

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԽՐԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈՒՆԳՐԱ

Ազատ. խմբագր. Կ. Վ. Նիկողոսյան Ի. Վ., Կոստան
Դ. Վ. (պատ. խմբագր.), Նազարով Ա. Գ., Սիմոնով Մ. Զ.,
Փրեշլան Գ. Վ. (պատ. խմբագր. տեղակալ)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Адонц Г. Т., Алексеевский В. В., Егiazаров И. В., Касьян
М. В. (ответ. редактор), Назаров А. Г., Пинаджян В. В.
(зам. отв. редактора), Симонов М. З.

ГИДРАВЛИКА, ГИДРОТЕХНИКА

Р. М. МИРЗАХАНИЯН, А. М. ГАСПАРЯН

ПНЕВМОТРАНСПОРТ КРУПНОЗЕРНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПЛОТНОМ СЛОЕ

§ 1. *Пневмотранспорт в поршневом режиме.* Если в цилиндрическую трубу 4 (рис. 1) засыпать слой зернистого материала и подавать воздуха снизу псевдооживать его, то в трубе возникнут „поршни“ и „пузыри“, образование, падение и исчезновение которых описано в [1, 2, 3]. Если вместе с воздухом, входящим в трубу 4, вводить также новые порции зернистого материала, то, очевидно, труба 4 после определенного промежутка времени заполнится поршнями и пузырями и начнется выброс материала из верхнего конца трубы, т. е. начнется вертикальный пневмотранспорт в поршневом режиме. Такой вид пневмотранспорта для практики неприемлем, так как он сильно пульсирует, кроме того, давление внизу трубы 4 колеблется в широком диапазоне, материал из вышестоящего поршня непрерывно сыплется на нижестоящий, вызывая износ частиц, режим работы крайне неустойчив и легко переходит в пневмотранспорт в разбавленном слое.

§ 2. *Пневмотранспорт в сплошном слое.* Установленный на верхнем конце трубы 4 ограничитель б дает возможность изменить величину зазора h , т. е. создать дополнительное сопротивление выходящему из трубы потоку. Выброс верхнего поршня из трубы 4 затрудняется, этот поршень как бы становится более „тяжелым“, его сопротивление потоку воздуха, проходящего сквозь него, растет, что приводит к росту пропускной способности поршня по воздуху. В результате этого воздух, накопленный в нижестоящем пузыре фильтруется через рассматриваемый поршень, т. е. пузырь исчезает и два соседних поршня соединяются вместе. При определенной величине зазора h в верхней части трубы 4 пузыри исчезают, но в нижней части они продолжают существовать. Дальнейшее уменьшение зазора h приводит к ликвидации следующих пузырей, занимающих нижнее положение в трубе. При некотором значении h исчезает последний самый нижний пузырь и по всей высоте трубы 4 устанавливается пневмотранспорт в сплошном слое.

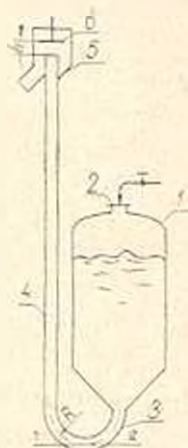


Рис. 1.

Такой способ транспорта не имеет недостатков, присущих транспорту в поршневом режиме. Он устойчив, равномерен, осуществляется при низких скоростях движения частиц и износ последних практически устраняется.

В литературе известны работы (например, [4—8]), посвященные задаче пневмотранспорта крупнозернистых материалов по вертикали, в плотном слое. В результате этих исследований сделаны предложения, которые можно свести к схеме, приведенной на рис. 1. В емкость 1 через штуцер 2 подается сжатый воздух, который, фильтруясь через слой материала, заполняющего емкость, поступает в колено 3 и выходит через цилиндрическую трубу 4. Если скорость воздуха в сечении a — a достаточно большая, то она в этом месте вызывает псевдооживление материала и уносит его с собой через трубу 4. Таким образом начинается пневмотранспорт. На конце трубы 4 устанавливается отбойник 5 с ограничителем 6. Отбойник у разных авторов имеет разную конструкцию, но принцип действия во всех случаях одинаков.

Таким образом, рядом авторов уже предложена схема осуществления пневмотранспорта в сплошном слое, некоторыми авторами исследования доведены до сооружения полупроизводственных опытных установок, однако все они оказались неприемлемыми для практики и не внедрялись. Причины этого рассматриваются ниже.

§ 3. Потери давления воздуха. Если слой частиц в вертикальной трубе только псевдооживлен равномерно, нет движущихся поршней и пузырей, то потеря давления ΔP в слое высотой l определяется только весом слоя

$$\Delta P = \Delta P_n = l \gamma \gamma_1, \quad (1)$$

где ΔP_n — потеря давления, обусловленная весом слоя высотой l ;

γ — объемная концентрация частиц в равномерно-псевдооживленном слое;

γ_1 — удельный вес частиц.

Если псевдооживление неравномерное, т. е. по трубе вверх движутся поршни и пузыри, то общие потери давления в поршне высотой l будут:

$$\Delta P = \Delta P_n + \Delta P_t, \quad (2)$$

где ΔP_t — потеря давления, возникающая в результате трения поршня высотой l о стенки трубы. Если же по цилиндрической трубе имеет место вертикальный транспорт в плотном (сплошном) слое (действует ограничитель 6), то общая потеря давления воздуха в слое высотой l будет:

$$\Delta P = \Delta P_n + \Delta P_t + \Delta P_0, \quad (3)$$

где ΔP_0 — дополнительное сопротивление движению материала, вызванное ограничителем;

ΔP_n и ΔP_t — постоянные величины, в то время как ΔP_0 — переменная величина, достигшая максимума в верхнем сечении трубы. Понят-

но, что соответствующей регулировкой зазора h величину ΔP_0 в нижнем сечении трубы можно свести к нулю. Отметим, что с увеличением высоты транспортирования L вредная роль ограничителя быстро растет. С увеличением L , кроме ухудшения показателей транспорта, нарушается и установившийся режим движения потока. Это обстоятельство, а также резкое увеличение необходимого давления и расхода энергии препятствуют транспорту в плотном слое по цилиндрической трубе и делают его неприемлемым.

§ 4. *Пневмотранспорт по трубе переменного сечения.* Нами было показано [1, 3], что в отличие от цилиндрической в трубе переменного сечения можно получить равномерное псевдооживление газом всего слоя сразу. Если в такой псевдооживленный слой вместе с воздухом внести также новые порции частиц, то, очевидно, по трубе начнется пневмотранспорт. Будет ли этот транспорт иметь место в сплошном слое, без поршнеобразования, при отсутствии ограничителя? Очевидно, нет. Как было показано в [2, 3], изменение поперечного сечения трубы, обеспечивающей равномерное псевдооживление, прежде всего зависит от перепада давления на единицу высоты ΔP . С увеличением ΔP увеличивается угол расширения трубы снизу-вверх. Пусть данная труба переменного сечения обеспечивает равномерное псевдооживление всего заполняющего ее слоя материала. При этом слой неподвижен относительно стенок трубы и определяется только лишь весом материала, согласно уравнения (1). Расширение трубы снизу-вверх соответствует этому постоянному по всей высоте ΔP . Но, когда труба начнет питаться новыми порциями частиц и начнется транспорт снизу-вверх, то, очевидно, возникнут силы трения между слоем и стенками трубы и, следовательно, перепад давления ΔP на единицу высоты слоя будет расти. Теперь эта величина будет определяться уравнением (2). Для соблюдения равномерности пневмотранспорта потребуется другая труба, с иной закономерностью изменения поперечного сечения по высоте. Для трубы переменного сечения слагаемое ΔP также является переменным, уменьшающимся с высотой трубы. Кроме того, ΔP зависит от производительности транспорта трубы, чем больше она, тем больше скорости подъема слоя по трубе и тем больше ΔP .

Из сказанного становится очевидным, что для расчета вертикального пневмотранспортного ствола переменного сечения, обеспечивающего равномерный транспорт (без поршнеобразования) в плотном слое, нужно знать зависимости ΔP и ΔP_0 от параметров частиц, транспортирующего газа и материала ствола.

§ 5. *Исследование зависимостей, определяющих потери давления.* Общий перепад давления ΔP обуславливается движением воздуха через поры движущегося, в свою очередь, слоя частиц и на небольших участках может выражаться уравнением Дарси-Вейсбаха:

$$\Delta P = \frac{A}{R_g^2} \cdot \frac{L}{d_p} \cdot \frac{(w - w_0)^2}{2g} \cdot \gamma \quad (4)$$

Потери давления на трение ΔP , могут быть выражены следующим уравнением:

$$\Delta P = \frac{K}{D^c} \cdot z^m \cdot l, \quad (5)$$

где

$$\beta = \frac{W}{F\varphi}, \quad (6)$$

$$Re = \frac{(w - \beta) d_3}{\nu g}, \quad (7)$$

D — диаметр трубы;

β — скорость движения слоя;

d_3 — эквивалентный диаметр пор слоя. Уравнения, определяющие d_3 , даны в [9];

w — скорость воздуха в порах движущегося слоя;

γ — удельный вес воздуха;

μ — вязкость воздуха;

F — сечение трубы;

W — объемный расход твердых частиц;

Re — приведенный критерий Рейнольдса для движения воздуха в порах слоя.

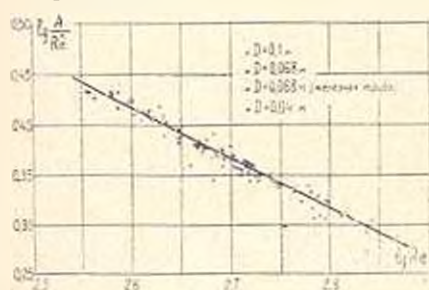


Рис. 2.

Для определения коэффициентов A , n , K , c и m были проделаны эксперименты по специально разработанной методике. На установке, подобно изображенной на рис. 1, были проведены опыты пневмотранспорта на трех цилиндрических трубах высотой 1,25 м из органического стекла диаметрами 40, 68 и 100 мм и на одной стальной трубе диаметром 68 мм.

В начале опыта ограничитель b отводился от конца трубы так, чтобы транспорт шел в поршневом режиме. Затем опусканием b вниз

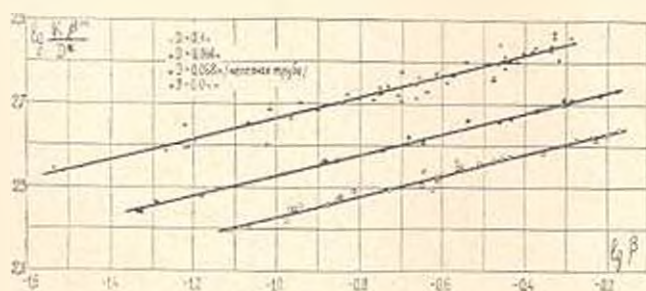


Рис. 3.

поток постепенно тормозился и находилась величина максимального зазора h , при которой для данных условий опыта имеет место гран-

спорт в плотном слое. В рассматриваемом случае общий перепад давления определяется уравнением (2). После соответствующей установки ограничителя измеряются: ΔP — в нижнем участке трубы по показаниям дифференциального манометра, расход воздуха и расход транспортируемых частиц. Экспериментальные данные для алюмосиликатных шариков (диаметр частиц $d = 2-5$ мм) приведены на рисунках 2 и 3, из которых определяются $A = 52$, $n = 0.5$, $K = 120$, $\epsilon = 0.6$, $m = 0.25$.

