЗИС и 15 лет учебную деятельность в Тбилисском институте инженеров железнодорожного транспорта.

В настоящее время он возглавляет организованный им Институт строительного дела Академии наук Грузинской ССР.

В списке трудов К. С. Завриева свыше ста названий. В его многочисленных оригинальных по содержанию монографиях, научных статьях, учебных курсах и очерках разрабатываются актуальные и сложные проблемы строительной механики и теории сооружений.

Помимо этого он является автором ряда осуществленных проектов оригинальных сооружений и в том числе мостов.

В первой работе К. С. Завриева „Сопротивление упругих стержней сложному продольному изгибу“, опубликованной в 1913 году, были заложены основы расчета сооружений по критическим усилиям. Уместно отметить, что за рубежом эта проблема получила освещение лишь спустя 14 лет. Получили широкое признание предложенные им метод расчета мостовых арок и динамическая теория сейсмостойкости, а также исследования по теории металлоконструкций, обычного и предварительного напряженного железобетона. Курс по статике сооружений, опубликованный К. С. Завриевым более четверти века назад, переиздавался впоследствии, служил и служит настольной книгой инженеров строительной специальности.

Кириак Самсонович постоянно консультирует ведущие проектные и производственные организации по вопросам строительства оригинальных сооружений и зданий, реконструкции и продлению их срока службы. Тонкая инженерная интуиция позволяет ему в затронутых, порою очень сложных вопросах, всегда находить правильное экономичное техническое решение. Умение сочетать теоретические и практические проблемы, постоянная забота о внедрении достижений науки и техники в производство является характерным в стиле его работы.

Более 40 лет, непрерывно, Кириак Самсонович ведет педагогическую работу в высших учебных заведениях. Под его руководством создана школа конструкторов, мостовиков, специалистов по сейсмостойкому строительству, занимающих ныне руководящие должности на производстве и проектных и научно-исследовательских институтах Закавказья и далеко за его пределами.

Интересно отметить, что 23 из его воспитанников имеют степени доктора технических наук и более 50—кандидатов технических наук.

За многолетнюю плодотворную научно-педагогическую деятельность в 1935 году Высшая аттестационная комиссия СНК СССР без защиты диссертации присвоила ему ученую степень доктора технических наук. В 1941 году он получил звание заслуженного деятеля науки и техники. В том же году был избран действительным членом АН Грузинской ССР, а в 1956 году действительным членом Академии строительства и архитектуры СССР.

Кириак Самсонович ведет большую общественную и научно-организационную работу. На протяжении четверти века он является бессменным руководителем Президиума Республиканского общества и членом Президиума Всесоюзного научно-технического общества строительной индустрии. Он является участником и организатором ряда всесоюзных научно-технических конференций; участником ряда международных конференций. В текущем году он возглавлял советскую делегацию на международной конференции по сейсмостойкому строительству, созванной в Японии.

Он является председателем постоянно действующей секции сейс-

мостостроительстве АСИА СССР, секции по преднапряженным, железобетонным и транспортным проблемам; членом Института преднапряженного железобетона в США. С 1951 года он является депутатом Верховного Совета Грузинской ССР. Награжден четырьмя орденами Союза ССР.

В годы Великой Отечественной войны Кириак Самсонович активно участвовал, как в строительстве объектов для обороны, так и в восстановлении разрушенных фашистскими оккупантами сооружений народно-хозяйственного значения на Северном Кавказе.

В кратком очерке трудно осветить многолетнюю и многогранную творческую деятельность К. С. Завриева, но сказанное может охарактеризовать этого замечательного и самобытного ученого.

*В. В. Пинаджян*

## СОДЕРЖАНИЕ

XIII тома „Известий АН Армянской ССР“ (серия технических наук)

№—стр.