§ 6. *Расчетные уравнения.* Предложенный метод пневмотранспорта крупнозернистых материалов в плотном слое осуществляется по схеме, показанной на рис. 1, с транспортным стволом переменного сечения. Расчет ствола производился из условия, чтобы общий перепад давления по всей высоте ствола определялся уравнением (2). При этом разность абсолютных давлений в начале P_n и в конце P_k ствола определяется уравнением

$$\Delta P = P_n - P_k = \Delta P_n + \Delta P_r. \quad (8)$$

Уравнения (4) и (5) определяют ΔP и ΔP_r для участка небольшой длины, где можно принимать D , γ , ω и β постоянными. Для любого участка ствола переменного сечения (рис. 4) можно записать:

$$dP = \frac{26 (\omega - \beta)^2}{R_k^3 d_s g} \gamma dl, \quad (9)$$

$$dP_r = \frac{120 \beta \omega}{D^3} dl. \quad (10)$$

Интегрированием (9) и (10) получаем уравнения, определяющие потери давления ΔP и ΔP_r для трубы переменного сечения длиной L . Для интегрирования нужно входящие в (9) и (10) переменные величины по высоте трубы D , γ , ω и β выразить постоянными величинами, известными на конечном сечении трубы. Пусть на конце трубы известны давление P_k , удельный вес γ_k и скорость ω_k воздуха, сечение трубы F_k (или диаметр D_k , радиус R_k). Тогда для какого-нибудь сечения, находящегося на расстоянии l от конца трубы (рис. 4), можно написать

$$\omega = \frac{\omega_k F_k P_k}{F P}, \quad (11) \quad \gamma = \gamma_k \frac{P}{P_k}; \quad (12)$$

$$F = \pi (R_k - l \operatorname{tg} \alpha)^2; \quad (13) \quad D = 2 (R_k - l \operatorname{tg} \alpha), \quad (14)$$

где P — давление в данном сечении.

На расчетном участке конусность трубы α принимается постоянной. Тогда, используя уравнения (11—14) и (6), можно проинтегрировать уравнения (9) и (10) при значении l от L до 0 и P от P_k до P_n , в результате чего для общего перепада давления получается:

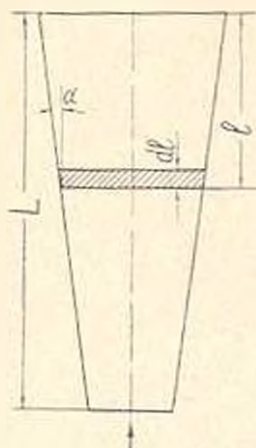


Рис. 4.

$$\frac{2}{W^2} \left| \frac{2M - WP_n}{(M - WP_n)^{0.5}} - \frac{2M - WP_k}{(M - WP_k)^{0.5}} \right| = \frac{N}{2 \lg z} \left[\frac{1}{(R_k - L \lg z)^2} - \frac{1}{R_k^2} \right], \quad (15)$$

где

$$M = \omega_k F_k P_k z, \quad N = \frac{26}{(\pi d_3 z)^{1.5}} \cdot \left(\frac{p_{T_k}}{P_k g} \right)^{0.5}$$

для потерь давления на трение

$$\Delta P_t = \frac{10E}{\lg z} \left| \frac{1}{(R_k - L \lg z)^{0.1}} - \frac{1}{R_k^{0.1}} \right|, \quad (16)$$

где

$$E = 59.49 \left(\frac{W}{z} \right)^{0.25}.$$

Имея в виду уравнения (8) и (16), уравнение (15) можно написать в следующем виде:

$$\begin{aligned} \frac{2}{W^2} \cdot \frac{2M - W \left| P_k + \Delta P_t + \frac{10E}{\lg z} \left(\frac{1}{(R_k - L \lg z)^{0.1}} - \frac{1}{R_k^{0.1}} \right) \right|}{\left| M - W \left| P_k + \Delta P_t + \frac{10E}{\lg z} \left(\frac{1}{(R_k - L \lg z)^{0.1}} - \frac{1}{R_k^{0.1}} \right) \right| \right|^{0.5}} - \\ - \frac{2}{W^2} \cdot \frac{2M - WP_k}{(M - WP_k)^{0.5}} = \frac{N}{2 \lg z} \left| \frac{1}{(R_k - L \lg z)^2} - \frac{1}{R_k^2} \right|. \end{aligned} \quad (17)$$

По известным величинам W , ω_k , F_k , P_k , z , R_k , γ_k , μ , d_3 и ΔP_n методом подбора по уравнению (17) определяется x для трубы длиной L .

§ 7. Методика расчета. Расчет транспортного ствола для заданных L и W производится в следующей последовательности. При известных P_n , φ и W и заданной β_k ($\beta_k = 0, 1 - 0,4$ м/сек) определяется P_k на конечном сечении ствола уравнением (6). Определяются перепады давления ΔP_n , ΔP_t и ΔP на единицу длины в конечном сечении ствола соответственно уравнениями (1), (5) и (2), принимая $l = 1$ м. По уравнению (4) определяется ω , при известном значении ΔP . По уравнению (17) определяется $\lg z$. По уравнению (13) определяется F_n . По уравнению (6) определяется β . По уравнению (16) определяются потери давления на трение ΔP_t по всей высоте L . По уравнению (15) или (8) определяется P_n . По уравнению (11) определяется скорость воздуха в любом сечении ω .

Расход воздуха в любом сечении ствола определяется уравнением

$$Q = \omega (1 - \varphi) F. \quad (18)$$

При расчете ствола по уравнению (17) угол конусности z принимается постоянным. Но учитывая, что x несколько меняется по высоте ствола, рекомендуется расчет производить по частям, начиная сверху ствола, и для каждой части принимать $x = \text{const}$.

По предложенному методу были рассчитаны три трубы для пневмотранспорта алюмосиликатного катализатора высотой в 6,7 м, 15 м и 75 м. Результаты расчетов и испытаний приведены в табл. 1.

Таблица 1
Сопоставление расчетных и опытных данных пневмотранспорта

№ ствола	L, м	D _н , см	D _к , см	По расчету			По опыту		
				G, кг/сек	P _н , атм	Q _а , см ³ /сек	G, кг/сек	P _н , атм	Q _а , см ³ /сек
1	6,7	3,3	4,65	0,2	0,8534	3093	0,202	0,855	3044
2	15	3,67	6,2	0,2	1,7659	4721	0,205	1,753	4500
3	75	31	71,8	27,78	6,3	557500			

Здесь D_н — диаметр нижнего сечения ствола, Q_а — расход воздуха при атмосферном давлении. Как видно из таблицы, опытные данные с достаточной точностью совпадают с расчетами.

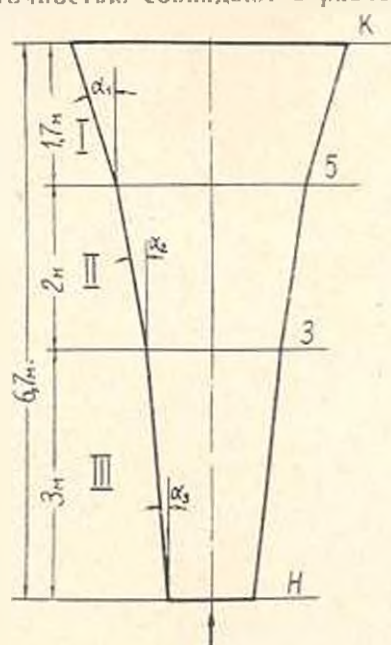


Рис. 5.

Выводы

Вертикальный пневмотранспорт в плотном слое со сравнительно малым расходом энергии и низким давлением можно осуществить в трубе переменного сечения, снабженной ограничителем у выхода. В любом сечении такой трубы общий перепад давления газа должен быть равным сумме потерь давления на вес и трение движущегося

слож. Расчет рекомендуется произвести предложенным в статье методом.

Институт органической химии
АН АрмССР

Поступило 20.II.1967

Ռ. Մ. ՄԻՐՅԱԽԱՆՅԱՆ, Ա. Մ. ԴԱՍՊԱՐՅԱՆ

ԽՈՇՈՐԱԶՄՏԻՎ ԵՅՈՒԹԵՐԻ ԽԵՏ ՇԵՐՏՈՎ ՊԵՆԵՎՄԱՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆ

Ա մ փ ո փ ո ս մ

Պոչը է տրված, որ խոշորահատիկ նյութերի խիտ շերտով պենեմափոխադրումը դրանաձև խողովակներում իրականացնելը աննպատակահարմար է:

Առաջարկվում է խոշորահատիկ նյութերի խիտ շերտով պենեմափոխադրման նոր եղանակ՝ փոփոխական կարվածքի խողովակում: Փոխադրիչ խողովակի կարվածքը ներքևից դեպի վեր պետք է մեծանա այնպիսի օրինաչափությամբ, որ ապահովվի շարժման անընդհատությունը, ճնշման նվազագույն կորուստները և օդի մխիթալ ծախսը:

Էքսպերիմենտալ եղանակով որոշված է ճնշման կորուստների կախումը փոխադրիչ գազի, փոխադրվող մասնիկների և խողովակի նյութի պարամետրներից:

Փոփոխական կարվածքով ուղղաձիգ փոխադրիչ խողովակի շաշվման ամառ արտաձգում են բանաձևեր, որոնց միջոցով շաշված են երևք փոխադրիչ խողովակների՝ 6, 7, 15 և 25 մետր բարձրությամբ, սրանցից առաջին երկուսը պատրաստվել ու փորձարկվի են:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гаспарян А. М., Мирзаханян Р. М. „Известия АН АрмССР (серия ТН)“, т. XIX, № 6, 1966.
2. Гаспарян А. М., Мирзаханян Р. М. ДАН АрмССР, т. XLIII, № 1, 1966.
3. Гаспарян А. М., Мирзаханян Р. М. „Известия АН АрмССР (серия ТН)“, т. XX, № 4, 1967.
4. Рабулов Н. М., Чефранов О. А., Бутин А. Н., Баранова Н. С. „Химия и технология топлива и масел“, № 5, 1961.
5. Фидесев Н. Г., Разумов Н. М., Скобля А. Н., Чефранов О. А. „Известия высших учебных заведений. (Нефть и газ)“, № 11, 1960.
6. Фидесев Н. Г., Егоров Н. Н., Лукьянов П. И. „Химия и технология топлива и масел“, № 1, 1961.
7. Солодовьев А. Е. ДАН СССР, № 3, 1954.
8. Григорян Х. А., Ахмед Э. Э., Кулиев А. М. „Сб. тр. по вопросам нефти и нефтепродуктов“, вып. III, 1958.
9. Макс Лева. Псевдооживление, М., 1961.

ГИДРАВЛИКА, ГИДРОТЕХНИКА

Н. А. ПЕЗДОЙМИНОГА

К ВОПРОСУ О РАСТВОРИМОСТИ ДВУОКИСИ УГЛЕРОДА В ВОДЕ

В статье приводятся результаты исследований по растворимости CO_2 в дистиллированной и минеральной воде на лабораторных установках двух типов и в природных лечебных водах при транспортировании их по трубопроводам. Исследуемые процессы находились в области диффузии. Изучалась предельная растворимость двуокиси углерода при давлении от 0,1 до 0,6 МПа; влияние способа насыще-

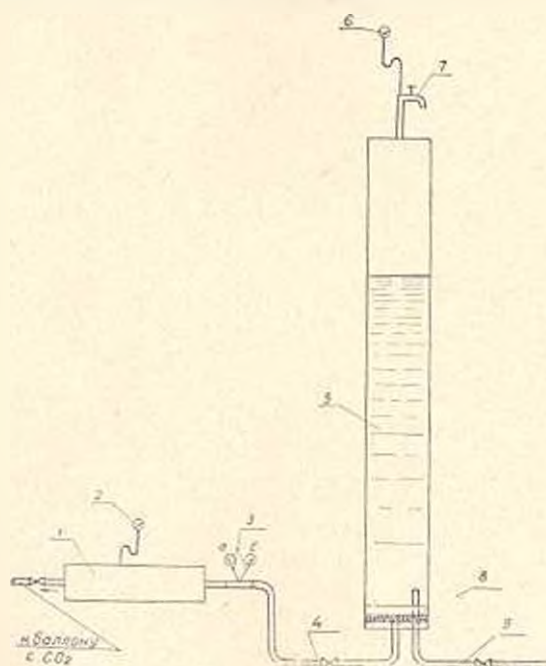


Рис. 1. Установка для насыщения воды углекислым газом путем барботаж: 1—мерный баллон; 2—манометр мерного баллона; 3—редуктор; 4—соединительная трубка с дросселирующим вентилем; 5—стеклянный резервуар; 6—манометр резервуара; 7—концевой кран; 8—барботер; 9—питательная трубка с запорным вентилем.

ния на предельную растворимость газа в воде; скорость растворения газа в воде при разных давлениях.

Предельная растворимость CO_2 в дистиллированной и минеральной воде при разных давлениях определялась экспериментальным пу-

тем на установках с барботированием углекислого газа (рис. 1) и типа КА (качающийся автоклав) (рис. 2). На последней установке также изучалось влияние парциального давления газа на скорость растворения. На функционирующих трубопроводах была выяснена

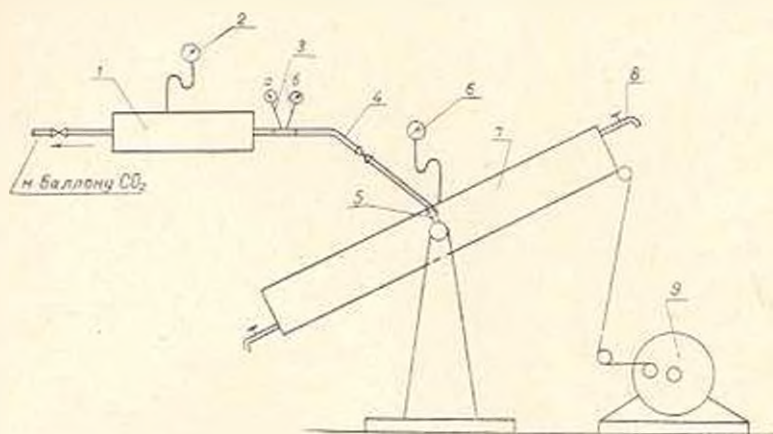


Рис. 2. Установка типа „качающийся автоклав“ для исследования растворимости CO_2 в воде: 1—мерный баллон; 2—манометр мерного баллона; 3—редуктор; 4—соединительная трубка с запорным вентилем; 5—инжекционный наконечник; 6—манометр резервуара; 7—стеклянный резервуар; 8—концевой кран; 9—электродвигатель с приводом.

предельная растворимость газа в углекислых минеральных водах средней минерализации.

При насыщении воды углекислым газом путем барботаж (рис. 1) на манометре 3—6 устанавливалось давление, превышающее заданное на величину напора, необходимого для преодоления давления столба жидкости в резервуаре 5, а также сопротивления при движении газа в соединительных трубках и барботере. Резервуар 5, емкостью $2,0 \text{ дм}^3$ в начале каждого опыта для удаления воздуха наполнялся углекислотой, а затем через питательную трубку 9 туда подавалось $1,5 \text{ дм}^3$ воды. Вытесняемый при этом газ CO_2 отводился через концевой кран 7. В барботере 8 газ дробился на мелкие пузырьки от $0,5$ до $1,0 \text{ мм}$ и подавался в слой воды со скоростью, близкой скорости полного растворения его в жидкости за время поднятия пузырька на поверхность. Предельное насыщение воды углекислым газом наступало при установлении одинакового давления над поверхностью воды и в редукторе по показанию манометров 6 и 3—6. В конце каждого опыта по перепаду давления в мерном баллоне 1 определялся объем газа, участвовавшего в опыте.

В установке типа КА (рис. 2) газ поступал без дробления на пузырьки через инжекционный наконечник 5. Резервуар 7 емкостью $1,04 \text{ дм}^3$ до начала опыта наполнялся CO_2 , а затем, вытесняя газ через кран 8, в него подавалось $0,5 \text{ дм}^3$ воды. Растворению газа в воде способствовало интенсивное перемешивание газожидкостной смеси, создаваемое за счет качания резервуара установки с помощью элек-

тромотора 9. Частота и скорости качания во всех опытах была постоянной (10 качаний в минуту). Расход газа из мерного баллона l в опыте учитывался через интервалы в 1, 2, 3, 7 и 10 минут. Серия опытов, проведенных в течение более продолжительного времени (по 3—4 часа), показала, что растворение газа в воде через 7 минут практически прекращается.

Растворимость углекислого газа в воде определялась с учетом констант Генри по формуле

$$C_p = L \cdot \frac{P_{\text{общ}} - P_{\text{H}_2\text{O}}}{K \cdot X_{\text{CO}_2}} \text{ г/см}^3, \quad (1)$$

где C_p — весовое содержание растворенного газа в водном растворе, $\frac{\text{г газа}}{\text{кг воды}}$;

L — коэффициент растворимости углекислого газа в минеральной воде по данным [1];

$P_{\text{общ}}$ — общее парциальное давление газа и насыщенного пара жидкости, мм рт. ст.;

$P_{\text{H}_2\text{O}}$ — давление насыщенного пара жидкости, мм рт. ст.;

K — константа Генри растворимости CO_2 в воде;

X_{CO_2} — молярная концентрация углекислого газа в воде, равная

$$4.09 \cdot 10^{-1} \frac{\text{кг воды}}{\text{г газа}}$$

Объем газа в установках определялся по формуле

$$W_0^i = [(P_1 - P_2)N + WP_0] \frac{T_0}{(T_0 + t) \cdot P_0} \text{ ндм}^3, \quad (2)$$

где P_1 и P_2 — начальное и конечное давление в мерном баллоне, мм рт. ст.;

N — емкость мерного баллона, дм³;

W_p — объем надводной части резервуара, дм³;

t — температура газа и воды в опыте (°C);

P_0 — нормальное давление газа;

P_b — барометрическое давление, мм рт. ст.

Фактическая концентрация углекислого газа в воде при заданном давлении определялась по формуле

$$C_{\text{ф}} = \frac{W_1^* - W_{p(t)}^*}{W_0} \cdot \gamma \text{ г/дм}^3, \quad (3)$$

где $W_{p(t)}^*$ — объем газа в нормальных условиях в надводной части резервуара при давлении опыта, ндм³;

W_0 — объем воды в установке, дм³;

γ — удельный вес CO_2 в нормальных условиях, г/см³.

Объем газа в надводной части резервуара при давлении опыта рассчитывался по формуле

$$W_{p(t)}^* = W_p \frac{T_0 (P_{\text{общ}} - P_{\text{H}_2\text{O}})}{(T_0 + t) P_0} \text{ ндм}^3. \quad (4)$$

Проверка данных, полученных по приведенным выше формулам производилась путем расчета объема выделившегося газа из установки при снятии давления до атмосферного и определения химическим анализом остаточной концентрации газа в воде. Из-за недостатка места проверочные формулы в настоящей статье не приводятся. Все эксперименты проводились при температуре газожидкостной смеси 24 С и барометрическом давлении 720 мм рт. ст. Во всех опытах в качестве минеральной воды была взята хлоридно-гидрокарбонатно-сульфатная натриево-кальциевая вода. Результаты эксперимента и данные, вычисленные по формулам (1)–(4), представлены на рис. 3. Из ри-

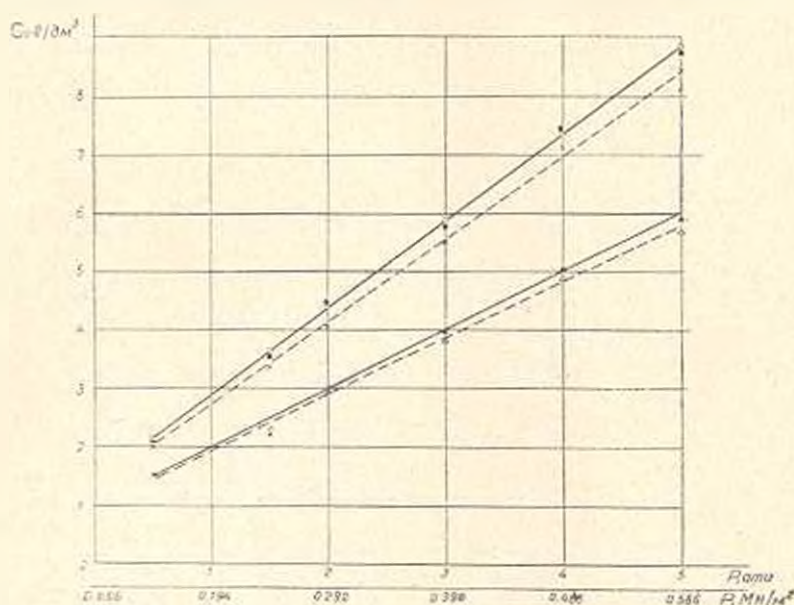


Рис. 3. Предельная растворимость двуокиси углерода на лабораторных установках. Две верхние линии относятся к насыщению воды в статическом режиме; нижние к насыщению на установке КА.

сунка видно, что в статическом режиме растворимость углекислого газа в дистиллированной воде на установке с барботированием его при давлении до 0.6 Мн/м² согласуется с константами Генри. Предельная растворимость газа в воде при интенсивном перемешивании газожидкостной смеси значительно ниже расчетной. Оба способа насыщения дают незначительное снижение растворимости газа в минеральной воде, которая согласуется с коэффициентами В. М. Левченко [1].

По данным скорости растворения газа в дистиллированной воде, полученным на установке типа КА, построены кривые, представленные на (рис. 4). Кривые показывают, что с повышением давления растворимость газа в воде значительно возрастает. При этом с повышением концентрации CO_2 в воде интенсивность растворения его понижается. Аналогичные данные получены и в опытах с минеральной водой (рис. 5).

На основании данных зависимости растворения CO_2 от давления

и начальной концентрации газа в воде определена скорость растворения газа, как функция по времени и построен график (рис. 6). Из графика видно, что максимальная скорость растворения двуокиси углерода как в дистиллированной, так и в минеральной водах при интенсивном перемешивании газожидкостной смеси наблюдается в течение первой минуты. Далее, с возрастанием концентрации газа в растворе

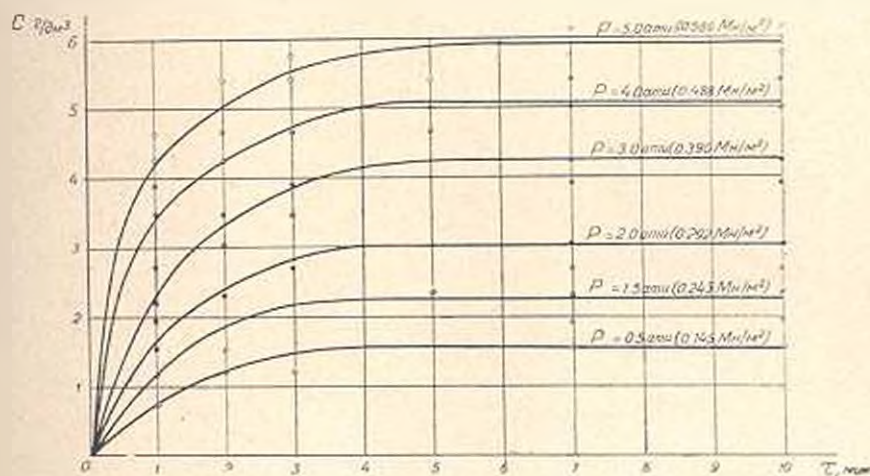


Рис. 4. Растворимость CO_2 в дистиллированной воде на установке типа КА.