### Строительная механика

- С. С. Дарбинян.* Сдвигные колебания системы со многими степенями свободы за пределами упругости . . . . . 1—21
- Э. Е. Хачиян.* К динамическому расчету упругой системы на силы землетрясения . . . . . 3—17
- К. М. Хуберян.* Области существования лишних неизвестных для однократно статически неопределимых ферм при расчете на нагрузку и неравномерные температурные воздействия . . . . . 3—3

### Инженерная сейсмология

- Б. К. Карапетян, Н. К. Карапетян.* Определение спектрального состава колебаний почвы при землетрясении . . . . . 5—11

### Электротехника

- Г. Т. Адонц, Г. А. Айрапетян, Г. Д. Акобджанян, К. А. Гамбурик.* Исследование устойчивости Закавказской энергосистемы в связи с вводом электропередачи Мингечаур—Атарбекия . . . . . 6—19
- А. М. Авицелян.* К применению метода изображений в решении магнитостатических задач при конечных магнитных проницаемостях среды . . . . . 1—37
- М. М. Карапетян.* К вопросу об атмосферных перенапряжениях в передвижных электрифицированных агрегатах . . . . . 4—17
- К. А. Мелик-Вартанян.* Затухание и коэффициент фазы электрических фильтров и полиномы Чебышева в комплексной области . . . . . 1—45
- К. А. Мелик-Вартанян.* Некоторые вопросы применения полиномов Чебышева от комплексного аргумента к расчету электрических фильтров . . . . . 4—3
- Р. А. Чугурян.* О некоторых вопросах симметризации трехфазных карбидных печей . . . . . 6—39

### Гидравлика

- Г. А. Амбарцумян.* О некоторых вопросах гидравлического расчета СИПБ . . . . . 1—43
- А. К. Ананиян.* Некоторые вопросы теории руслового процесса . . . . . 2—3
- А. М. Гаспарян, Р. Е. Акопян.* Пневмотранспорт при высоких концентрациях твердой фазы . . . . . 5—3
- И. В. Егиазаров.* К решению задачи о транспорте наносов и его моделировании. Пути развития научных исследований по движению наносов . . . . . 1—3
- Л. А. Мовсесян.* К вопросу об инерционном сопротивлении магистральных газопроводов . . . . . 4—37
- В. О. Токмаджян.* Гидравлический удар в трубах при движении двухфазной жидкости . . . . . 2—13

### Гидротехника

- Б. Л. Буциатян.* Моделирование гидротурбины при переходных процессах . . . . . 1—29
- И. В. Егиазаров.* Возможность значительной экономии водных ресурсов для народного хозяйства, и мономолекулярная защитная пленка для борьбы с испарениями с поверхности водоемов озер и водохранилищ . . . . . 3—27
- И. В. Егиазаров.* Возможность значительной экономии водных ресурсов для народного хозяйства, и мономолекулярная пленка для борьбы с испарениями с поверхности водоемов, озер и водохранилищ (сообщ. 2) . . . . . 6—3

- В. Н. Жамагорян.* Изменение продольных профилей рек впадающих в озеро Севан, в зависимости от понижения его уровня . . . . . 5—19
- С. Г. Саркисян, С. А. Мхитарян.* Энергоэкономическая оценка аварийного резерва в энергетической системе . . . . . 5—29
- В. О. Токмаджян.* Наиболее выгодное распределение нагрузки между суточнорегулирующими деривационными ГЭС . . . . . 5—43

## Гелиотехника

- Я. Т. Шермазанин, Р. Р. Апариси.* Элементы автоматизации слежения солнечной теплосиловой станции (СТС) . . . . . 1—57

## Машиноведение

- М. В. Касьян.* Режим стабилизации процесса резания металлов . . . . . 6—47
- К. А. Миджоян.* Исследования подачи при штриховой распиловке камня . . . . . 5—51
- Ш. М. Тер-Овсепян, А. А. Тер-Мкртчян.* Методика расчета экономичности схемы комбинированной газотурбинной установки со свободно поршневым двигателем . . . . . 1—71

## Строительные конструкции

- В. В. Пинаджян.* Длительная деформация железобетонных арок большого моста . . . . . 3—51
- Л. В. Шахсуварян.* Динамическое испытание стыков . . . . . 4—55

## Строительные материалы

- А. А. Аракелян.* Расчет прочности бетона, как капиллярно-пористого материала . . . . . 2—19
- А. Г. Гиндоян.* Исследование коэффициентов переноса тепла туфовых камней . . . . . 2—29

## Экспериментальное проектирование

- К. А. Варданян.* О некоторых особенностях проектирования многоэтажных жилых зданий из пространственных блоков . . . . . 2—43