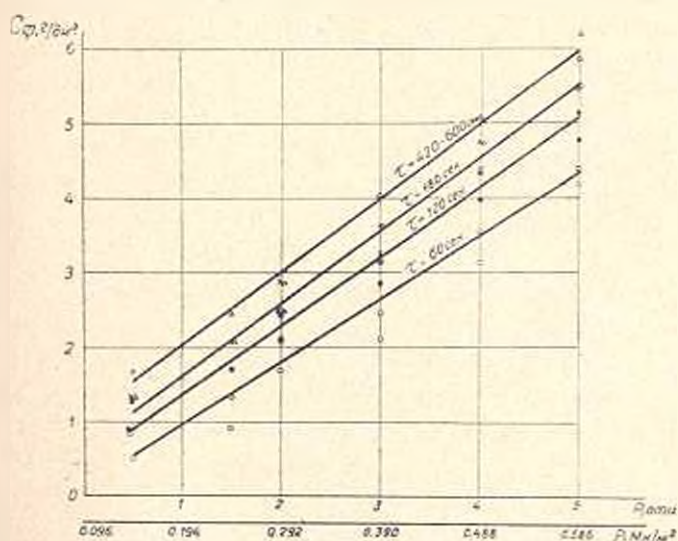


Рис. 5. Растворимость CO_2 в минеральной воде на установке типа КА.

скорость растворения резко снижается. Отметим, что знание скорости растворения CO_2 в воде чрезвычайно важно для дальнейших исследований процесса абсорбции, а также для конструирования аппаратов по насыщению природных лечебных вод уголекислотой и при проектировании и эксплуатации магистральных трубопроводов минеральной воды.

Наряду с лабораторными работами по исследованию влияния

условий на процессы абсорбции двуокиси углерода было прослежено изменение концентрации CO_2 в гидрокарбонатно-хлоридной кальциево-натриевой воде с высоким газосодержанием при транспортировке ее турбулентным потоком по пятикилометровому трубопроводу. На основании опытных данных была определена предельная растворимость

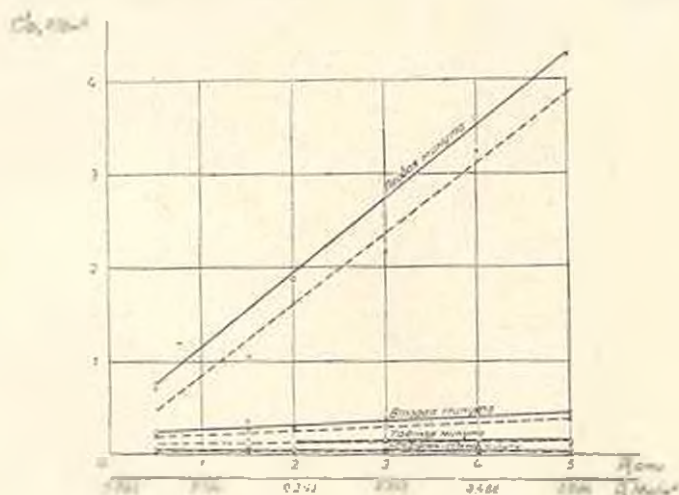


Рис. 6. Зависимость скорости растворения CO_2 от давления и времени на установке типа КА. Кружочки относятся к дистиллированной воде; крестики — к минеральной воде.

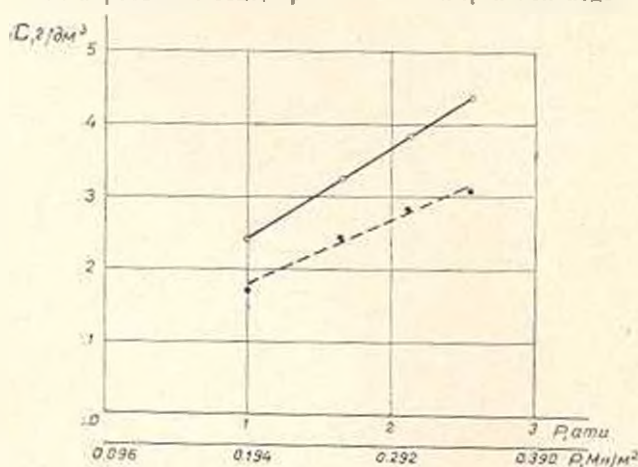


Рис. 7. Предельная растворимость двуокиси углерода в трубопроводе для транспортировки гидрокарбонатно-хлоридной кальциево-натриевой воды с газовым фактором 20, при температуре 30 °C.

углекислого газа в воде, которая, как видно на рис. 7, оказалась значительно ниже расчетной, вычисленной по формуле (1) и весьма близка к полученной нами на лабораторной установке типа КА. Это дает основание считать, что в трубопроводах при транспортировании углекислых минеральных вод, равно как и в эксперименте с интенсивным перемешиванием газожидкостной смеси, будет наблюдаться стационарный процесс.

В ы в о д ы

1. Растворимость CO_2 в дистиллированной воде в статическом режиме под давлением до 0,6 Мн.м², при определенном методе насыщения, следует константам Генри. При этом понижение растворимости газа в минеральной воде с минерализацией до 10 г/д.м³ согласуется с коэффициентами [1].

2. Способы насыщения воды CO_2 , а также режим потока газожидкостной смеси в трубопроводах оказывают существенное влияние на предельную растворимость углекислого газа в воде. При интенсивном перемешивании газожидкостной смеси предельная растворимость CO_2 в воде понижается против расчетной примерно на 30%.

3. Скорость растворения CO_2 в воде возрастает с повышением парциального давления газа в газовой фазе. Наибольшая скорость в стационарных процессах наблюдается в первые минуты насыщения воды газом.

Пятигорский НИИФК

Поступило 10.1.1968

Ն. Ա. ՆԵՋՆՈՅՄԻՆՈՎԱ

ՋՐԻ ՄԵՋ ԱԾԽԱԾՆԻ ԵՐԿՐԵՍՈՒԹՅՈՒՆ ԼՈՒՍԵԼԻՈՒԹՅԱՆ ՀԱՐՅԻ ՇՈՒՐՋԸ

Ա մ փ ո փ ո ս ո ւ

Բնութաբանական է տարրի պայմանների ազդեցությունը ածխածնի Երկրորդի արտադրության պրոցեսի վրա 0,1-ից մինչև 0,6 կգ/սմ² ազդեցության ներքին դեպքում: Քորում և հանքային ջրերում CO_2 -ի լուծելիությունը որոշվել է հատուկ սարքավորումների միջոցով՝ ածխաթթվական զազի բարրությամբ և ճնշվող ալտուկայինների կիրառմամբ: Հաստատված է, որ ջուրը ածխաթթվական զազով հաղեցնելու հզանակները, ինչպես նաև խողովակաշարերում զազաճեղուկային խառնուրդի հոսքի սեփականները էական ազդեցություն ունեն ջրի մեջ զազի պահմանային լուծելիության վրա: Դադային ֆազում զազի մասնական առաձգականության բարձրացման հետ մեկտեղ աճում է CO_2 -ի լուծելիության արագությունը:

Հինգ կիլոմետրանոց խողովակաշարում ուսումնասիրված է CO_2 -ի կոնցենտրացիայի փոփոխությունը բարձր զազապարունակությամբ սնեցող իրողաբանատա-բլորիզային հալցիտային նստրիումական ջրի մեջ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Левченко В. М. О растворимости газов в минеральных водах. Гидрохимический материал, т. XVII, М., 1950.
2. Кречко М. Я. Основные условия транспортирования минеральных вод по трубопроводам. Пятигорск, 1957.
2. ТН. № 3.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

А. А. ГРИГОРЯН

ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОЙ ТРЕНИРОВКИ НА
ПРИПОВЕРХНОСТНУЮ ПРОВОДИМОСТЬ КАРБОРУНДА

Нелинейные полупроводниковые сопротивления на основе приповерхностной проводимости карборунда имеют вольтамперную характеристику, симметричную относительно начала координат, примерная аналитическая зависимость которой записывается в виде

$$I = BU^{\beta}, \quad (1)$$

где

$$\beta = \frac{\alpha_{\max}}{\alpha_{\min}} = \frac{dI}{dU} \cdot \frac{U}{I} \quad (2)$$

называется коэффициентом нелинейности.

Выражение (2) получается из (1) при $\beta = \text{const}$. В действительности вольтамперная характеристика ближе подходит к виду [1]

$$I = \varepsilon_0 e^{\beta_1 U} U. \quad (3)$$

По Я. И. Френкелю вольтамперная характеристика контакта мелкозернистой структуры

$$I = ADUE^{\beta_1 U}, \quad (4)$$

где

$$\beta_1 = \frac{2\pi \sqrt{m\delta}}{h \sqrt{U - \phi_0}} \quad (5)$$

A , D , m , δ , h , ϕ_0 — постоянные.

Аппроксимировать характеристику можно и в виде трехчлена при разложении экспоненты в ряд. Однако до сих пор нет аналитического решения с учетом физических явлений и близких к экспериментальным зависимостям. На практике пользуются упрощенной записью (1). Величину β можно определить по двум точкам характеристики

$$\beta = \frac{\lg \frac{I_2}{I_1}}{\lg \frac{U_2}{U_1}} \quad (6)$$

Другим основным параметром, характеризующим их приповерхностную электропроводность, является классификационное напряжение u_k .

условно принятое при определении тока I_k . Ток выбирается в зависимости от конструкции и величины n_k в диапазоне от 1 до 10 μa .

Образцы изготавливались [1, 2] из карбида кремния (SiC) по керамической технологии. Окончательные электрические параметры сильно зависят от ряда технологических операций при изготовлении. Наблюдалось, что электрические параметры заготовки карборунда зависят от нагрузки [2, 3]. При больших нагрузках вольтамперная характеристика может смещаться. Часто это смещение носит необратимый характер. Проведенные исследования вносят определенную ясность в этот процесс. Можно сказать, что большинство процессов связано с поверхностными явлениями. Как известно, на поверхности зерен карбида кремния существует аморфный слой окисла SiO_2 . Если обжиг заготовок вести в окислительной среде, то этот слой увеличивается, достигая сотен ангстрем. В восстановительной среде, наоборот, эта пленка исчезает. Следовательно, изделия, прошедшие обжиг в той или иной газовой среде, должны иметь разные поверхностные свойства, от которых и зависит электропроводность. В зависимости от полярности прикладываемого напряжения происходят изменения в виде формирования слоев SiO_2 контакта. Эти изменения будут тем больше, чем неоднороднее по гранулометрии порошок. В результате появляется асимметрия в ветвях вольтамперной характеристики. Однако при подаче напряжения обратной полярности эта асимметрия может быть снята. Асимметрию можно определить по формуле:

$$A = \frac{(I_{\text{пр}} - I_{\text{обр}})}{(I_{\text{пр}} + I_{\text{обр}})}, \quad (7)$$

где A — показатель асимметрии;

$I_{\text{пр}}, I_{\text{обр}}$ — значения прямого и обратного токов при одной и той же абсолютной величине напряжения.

Вообще же показатель асимметрии зависит от величины напряжения. На практике можно пользоваться напряжением, равным или меньшим классификационному. Нами установлено, что образцы из зерен $d=80 \mu\text{m}$ с добавкой нескольких процентов зернистости $d < 50 \mu\text{m}$, после окислительного обжига имели асимметрию, иногда достигающую до 50%. Такое явление не наблюдается при большой однородности гранулометрии, особенно, для малой зернистости. При этом эти заготовки после восстановительного обжига практически не имеют асимметрии. Как видно, обжиг не только сжигает связку, но и создает определенные поверхностные свойства контактов. Эти материалы, как и любые, обладают свойством изменять свои параметры во времени. Эти параметры меняются и от первых нагрузок. Причем, изменения могут быть как в направлении увеличения классификационного напряжения, так и в обратном. Чтобы ускорить этот процесс, в производстве вводят режимы искусственного старения. К ним можно отнести термоциклы — резкое охлаждение и нагревание (-60°C — 120°C), длительный прогрев при повышенных температурах ($+150^\circ\text{C}$ — 200°C).

кратковременная импульсная нагрузка (импульсная тренировка). Чтобы исключить возможность появления асимметрии, импульсы берутся двухполярные. В данной работе использованы экспоненциальные импульсы от разряда блока конденсаторов. Амплитуда напряжения берется несколько больше практически допустимой предельной амплитуды импульсов. Длительность импульса и частота их следования очень мала, чтобы исключить перегрев от выделяемого тепла. Ранее допускали [1], что от таких перегрузок классификационное напряжение сопротивлений уменьшается, что выделяющаяся пиковая мощность приводит к пробоям плохих контактов между зернами карбида кремния и к разрушению оксидных пленок на поверхности кристаллов. Проведенные нами исследования показали, что импульсная тренировка не всегда приводит к понижению классификационного напряжения. Не редки случаи, когда это напряжение растет. Изменения приконтактных слоев от такой тренировки возможны от действия сильного электрического поля, а также от выделения большой тепловой мощности в микрообласти. В зависимости от преобладания одного из этих факторов ветвь вольтамперной характеристики может сдвигаться влево или вправо, т. е. в область больших или малых токов. Действие сильного поля наблюдается при малых токах и высоком напряжении, при этом уменьшается активная ширина зазора между зернами. Слой SiO_2 обогащается ионами Si за счет адсорбированных ионов кислорода, образуется положительный объемный заряд, уменьшающий работу выхода на одном из контактов. При больших же токах контактные области выгорают, происходит дополнительное окисление кремния, т. е. расширение ширины зазора. При очень больших электрических мощностях наблюдается пробой контактов. Однако даже после пробоя образцы в целом сохраняют нелинейные свойства.

В табл. 1 приведены значения электрических параметров образцов после импульсной тренировки. Как видно изделия, прошедшие кислородный обжиг, менее стабильны, нежели прошедшие обжиг в водороде. При этом у последних импульсная формовка еще более уменьшает их асимметрию и несколько коэффициент нелинейности.

В табл. 1 величины n_d указаны при токе 10 мА. Знаки плюс или минус условно показывают соответственно увеличение или уменьшение коэффициента нелинейности. В среднем $n_d=3$. В процессе обжига в газовых средах, а также импульсных нагрузок происходят сложные и непонятные процессы как на контактах зерен, так и внутри них. Если предположить, что при этом возникает градиент концентрации примесей по радиусу зерен, то за счет уравнивания диффузионных и дрейфовых составляющих тока внутри кристалликов должно возникнуть электрическое поле, направленное по радиусу.

Вокруг центра кристалла или зерна будет протекать процесс рекомбинации и генерации носителей. Изучение этой картины связано со сложностью решения нелинейного дифференциального уравнения непрерывности потока носителей, причем, пока совершенно не ясно

Таблица 1

Обжиг в восстанов. среде					Обжиг в окисл. среде				
до импульсной тренировки		после импульсной тренировки			до импульсной тренировки		после импульсной тренировки		
$U_k, \text{в}$	$A, \%$	$U_k, \text{в}$	$A, \%$	β	$U_k, \text{в}$	$A, \%$	$U_k, \text{в}$	$A, \%$	β
63	0	60	2	0	81	8	73	6	0
22	3	20	2	—	67	2	58	8	+
90	4	91	0	—	69	4	62	6	—
44	2	40	0	+	61	2	51	10	—
45	4	42	2	—	61	2	63	4	—
31	6	39	2	—	60	8	63	12	—
26	0	25	1	—	68	0	67	6	—
29	6	23	0	—	72	2	62	4	+
39	1	38	0	+	76	4	69	6	0
42	2	44	2	—	63	4	56	12	+

картина внутри кристалла. На поверхности, видимо, преобладает явление туннельного эффекта. Не исключено и лавинное размножение носителей, что подтверждается слабой температурной зависимостью образцов. Подлежит дополнительному исследованию и фактор влияния формы импульсов на электрические свойства образцов. Для экспоненциальных двуполярных импульсов, особенно, сказываются первые 2-3 импульса. По затронутым вопросам намечаются дальнейшие исследования.

Резюмируя сказанное, отметим, что в зависимости от режима перегрузок по току или по напряжению вольтамперная характеристика карборунда подвержена изменению соответственно в область роста или уменьшения классификационного напряжения.

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса

Поступило 15.III.1968

Ա. Ա. ԿՐԻՍՏՅԱՆ

ԻՐԱՎԱԿԱՆ, ԲԵՆԵԿԱՑՈՒԹՅԱՆ ԱԶԳԵՅՈՒԹՅՈՒՆԸ
ԿԱՐԲՈՐԱՆԻՔԻ ՈՒՍԿԵՐԵԼՈՒԹՅԱՆ ՇԵՐՏԻ ՇՈՂՈՐԴԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ

Ա. Ա. Կ Ր Ո Յ Ն

Հաղվածում դիտվում է կարբոնիդի վոլտ-ամպերային բնութագրերի ափսոհարիկ բնույթը, ջուլը է արված նրանց կապը կլանելության ամպեր-հատկանիշային և ջերմամշակման պարամետրերի հետ: Բերված են կարբոնիդի փորձանմուշների լարումների ու հզորությունների նաածակման ուժի մեծացումը էրապենեյիայ իսոպոլոներով բեռնավորելիս առաջված փորձալարական արդյունքները: Ցույց են արված SiC-ի էլեկտրահաղորդականության մեծացման ու նվազեցման պարամետրերը կախված իսոպոլոնային բեռնվածության ձևից:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Пасынков В. В., Сивельев Г. А., Чиркин Л. К. Нелинейные полупроводниковые сопротивления и их применение. Судпромгиз, 1962.
2. Колодинец Б. Т., Караченцев А. Я. Радио, № 9, 1965.
3. Пружинина-Грановская В. И. Импульсный пробой зерен карборунда и поведение комплекса зерен при воздействии импульсов тока. ЖТФ, т. 25, вып. 1, 1955.

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

М. А. КАРАПЕТАН

ИЗМЕРИТЕЛЬ ЕМКОСТИ ПРИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЕ

Измерение емкостей при высоких частотах производится двумя методами: мостовым и резонансным. Приборы, основанные на этих методах сложны и каждое отдельное измерение довольно длительно. Погрешности указанных приборов, в редких случаях, меньше 10^{-3} (см., например, [1], [2]). Ниже предлагается новый метод измерения емкостей при высоких частотах, выгодно отличающийся от существующих своей простотой в исполнении и достаточной точностью в измерении. Принципиальная схема измерителя (рис. 1) состоит из последовательно включенных образцовых катушек индуктивности L_0 , емкости C_0 и источника э.д.с. высокой частоты. При условии

$$2\pi f_0 L_0 = \frac{1}{2\pi f_0 C_0} \quad (1)$$

где f_0 — частота, при которой проводится измерение при подключенном конденсаторе C_x с неизвестной емкостью

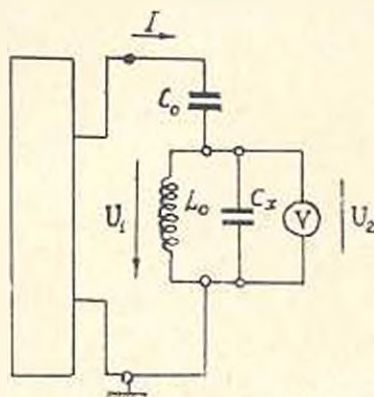


Рис. 1.

$$U_2 = U_1 \frac{X_{Cx}}{X_{C_0}}$$

Откуда

$$C_x = C_0 \frac{U_1}{U_2} \quad (2)$$

Таким образом, отградуировав вольтметр в единицах емкости, процесс измерения неизвестной емкости можно превратить в операцию подключения измеряемого конденсатора к зажимам C_x и отбора отсчета по шкале вольтметра. Однако (2) получено для условий, когда потери в образцовой катушке L_0 и измеряемом конденсаторе C_x пренебрежимо малы. Выясним влияние потерь энергии в катушке L_0 и конденсаторе C_x на точность измерения емкости. На рис. 2 изме-

реемый конденсатор представлен эквивалентной последовательной схемой. Тогда сопротивление потерь конденсатора можно представить в виде

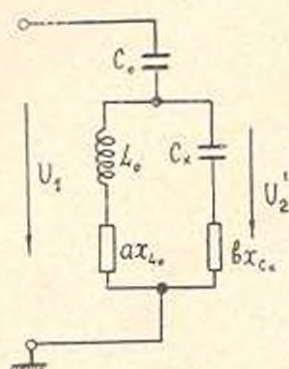


Рис. 2.

$$r_1 = bX_{C_x},$$

где

$$b = \operatorname{tg} \delta_{C_x}.$$

Активное сопротивление потерь катушки

$$r_k = aX_{L_0}.$$

Здесь $a = \frac{1}{Q_k}$, где Q_k — добротность катушки.

Пренебрегая величиной a^2b^2 для напряжения в параллельной части цепи, получим

$$U_2 = U_1 \sqrt{\frac{X_{C_x}^2(1+a^2+b^2)}{a^2X_{C_x}^2 + (1+a^2)X_{L_0}^2 + 2aX_{L_0}X_{C_x}(a+b)}}. \quad (3)$$

Шкала прибора должна быть отградуирована согласно (2), а в действительности будет измеряться емкость

$$C'_x = \frac{U_1}{U_2} C_0. \quad (4)$$

Относительная погрешность измерения емкостей в процентах определяется из выражения

$$\varepsilon_{\%}^0 = 100 \left(\sqrt{\frac{a^2d^2 + 1 + a^2 + 2ad(a+b)}{1 + a^2 + b^2}} - 1 \right), \quad (5)$$

где

$$d = \frac{C_0}{C_x}.$$

Результаты подсчета ошибок для различных значений a , b и d привели к выводу, что систематическая погрешность измерений, вызванная пренебрежением сопротивлениями потерь, практически равна нулю, если

$$a \leq 0,01, \quad b \leq 0,01, \quad d < 10. \quad (6)$$

Таким образом, данный метод применим для измерения емкости конденсаторов, у которых $\operatorname{tg} \delta \leq 0,01$.

Первые два условия легко могут быть осуществлены при высокой частоте. Поэтому данный измеритель лучше всего применить при высокой частоте.

Известно, что паразитные емкости элементов измерительных схем являются источниками значительных погрешностей при высокой частоте. Для уменьшения этих погрешностей часто применяются специальные меры, которые ведут или к усложнению и удорожанию прибора (мостовые приборы), или к увеличению длительности одного единичного измерения (резонансные приборы).

Покажем, что предложенный метод измерения емкостей свободен от этих погрешностей. Все паразитные емкости цепи можно объединить в две эквивалентные емкости C_n и C_{nk} . В C_n входят паразитные емкости незаземленных проводов, обкладок конденсатора C_0 по отношению к корпусу прибора или экранов, а в C_{nk} — межвитковая емкость и емкость проволоки обмотки катушки по отношению к корпусу (рис. 3). Ток через емкость C_n не участвует в создании падения напряжения U_2 и, следовательно, не влияет на показания вольтметра. Из (1) следует, что при изготовлении прибора образцовые катушка и конденсатор должны быть настроены в резонанс при частоте f_0 (при отсутствии конденсатора C_x). А это значит, что в резонанс настраивается цепь рис. 3, за исключением емкости C_n . Индуктивность реальной катушки, настроенной в резонанс, есть $L_0 + L_0$. Величина резонансной емкости образцового конденсатора C_n , полученная экспери-

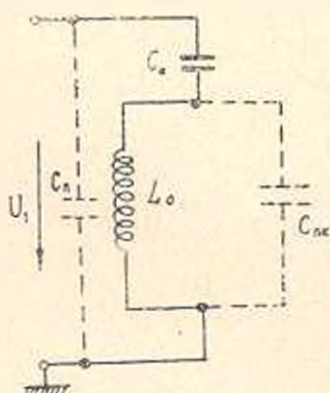


Рис. 3.