## Химическая технология

- А. М. Гаспарян, Н. С. Икарян.* Стесненное падение частиц (сообщ. 3) . . . . . 6—51
- М. Г. Манвелян, Э. Г. Малхасян.* Измерение вязкого огнеупорного материала при электроварке электроколбочного стекла . . . . . 1—81
- М. М. Маркосян, С. Т. Барсамян.* Исследование электрофизических свойств полихлорированных латексов . . . . . 2—51

## Научные заметки

- В. Г. Егизарян.* О влиянии электропрогрева на прочностные характеристики сталей марок 25 Г2С и Ст-5 . . . . . 3—61
- Х. А. Киспорян.* Экспериментальное исследование процесса затвердевания . . . . . 5—57
- Р. А. Мовсисян.* Приведение давления воздуха к уровню моря методом приближений . . . . . 3—55
- К. Х. Овсепян, М. Г. Хачиян.* Прибор для регистрации расхода воды при нестационарных режимах . . . . . 5—61
- М. Э. Симонов, К. С. Карапетян.* К расчету, конструированию и изготовлению железобетонных шпалерных стоек для виноградников . . . . . 3—58
- А. А. Тохмакин.* Опыт применения несущего арматурного каркаса на строительные гидроэлектростанции . . . . . 4—63

Критика и библиография

I. A. Атанасян. В. А. Венников. „Электромеханические переходные процессы в электрических системах“. М., 1958 . . . . . 2—61  
 Л. В. Шахсварян. Книга о тупах и мраморах Армении . . . . . 5—65

Доклады науки техники

В. В. Пинаджян. 70 лет со дня рождения К. С. Заприсян . . . . . 6—59

«ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՌԻ ԿՈՒՆՅՆԿԱԿՐԻ» (ՏՅԵՆՆՈՒՄԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ) XIII ՀԱՏՈՐԻ ԲՈՎԱՆԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆԸ

№ 49

Շինարարական մեխանիկա

Ս. Ս. Գուրբինյան. Աղատուխյան մի քանի աստիճան ունեցող սիստեմի սահմանի տատանումները տատանողական սահմանից դուրս . . . . . 1—21  
 Է. Ե. Խաչիյան. Երկրաչափային ուժերի տակ տատանողական սիստեմի դինամիկական հազվածան շարժը . . . . . 2—17  
 Կ. Մ. Խուրբուչյան. Ավելորդ անալիզների զուտության ախրույթները միապատիկ աստատիկորեն անորոշ ֆերմաներում՝ բեռնվածքի և անհամասարաչափ ջերմային ազդեցության տակ հաշվելիս . . . . . 3—3

Ինճեներական սկզբնորոգյալ

Ս. Կ. Կարապետյան. Ն. Կ. Կարապետյան. Թեանալի տատանման սպեկտրայ կազմի որոշումը երկրաչափի ղեկավարում . . . . . 5—11

Էլեկտրատեխնիկա

Շ. Տ. Ազոնց. Կ. Ա. Հայրապետյան, Կ. Կ. Հակոբյան և Կ. Հ. Կամբարյան. Անդրկոպիտայան էներգետիստեմի կայունության վերաբերյալ հետազոտությունները Վաղարշ Միլեղկաչյանի — Աթաբեկյան էլեկտրատեխնիկայի ղեկավարման հանձնարարության հետ . . . . . 7—19  
 Ա. Մ. Առաքելյան. Կերպարի մագնիսական թափանցելիության վերաբերյալ ունեցող միջավայրում մագնիսադինամիկ խնդիրների լուծման համար արտապատկերման մեթոդի կիրառման հարցի մասին . . . . . 1—27  
 Մ. Մ. Կարապետյան. Միջուկային գերլուծության մեթոդի նորոգող էլեկտրատեխնիկայի անհամասարաչափ ազդեցություններում . . . . . 4—12  
 Կ Ա. Մելիք-Վարդանյան. Էլեկտրատեխնիկայի խնդիրների մասին և ֆազայի վործակիչը և շրջանի բաղաձայնակները կոմպլեքս դաշտում . . . . . 1—43  
 Կ Ա. Մելիք-Վարդանյան. Չորսերկուսյան կիրառումը էլեկտրատեխնիկայի ֆիզիկայի հարցում . . . . . 4—3  
 Ս. Ա. Ժուղալյան. Կոմպլեքս կարգի փոփոխությունների սիմետրիզման մի քանի հարցերի մասին . . . . . 6—39