ментальным путем, учитывает наличие паразитной емкости катушки C_{nk} . В выражениях (1) и (2) под символами C_0 , L_0 подразумеваются именно емкость C_0 и индуктивность L_0 . Таким образом доказывается отсутствие влияния паразитных емкостей на точность измерений. Это является важным преимуществом предложенного метода. Недостатком данного измерителя является гиперболический характер шкалы вольтметра, отградуированной в единицах емкости. Действительно,

$$\frac{\partial C_x}{\partial U_2} = -\frac{U_1 C_0}{U_2^2} \quad \text{при} \quad U_2 = 0,1 U_1, (C_x = 10 C_0), \quad \frac{\partial C_x}{\partial U_2} = -100 \frac{C_0}{U_1}.$$

$$\text{Тогда как при} \quad U_2 = 10 U_1 (C_x = 0,1 C_0), \quad \frac{\partial C_x}{\partial U_2} = -0,01 \frac{C_0}{U_1}.$$

Гиперболический характер шкалы измерителя емкости может привести к значительным погрешностям при $C_x \gg C_0$, т. е. при $U_2 \gg U_1$. Чтобы избежать этих погрешностей, следует применить многопредельный вольтметр с расширенной шкалой для напряжений $U_2 \ll U_1$. Применение многопредельных вольтметров, с другой стороны, значительно расширяет диапазон измеряемых емкостей при данной величине образцовой емкости C_0 . Это приводит к выводу, что соблюдение условий (6) и использование многопредельного вольтметра дает возможность измерять емкости широкого диапазона $C_x > 0,1 C_0$ без основной систематической погрешности.

Случайная относительная среднеквадратичная погрешность измерения, согласно (2), определяется по формуле

$$\frac{\Delta C_x}{C_x} = \sqrt{\left(\frac{\Delta U_1}{U_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U_2}{U_2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C_0}{C_0}\right)^2}. \quad (7)$$

Если измеритель снабдить генератором со строго фиксированным напряжением U_1 , величину емкости C_0 определить с очень высокой точностью, то случайная погрешность измерения емкости определится погрешностью вольтметра, измеряющего U_2 .

$$\frac{\Delta C_x}{C_x} = \frac{\Delta U_2}{U_2}. \quad (8)$$

Таким образом, класс точности вольтметра и характеризует точность измерения емкостей данным методом.

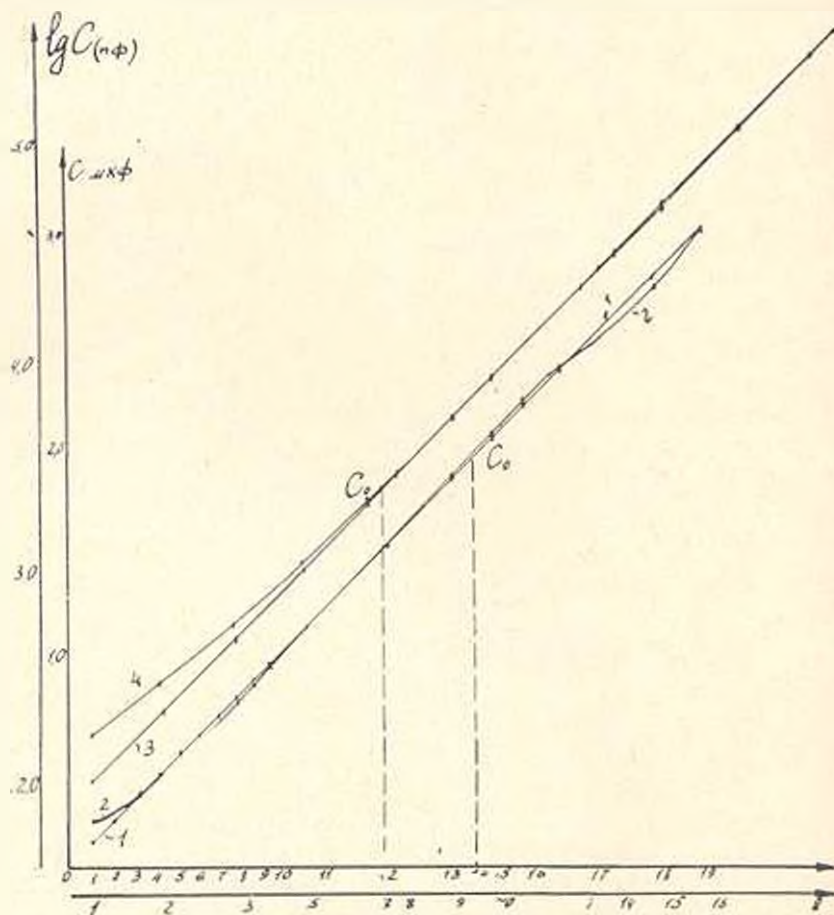


Рис. 4.

Результаты проверки двух макетов измерителя емкостей приведены на рис. 4. В качестве образцовых конденсаторов в макетах использованы магазины емкостей Р-513 типа МЕРП. Цепь питалась от генератора 13—33.

Такие же магазины использованы и в качестве измеряемых конденсаторов. Такой выбор измеряемых конденсаторов объясняется тем,

что 10^5 магазинов при емкостях $C > 0,002$ мкф меньше 0,01, что требуется условием (б). В качестве образцовых катушек в первом макете использована катушка ручного изготовления, во втором катушка типа Р-517. Величины емкостей C_0 и добротностей контуров $Q \approx U_0/U_1$, определенные экспериментальным путем, для макетов оказались равными:

$$C_0 = 1.913 \text{ мкф}; Q \approx 29; (f_0 = 5 \text{ кгц}).$$

$$C_0 = 0,0024 \text{ мкф}; Q \approx 55; (f_1 = 10 \text{ кгц}).$$

По оси абсцисс отмечены условные номера конденсаторов, подвергшихся измерению.

По оси ординат отложены величины емкостей (в мкф) для кривых 1, 2 и логарифмы величин емкостей (в мкф) для кривых 3, 4.

Ординаты кривых 1, 3 равны соответственно величинам емкостей и их логарифмам, а кривых 2, 4 — величинам емкостей и их логарифмам, полученным в результате измерения.

Как следует из рис. 4, результаты измерения удовлетворительны для первого макета при $C_x > 0,2 C_0$, для второго макета при $C_x > C_0$. Погрешности измерений емкостей в указанных диапазонах не превышают 2,7%.

На основании изложенного можно отметить, что процесс измерения неизвестной емкости представляет собой операцию подключения измеряемого конденсатора к зажимам C_x прибора и отбора отсчета по шкале вольтметра. Иначе говоря, измерение осуществляется мгновенно. Систематическая погрешность измерителя, обусловленная пренебрежением активными сопротивлениями потерь, равна нулю, если добротность элементов измерительной схемы и испытываемого конденсатора $Q > 100$ и измеряется емкость $C_x > 0,1 C_0$.

Паразитные емкости измерительного контура прибора не вносят погрешности в измерении емкости. Применение многопредельного вольтметра расширяет диапазон измеряемых емкостей.

Если генератор изготовлен с фиксированной частотой f_0 и напряжением U_1 , измеритель — с фиксированным условием $2\pi f_0 C_0 = \frac{1}{2\pi f_0 C_0}$, то ошибка измерений емкости $C_x > 0,1 C_0$ определяется погрешностью измерения напряжения U_0 вольтметром. Применение для этой цели вольтметра 0,5 класса превратит прибор в один из наиболее точных измерителей емкостей при высокой частоте. Предложенный измеритель может быть применен также для непрерывного измерения емкостей в различных системах автоматического контроля. В дальнейшем намечается проведение испытаний измерителя при радиочастотах и добротностях $Q > 100$.

Автор выражает благодарность проф. Д. М. Казарновскому за ценные советы, учтенные при написании статьи.

II. ԼԻՏԵՐԱԿՈՆԱԿՆԵՐ

ՌԻՆԱԿԱԶՍՓ ԲԱՐՁՐ ՀԱՃԱԽՈՒԹՅԱՆ ՀՈՍԱՆՔՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ

Ա մ փ ո փ ո ո մ

Հոդվածը նվիրված է բարձր հաճախության հոսանքների դեպքում ունակությունը չափելու համար առաջարկվող պարզագույն կառուցվածքի նոր տարրի տեսությանն ու փորձարկման արդյունքներին:

Սարքի չափման շղթան բաղկացած է 2 էլեմենտից՝ փաստորեն անկորուստ կոճից և կոնդենսատորից, որոնք միացված են հաջորդաբար և պահվում են ուղղանկյունի մեջ: Ունակության մեծությունը որոշվում է չափվող կոնդենսատորը կոճին ղուլպա հոսմանց նկատմամբ՝ ելնելով նրանց վարչական լարման անկման չափից: Չափման շղթայի սխալի տեսական վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ անսխալ արդյունքներ ստանալու համար կոճը և չափվող կոնդենսատորը պետք է ունենան 100 և ավել լավորակություն: Այդ դեպքում չափումը զերծ է չափման կոնտորի պարադիտային պարամետրերով պայմանավորված սխալից, որը խիստ կախված է հաճախությունից: Սարքի փորձնական նմուշի ստուգման արդյունքները համեմակնում հաստատում են տեսական հաշվարկները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Казарновский Л. М., Тареев Б. М. Испытания электронизолационных материалов. М., 1963.
2. Ремез Г. А. Курс основных радиотехнических измерений. М., 1966.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Т. А. ГОРОЯН, Т. Г. МАРКАРЯН, С. А. ПИРУЗЯН, Л. В. ШАХСУВАРЯН

О НЕКОТОРЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ ИНЖЕНЕРНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ТАШКЕНТСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 1966 ГОДА

В статье приводятся некоторые результаты инженерного обследования последствий ташкентского землетрясения 26 апреля 1966 г. и последующих сильных афтершоков по материалам комплексной научной экспедиции Института стройматериалов и сооружений Госстроя АрмССР и Института геофизики и инженерной сейсмологии АН АрмССР, руководимой академиком АН АрмССР А. Г. Назаровым. По данным большинства исследователей [1, 2, 3], максимальная интенсивность землетрясения 26 апреля в центральной части г. Ташкента, на площади около 10 км², проявилась силой 8 баллов по шкале ГОСТ 6912—52. Экспедиция начала свою работу 5 июня 1966 г. К этому времени уже имели место несколько сильных и умеренной силы афтершоков. Наиболее значительные афтершоки произошли 10 и 24 мая, 5 и 29 июня, а также 4 июля. Это обстоятельство не могло иметь заметных искажений в общую картину деформаций зданий и сооружений, поскольку влияние повторных сильных толчков на увеличение степени повреждения построек было незначительным [1].

Сейсмотектоника территории г. Ташкента и Приташкентского района чрезвычайно сложна и мало изучена. По-видимому, это объясняется тем, что территория ташкентского оазиса, расположенного на предгорной равнине, заполнена мощной толщей четвертичных и современных осадочных отложений. В ближайших окрестностях Ташкента на поверхности земли не обнажаются ни древние породы, ни пликативные, либо дизъюнктивные структуры — тектонические разрывы. Однако восточнее Ташкента, в системе горных хребтов Угамского Пскемского и Каржантау, имеются активные тектонические разрывы северо-восточного простирания, которые в прошлом порождали сильные землетрясения. Здесь налицо и признаки новейших и современных тектонических движений. Очень возможно, что указанные разрывы нарушения продолжаются под Ташкентом на значительной глубине, что подтверждается результатами бурения и геофизических работ последних лет [4].

Некоторые, пока предварительные, данные геофизических исследований говорят в пользу наличия разрывных нарушений и противоположного—сенеро-западного простирания [4]. Конечно, не исключена возможность пересечения этих зон разломов под территорией города. В таком случае этот дизъюнктивный узел (как и в случае других сейсмоактивных областей, в частности Приереванского района в Армении [5]), вероятно, и явился первопричиной порождения ташкентского землетрясения. Наличие такого узла, если он на самом деле существует, и в дальнейшем не раз будет источником возникновения местных разрушительных землетрясений.