Հիդրոէլեկտրա

Ա. Կ. Անտոնյան. Հունաստանում սարգիաների տեսության մի քանի հարցեր . . . . . 2—3  
 Ա. Մ. Կասարյան, Ս. Ե. Հակոբյան. Պնսմատիկ տրանսպորտը պինդ ֆազայի բարձր կոնցենտրացիաների դեպքում . . . . . 3—3  
 Ի. Վ. Կոլոսով. Զրաբերության հիմնական և նորանց մոդելային խնդիրների լուծման մասին ջրաբերության կենտրոնի շարժման դիսկուսիան և տաղանդականության վերաբերյալ . . . . . 1—3  
 Վ. Հ. Քոբալդյան. Էլեկտրատեխնիկայի հարցումը խողովակներում և չիֆայի հեղուկի շարժման դեպքում . . . . . 2—13  
 Գ. Ա. Համբարձումյան. Էլեկտրատեխնիկայի դիմադրության միջանկյալ խթանի հիդրոդինամիկական հաշվարկի մի քանի հարցեր . . . . . 4—43  
 Լ. Ա. Սոլոնյան. Մագնիսային դաշտում լուծվածքի խնդիրները դիմադրության մասին . . . . . 4—37

**Հիգրոսէլոցիկա**

- Յ. Է. Բուլիսարյան. Հիգրոստոբրիններէ մողկացումը անցման ունեւնեւրում . . . 1—29
- Ի. Վ. Եղիազարյան. Ժողովրդական տնտեսութեան համար ջրային պաշարներէ զգալի տնտեսման հնարավորութեանը և ջրավաղաններէ, լճերէ ու ջրամբարներէ մակերևույթից գոլորշիացման դեմ պայքարելու. համար միամողկույթ պաշտպանելու թաղանթ . . . 3—27
- Ի. Վ. Եղիազարյան. Ժողովրդական տնտեսութեան համար ջրային պաշարներէ զգալի տնտեսման հնարավորութեանը և ջրավաղաններէ, լճերէ ու ջրամբարներէ մակերևույթից գոլորշիացման դեմ պայքարելու. համար միամողկույթ պաշտպանելու թաղանթ (ճաշարդում 2) . . . 4—3
- Վ. Զ. Թորմազյան. Բուստանայտակարային բաշխումը օրվա կանանսփորում ու նեցուց զերթացիւն հիգրոէկէտրակայաններէ միջև . . . 5—43
- Վ. Ն. Ժամագործյան. Սնանք լինելու թափուղի զետեքի բնորոշական պրոֆիլի փոփոխութեանը կարգում նրա մակարդակի իջեցումից . . . 5—10
- Ս. Գ. Կարգոյան. Ս. Ա. Միլիսարյան. Հնէբրդիակի սխտեմնեւրում վթարային ուղեղի լնէրգո-տնտեսական դնանատականը . . . 5—29

**Հելիոսէլոցիկա**

- Զ. Տ. Շերմագանյան, Ռ. Ռ. Ասլալիսի. Արեգակնային ջերմաստժային կայանի հետեւող ամփոստակայանի էլեմենտները . . . 1—57

**ՄԵԲԸ ճագիւտայան**

- Մ. Վ. Կոստյան. Մետաղների կտրման սրտցեպի կայունացման ունեւնեւրը . . . 6—47
- Կ. Ա. Մկրտչյան. Մասուցման ուսունասարժարտի շարքի շտրիպայանի սղացման դեպքում . . . 2—51
- Շ. Մ. Տեր-Հովսեփյան, Ա. Ա. Տեր-Մկրտչյան. Աղատ միտջարտ շարժիչ ունեւրող համակցում գաղտտորդինային կայանի սխտեմնեւրում տնտեսողականութեան հաշվարկի մեթոդիկան . . . 1—71

**Շինարարական կոնստրուկցիաներ**

- Լ. Վ. Շահուսթարյան. Կցվանքների դիմաճիկական փորձարկումը . . . 4—55
- Վ. Վ. Փինազյան. Մեծ կամուրջի երկաթբետոնե կամարների երկարատև դեֆորմացիաները . . . 3—53

**Շինանյութեր**

- Զ. Ա. Առաքելյան. Բետոնի՝ որպիս կապիլյար մակրոէկէն նյութի ամբարձրման հաշվարկը . . . 2—19
- Ա. Գ. Հիկոյան. Տափաքարերի ջերմահաղորդականութեան գործակիցների ուսումնասիրութեանը . . . 2—29

**Փոստմական հաշիւագծում**

- Կ. Զ. Վարդուխան. Տարածական բողոքներից բազմահարկ բնակէլի սնների նախագրման մի բանի ատանձնահատկութեանների մասին . . . 2—43

**Փոխարկական ճեղքուղիքայան**

- Ա. Մ. Կոստյարյան, Ն. Ս. Իվարյան. Մասնիկների կաշկանդում անկում (ճաշարդում 2) . . . 6—51
- Մ. Գ. Մանիկյան, Է. Գ. Մալիսարյան. Հելիոտրայամոլերի արդական էլեկտրական ման գեղարդում փոստարանի շամսայանի ներապատման փոփոխութեանը . . . 1—81



# СО Д Е Р Ж А Н И Е

Стр.

## Гидротехника

<i>И. В. Егиазаров.</i> Возможность значительной экономии водных ресурсов для народного хозяйства, и одномолекулярная пленка для борьбы с испарениями с поверхности водоемов, озер и водохранилищ . . . . .	3
---	---

## Электротехника

<i>Г. Т. Авоңц, Г. А. Адрапетян, Г. Д. Аюпожян, К. А. Гамбурян.</i> Исследования устойчивости Закавказской энергосистемы в связи с вводом электропередачи Мингечаур — Атарбеян . . . . .	19
<i>Р. А. Гугурян.</i> О некоторых вопросах симметризации трехфазных карбидных печей . . . . .	39

## Машиноведение

<i>М. В. Касьян.</i> Режимы стабилизации процесса резания металлов . . . . .	17
--	----

## Химическая технология

<i>А. М. Гаспарян, И. С. Пикарян.</i> Стесненное падение частиц (сообщ. 3) . . . . .	51
--	----

## Деятель науки и техники

<i>В. В. Пикаджи.</i> 70 лет со дня рождения К. С. Заврнева . . . . .	59
Содержание XIII тома . . . . .	62

## Ի Ո Վ Ա Ն Դ Ա Կ Ո Ի Թ Յ Ո Ւ Ն

էջ

### Հիդրոսելսնիկա

<i>Ի. Վ. Իզիտզարյան.</i> Փոզոզբղանի տնտեսության համար քրային պաշարների զգալի տնտեսման հնարավորությունը և քրայագանների, լճերի ու քրամրարների մակերևույթից գոլորշիացման դեմ պայքարելու համար միամուղեկույթար պաշտպանելի թաղանթ (հաղորդում 2) . . . . .	3
--	---

### Էլեկտրատեխնիկա

<i>Զ. Տ. Աղոնց, Գ. Ա. Հայրապետյան, Գ. Դ. Հովհոսեանյան, Կ. Զ. Գամբուրյան.</i> Անզըրկոպիկասյան էներգոսխստմի կայունության հետազոտությունները կապված Մինդեչաուր-Ախարեկյան էլեկտրահզորման գծի շահագործման հանձնելու հետ . . . . .	19
--	----

<i>Ի. Ա. ձուղոբյան.</i> Նոսֆազ կարրիդի վատարանների սիմետրացման մի քանի հարցերի մասին . . . . .	39
--	----

### Մեքենագիտություն

<i>Մ. Վ. Կասյան.</i> Մետաղների կտրման պրոցեսի կայունացման ուժի մեքենա . . . . .	47
---	----

### Քիմիական սելսնալոպիա

<i>Ա. Մ. Դասպարյան, Ն. Ս. Իվարյան.</i> Մասնիկների կաշկանդված անկում (հաղորդում 3) . . . . .	51
---	----

### Գիտության և տեխնիկայի գործիչներ

<i>Վ. Վ. Փիլոսյան, Կ. Ս. Զապրևի 70-ամյակի կապակցությամբ . . . . .</i>	59
XIII հատորի բովանդակությունը . . . . .	62