При проведении обследований экспедицией был собран довольно богатый материал почти по всем видам построек, а именно: по домам из самана и обожженного кирпича, по зданиям из монолитного и сборного железобетона, по крупнопанельным домам и т. д. Поскольку по описанию характера повреждений отдельных видов построек и их анализу имеется ряд опубликованных работ, то во избежание повторения остановимся на тех некоторых характерных моментах, которые пока мало освещены в литературе.

Анализ последствий ташкентского землетрясения позволяет составить некоторое представление о сейсмостойкости железобетонных каркасных зданий, хотя и при оценке интенсивности землетрясения описательная часть действующей шкалы ГОСТ 6249—52 к железобетонным конструкциям не применима.

При интенсивности землетрясения около 8 баллов следовало ожидать появления повреждений в несущих элементах каркаса. Однако, обследование зданий, выполненных в железобетонном каркасе, показало, что в основном они хорошо сопротивлялись сейсмическим воздействиям и лишь в некоторых случаях имелись более или менее значительные повреждения в несущих конструкциях (здание кафе по ул. Куйбышева, кухня ресторана гостиницы „Россия“, Дворец водного спорта и др.). Повреждения несущих элементов на этих объектах являются результатом действия нескольких факторов, в том числе: неполного учета характера действия сейсмических нагрузок на прочностные характеристики материалов, качества проектирования и производства строительных работ.

Как показывают результаты обследований сильных землетрясений, имевших место за рубежом, большая часть повреждений железобетонных рамных конструкций связана с воздействием поперечных сил, приводящих к хрупкому разрушению по наклонным сечениям [6]. Анализ акселерограмм землетрясений показывает, что при любом землетрясении имеются пиковые циклы, значительно превышающие средние значения. При расчете наклонных сечений, действующими нормами (СНиП II—В. 1—62), это обстоятельство не учитывается так же, как и не учитывается динамический характер действия сейсмических сил. Экспериментальные работы, проведенные в Армянском НИИ строительных материалов и сооружений [6], показали, что при немногочислен-

ных циклических нагружениях сейсмического типа фактическая несущая способность железобетонных элементов по наклонным сечениям почти на 50% ниже, чем теоретическая, определяемая по СНиП. Объяснение столь большого расхождения в несущих способностях, по-видимому, следует искать в правильности расчета наклонных сечений по СНиП II—В. 1—62 при нагрузках сейсмического типа. Именно действию этого фактора следует приписать хрупкое разрушение железобетонных колонн здания кафе по ул. Куйбышева и фонаря кухни ресторана гостиницы „Россия“. В последнем случае немаловажную роль играла также ошибка, допущенная при строительстве: вместо предусмотренной проектом кровельной засыпки толщиной 15 см на месте оказалось 40 см. Это привело к увеличению горизонтальной сейсмической нагрузки на уровне покрытия и способствовало разрушению по наклонным сечениям всех 8 колонн фонаря (сечением 25×25 см). Плохому качеству производства строительных работ следует приписать разрушение несущих колонн бассейна Дворца водного спорта. При бетонировании колонн образовались швы, по которым и произошло разрушение. Во время обследований из этих швов извлекались опилки, щепки и грунт.

Небезынтересно отметить, что сборные железобетонные каркасные здания, узлы которых осуществлены сваркой, не потерпели никаких повреждений или заметных на глаз деформаций. В числе обследованных зданий, находящихся в центральной части города, т. е. в восьмibalльной зоне, были как многоэтажные (6-этажный корпус электролампового завода, 4-этажный корпус Дома модели, 2-этажное здание отдельного корпуса Дома модели с залом 18-метрового пролета на втором этаже и др.), так и одноэтажные. Не вдаваясь в подробности при оценке сопротивляемости сварных узлов сборных каркасных зданий, так как число обследованных объектов ограниченное, тем не менее можно отметить, что сварные узлы хорошо сопротивлялись динамическим воздействиям сейсмического типа. Подтверждением этого могут служить положительные результаты, полученные касательно сварных узлов крупнопанельного кассетного дома при экспериментальных исследованиях моделей его отсека на вынужденные колебания и импульсивные воздействия [7].

Сравнение степени поврежденности многоэтажных жилых зданий с несущими стенами из обожженного кирпича, запроектированных и построенных с учетом и без учета требований прежних норм СН-8-57, показывает довольно заметную разницу в характере их поведения. В последнем случае повреждения более существенны; появились не только многочисленные трещины в простенках, перемычках и подоконных частях, но и сквозные трещины в примыканиях продольных и поперечных капитальных стен. Деревянные перекрытия, не имеющие достаточную жесткость, не могли обеспечить отведенную им роль жестких дисков в общей пространственной работе здания.

В качестве примера можно привести группу 3-этажных жилых домов возле Саперной площади.

Обоснованность требований действующих норм СНиП II-A.12-62, предъявляемых к каменным зданиям, подтверждается на примерах тех зданий, которые запроектированы и построены с соблюдением этих требований (конечно, при хорошем качестве строительных работ). В этих зданиях повреждения носили локальный характер в виде незначительных трещин, большей частью в стенах лестничной клетки, появление которых не исключается нормами (например: 5-этажное здание по ул. У. Юсупова, 5-этажное здание на Саперной площади, рядом с указанными трехэтажными домами).

Обследование показало, что в зданиях, построенных в последние годы, не всегда полностью осуществлены конструктивные мероприятия, предусмотренные проектом из оснований требований норм сейсмостойкого строительства. Так, например, в Доме быта по ул. У. Юсупова самонесущие торцовые стены, будучи ненадежно связанные с железобетонным каркасом, получили повреждения. В другом случае (новая школа во втором секторе Высоковольтного массива) недостаточная глубина заделки сборных перемычек и отсутствие связи между ними из монолитного железобетона стали причиной повреждения простенков сквозными трещинами.

Согласно одному из основных принципов сейсмостойкого строительства, резкое изменение жесткости по высоте здания считается не целесообразным, так как оно приводит к сильному возрастанию влияния высших форм колебаний и к так называемому „эффекту бича“. Ташкентское землетрясение подтвердило правильность этого принципа. В качестве примера можно привести угловой отсек 5-этажного жилого дома по ул. Навои, 21. Последний этаж этого дома, осуществленный в виде легкой надстройки, по своей жесткости резко отличается от жесткостей остальных этажей (рис. 1). Несущие стены последнего этажа получили серьезные повреждения, появились сквозные, крестообразные трещины во всех стенах (рис. 2), между тем как в стенах остальных этажей никаких повреждений не было обнаружено. Другим примером может служить здание механического факультета ТашПИ, в башенной части которого образовалась сквозная трещина по всему периметру и верхняя часть башни сдвинулась с поворотом в горизонтальной плоскости.

Обследование поведения сборных железобетонных перекрытий и покрытий каменных зданий показало, что на целом ряде зданий качество устройства перекрытий не отвечало требованиям действующих норм, согласно которым последние должны играть роль жестких диафрагм, распределяющих сейсмическую нагрузку между несущими элементами пропорционально их жесткостям. Между тем, довольно существенные повреждения несущих стеновых конструкций ряда зда-



Рис. 1. Общий вид углового отсека жилого дома по ул. Навои, 21 в г. Ташкенте.



Рис. 2. Характер разрушения стен верхнего этажа углового отсека жилого дома по ул. Навои, 21 при ташкентском землетрясении 26 апреля 1966.

ний (детсад и детясли в Высоковольном массиве, детсад № 327 по II Строительному проезду ул. Навои, здание ТашПН и др.) следует приписать нарушениям этих требований: в этих зданиях наблюдалось раскрытие швов замоноличивания между сборными железобетонными з. тн, № 3

панелями перекрытий. Более того, из-за эллиптического характера землетрясения с преобладанием высокочастотных колебаний порядка 10 гц [1], панели перекрытия подверглись действию вертикальной сейсмической нагрузки, по-видимому, в околорезонансной зоне и в отдельных случаях наблюдались трещины посредине их пролетов (здание строящейся школы в районе Высоковольного массива, здание Октябрьского райкома по ул. Навои и др.). Для указанного школьного здания характерно, что трещины имели место только в панелях чердачного перекрытия, имеющих свободное опирание и в момент землетрясения находившихся под эксплуатационной нагрузкой. Примечательно, что в перекрытиях рядом стоящего 4-этажного жилого дома не образовались трещины: возможно, из-за частого расположения внутриквартирных перегородок, служивших дополнительными опорами для панелей перекрытий и увеличивавших частоту их свободных колебаний. Эти обстоятельства указывают на то, что в некоторых случаях расчет перекрытий следует нести с учетом вертикального воздействия сейсмической силы и нужно отыскать иные способы замоноличивания панелей перекрытия, обеспечивающие их совместную работу.

АНСМ, ИГНС

АН АрмССР

Поступило 22.XII.1967.

Տ. Ա. ԳՈՐՅԱՆ, Խ. Գ. ՄԱՐԴԱՅԱՆ, Ս. Ա. ՓԻՐՈՅԶՅԱՆ, Լ. Վ. ՇԱՄՈՎԱՐՅԱՆ

ՏԱՇԳԵՆՏԻ 1966 ԹՎԱԿԱՆԻ ԻՐԿՐԱՇԱՐԺԻ ՀԵՏԵՎԱՆՔՆԵՐԻ ԻՆՏԵՆՍԻՏԻՎՈՆ ՀԵՏԱԶՆՆՈՒԹՅԱՆ ՈՐՈՇ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԸ

Ա մ փ ո փ ու մ

Հողվածում բերված են Տաշքենտի 1966 թվականի ապրիլի 26-ի երկրաշարժի ու հետագա ստորերկրյա ջնցումների հետեանքների ինժեներական ինտելիգենցիայի որոշ արդյունքները՝ ըստ ՀՍՍՀ Պետքինի շինանյութերի ու կառուցվածքների ինստիտուտի և ՀՍՍՀ ԳԱ ղեկավարի կազմի ու ինժեներական սեյսմոլոգիայի ինստիտուտի կոմպլեքսային գիտական արշավախմբի նյութերի ճշգրիտ է Տաշքենտ քաղաքի տերիտորիայի սեյսմակրկրտրանական համառոտ նկարագիրը:

Նկարագրված են մոնոլիտ և հավաքովի երկաթբետոնե կառուցվածքների աշխատանքի բնույթի որոշ առանձնահատկությունները 7—8 րանային երկրաշարժի ժամանակ: Վերլուծության է ենթարկված բնակելի ու հասարակական բարձր շենքերի վնասվածքների բնույթը և զրանց առաջացման պատճառները: Նշվում են շենքերի ու կառուցվածքների համեմատաբար մեծ աստիճանի վնասվածության պատճառները հանդիսացող հիմնական գործոնները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Мартымянов А. Н. Об оценке интенсивности ташкентского землетрясения 1966 года и последующих толчков. «Строительство и архитектура Узбекистана», № 2, 1967.

2. *Коринякин И. Л., Ржевский В. А., Улюев С. Т.* Некоторые уроки ташкентского землетрясения. „Строительство и архитектура Узбекистана“, № 3, 1967.
3. *Расказовский В. Т., Рашидов Т. Р., Мартынянов А. И., Абдурашидов К. С.* Определение границ сейсмических зон ташкентского землетрясения 1966 г. „Строительство и архитектура Узбекистана“, № 5—6, 1967.
4. *Гариков Г. И.* Землетрясение в Ташкенте. Геологические условия его возникновения. „Природа“, № 9, 1966.
5. *Пирулян С. А.* Новые данные по сейсмотектонике большого ерванского района. „АН АрмССР“, т. XI.1, № 4, 1965.
6. *Горян Т. А.* О несущей способности железобетонных элементов по наклонным сечениям при сейсмических воздействиях. „Известия АН АрмССР (серия ТН)“, т. XX, № 1, 1967.
7. *Шахсугуриян Л. В., Захарян Ж. В.* Опыт применения метода моделирования при изучении сейсмостойкости крупнопанельных зданий. Научные сообщения АН СМ, вып. 7. Ереван, 1966.

МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ

Л. М. МЕЛКОНЯН

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ТЕРМОУПРОЧНЕННЫХ
СТАЛЕЙ ПОВЫШЕННОЙ И ВЫСОКОЙ ПРОЧНОСТИ
В АТМОСФЕРНЫХ УСЛОВИЯХ

1. Целью исследования автора являлось выявление коррозионной стойкости некоторых марок термоупрочненных сталей повышенной и высокой прочности, по сравнению со Ст. 3сп в различных атмосферных условиях. Испытанию были подвержены 5 марок сталей: Ст. 3сп (эталонная марка), 12Г2СМФ (С-60), 12ХГ2СМФ (С-75) и 14ХГС (С-75). Перечисленные марки сталей, кроме эталонной, были подвергнуты термическому упрочнению по режиму улучшения. Химический состав сталей приведен в [1]. Данные марки сталей явились одними из первых представителей соответствующих классов, разработанные ЦНИИ Проектстальконструкция совместно с ЦНИИ ЧЕРМЕТ и рекомендованы для внедрения. Стали были испытаны в различных средах. Лабораторные исследования сталей проводились методом влажной камеры. Метод этот широко распространен для получения сравнительных результатов. Режим влажной камеры подбирался таким образом, чтобы имитировать условия промышленной атмосферы. Идентичность механизма коррозионного процесса в камере и в условиях промышленной атмосферы подтверждается показателями кинетики коррозии [2], а также и характером коррозионных разрушений [1].

Были изготовлены и испытаны стандартные плоские образцы размерами — $80 \times 50 \times 5$ мм для получения кинетики коррозии и выявления коррозионной стойкости сталей и образцы размерами — $40 \times 40 \times 5$ мм, которые наклеивались на профиль с целью изучения влияния конструктивной формы на величину коррозии. В условиях городской промышленной атмосферы на коррозионной станции ИФХ и крышной станции МИСИ образцы $80 \times 50 \times 5$ мм устанавливались на специальных стендах под углом 45° к горизонту. Для обеспечения изоляции образцы крепились через фарфоровые изоляторы или приклеивались клеем к деревянным планкам, установленным на стендах. В цехах Таганрогского и Брянского комбинатов образцы корродировали в специальных кассетах, которые были подвешены на уровне стропильных ферм в наиболее неблагоприятных для конструкций участках

цеха. Образцы для испытаний во влажной камере наклеивались на стеллажи и устанавливались в различных местах камеры. Стеллажи периодически меняли местами для того, чтобы образцы находились в одинаковых условиях в смысле воздействия агрессивной среды.

В качестве конструктивной формы был выбран швеллер. Образцы $10 \times 40 \times 5$ мм приклеивались клеем БФ-2 на профиль. Этот клей является диэлектриком, однако толщина его и два слоя, необходимая для склеивания, оказалась электропроницаемой. Во избежание изменения механизма коррозии при наличии пары образец—металл профиля, профиль был изготовлен из дерева и соответствовал швеллеру № 20. Исследование влияния конструктивной формы проводилось в двух средах: во влажной камере и городской промышленной атмосфере. Образцы из сталей перед испытанием очищались от ржавчины и окалины травлением в 5% растворе соляной кислоты и результаты испытаний относились к поверхности с удаленной окалиной.

2. Поверхность образцов после испытаний имела различный вид в зависимости от среды. После коррозии в открытой промышленной атмосфере образцы были покрыты темно-коричневой, хорошо сцепленной с поверхностью, пленкой продуктов коррозии. Коррозия в мартеновском цехе представляла собой тонкую пленку темного цвета, которая легко отставала от поверхности. В условиях Брянского комбината образцы сталей были покрыты слоистой ржавчиной. Она легко отставала от поверхности, обнажая покрытую язвенными поражениями поверхность образцов. Цвет продуктов коррозии был ярко-коричневый. После испытаний во влажной камере образцы были покрыты плотной коркой продуктов коррозии и для удаления их необходима была предварительная механическая очистка поверхности.

Удаление продуктов коррозии производили травлением в 5% растворе соляной кислоты с ингибитором (уротропин). После травления образцы тщательно промывались, высушивались и выдерживались не менее суток перед дальнейшими исследованиями. Анализ графиков коррозии—время показал, что коррозия всех марок сталей в условиях цеха Брянского комбината носит возрастающий характер. Для сталей Ст. 3сп и Ст. Т весовые потери превосходят в 1,5–2 раза потери во влажной камере. В условиях влажной камеры и городской промышленной атмосферы коррозионные процессы замедлились, за исключением стали 14ХГС, и, по-видимому, дальнейшие испытания привели бы к стабилизации процессов коррозии. В условиях мартеновского цеха значения потерь малы и почти одинаковы для всех марок сталей, а сталь 14ХГС имеет наименьшие весовые потери по результатам годичных испытаний.

Если принять за 100% потери веса корродирующей в условиях городской промышленной атмосферы Ст. 3сп, то потеря веса остальных марок сталей в рассматриваемых условиях по результатам годичных испытаний в процентах следующая (табл. 1).

Таблица 1

Атмосфера	Ст. Зсп	Ст. Т	14ХГС	12ХГ2СМФ	12Г2СМФ
Городская промышленная (г. Москва)	100	128	200	68	68
Цех пропарки Брянского асбоцементного комбината	1270	839	666	475	450
Мартеновский цех Таганрогского металлургического комбината	15	15	4,5	15	9,5
Влажная камера (лабораторные испытания)	636	581	1120	520	622

Из приведенных в табл. 1 данных видно, что коррозионная стойкость термоупрочненной стали Ст. Т в условиях городской промышленной атмосферы несколько ниже, чем у Ст. Зсп. Термическая обработка не оказывает заметного влияния на коррозионную стойкость стали марки Ст. Зсп в условиях городской промышленной атмосферы. Термообработанная низколегированная сталь 14ХГС является наименее коррозионно стойкой в условиях городской промышленной атмосферы и во влажной камере; занимает среднее положение по стойкости между Ст. Т и сложеннолегированными сталями в условиях цеха Брянского комбината и наиболее устойчива в мартеновском цехе.

В табл. 2 приведены результаты годовичных испытаний образцов.

Таблица 2

Марка стали	Влажная камера		Городская промышленная атмосфера		Мартеновский цех		Цех Брянского комбината	
	средняя глубина коррозионных язв, мм	средняя потеря толщины, мм/год по весу	средняя глубина язв, мм	средняя потеря толщины, мм/год по весу	средняя глубина язв, мм	средняя потеря толщины по весу, мм/год	средняя глубина коррозии, мм	средняя потеря толщины по весу, мм/год
Ст. З сп	0,22	0,18	0,6	0,028	0,02	0,004	0,15	0,36
Ст. Т	0,24	0,16	0,085	0,035	0,04	0,001	0,16	0,24
14ХГС	0,27	0,32	0,066	0,068	0,04	0,001	0,18	0,18
12ХГ2СМФ	0,38	0,15	0,10	0,020	0,07	0,004	0,40	0,13
12Г2СМФ	0,35	0,17	0,09	0,019	0,04	0,003	0,28	0,12

Глубина коррозионных язв определялась с помощью глубиномера в 15 точках в двух взаимно-перпендикулярных направлениях по поверхности образца. Помимо этого глубина язв уточнялась при металлографическом исследовании шлифов из образцов. По данным, приведенным в табл. 1, можно сделать вывод о том, что стали марок Ст. Т, 12ХГ2СМФ, 12Г2СМФ при наличии общей равномерной коррозии, по величине меньшей, чем у Ст. Зсп, имеют склонность к сильной локализации процесса разрушения. Разрушение стали 14ХГС носит характер отслаивания.

3. Объяснение коррозионного поведения сталей можно дать, рассматривая основные факторы, влияющие на скорость коррозии: продолжительность пребывания пленки влаги на поверхности, наличие агрессивных примесей в атмосфере химического состава и структуры, разл. продуктов коррозии, образующихся на поверхности и процессе испытания, конструктивной формы элементов.

Анализ полученных результатов показал, что весовые потери и средние потери по толщине образцов в условиях Брянского комбината сравнимы с теми же показателями в условиях влажной камеры, а в некоторых случаях и превосходят их, и намного выше показателей в городской промышленной атмосфере и мартеновского цеха.

Условия цеха Брянского комбината обеспечивают постоянное пребывание пленки влаги на поверхности металла. Пленка влаги представляет собой адсорбированный слой молекул воды и слой, который конденсируется в продуктах коррозии на поверхности при относительной влажности ниже 100%. Поверхность образца становится мокрой. Частое увеличение относительной влажности до 100% приводит к тому, что на поверхности образуется слой влаги определенной толщины. Известно, что толщина пленки оказывает существенное влияние на скорость протекания электродных реакций на металлах. Уменьшение толщины пленки до определенной величины приводит к резкому возрастанию скорости катодного процесса, причем это возрастание характерно для случаев, когда скорость катодного процесса определяется диффузией кислорода. Таким образом, высокая скорость коррозии сталей в условиях Брянского комбината объясняется наличием постоянного слоя влаги на поверхности образцов. Существенное влияние оказывают на коррозию продукты коррозии на поверхности образцов. Они могут затруднять доступ влаги и деполяризатора к поверхности металла и тем самым вызывать пассивацию, как это имеет место во влажной камере, или, наоборот, могут способствовать ускорению коррозионного разрушения, если образуют на поверхности рыхлый осадок, способный адсорбировать влагу.

Лабораторные исследования показали, что продукты коррозии, образующиеся на поверхности металла, погруженного в электролит, не обладают защитным действием [3]. Омическое сопротивление продуктов коррозии остается постоянно низким, несмотря на непрерывный рост количества продуктов коррозии. В то же время продукты коррозии прочно удерживаются на поверхности и адсорбируют влагу. По-видимому, пленка продуктов коррозии на сталях марок Ст. 3сп и Ст. Т в условиях мокрой коррозии обладает низким омическим сопротивлением и не оказывает защитного действия.

Скорость коррозии сталей марок 14ХГС, 12ХГ2СМФ и 12Г2СМФ, оставаясь высокой в условиях мокрой атмосферной коррозии от 2 до 3 раз ниже, чем у сталей марок Ст. 3сп и Ст. Т. Преимущество термоупрочненных низколегированных высокопрочных сталей в этих условиях очевидно. Влияние термической обработки заметно сказыв-

вается на коррозионной стойкости в условиях мокрой атмосферной коррозии. Весовые потери у стали Ст. Т в 1,5–2 раза меньше, чем у стали Ст. Зсп.

При периодическом высыхании поверхности в городской промышленной атмосфере скорость коррозии для всех сталей значительно ниже, чем на Брянском комбинате и носит затухающий характер. Стабилизация коррозионных процессов объясняется защитным действием плотной пленки продуктов коррозии. В этих условиях низколегированная термоупрочненная сталь 14ХГС имеет наиболее высокие показатели весовых потерь, скорость коррозии и средние потери по толщине. Термоупрочненная сталь Ст. Т не имеет никакого преимущества перед обычной сталью Ст. Зсп.

Качественная картина коррозии сталей в условиях периодического высыхания пленки влаги повторяется во влажной камере. Коррозионные процессы носят в основном затухающий характер для всех сталей, кроме 14ХГС, что объясняется также действием пленки продуктов коррозии и химическим составом стали. Продукты коррозии у стали 14ХГС, по-видимому, растворяются в пленке влаги на поверхности в условиях влажной камеры и отпадают, обеспечивая незатухающий процесс коррозионного разрушения. Преимущества сталей марок Ст. Т, 12ХГ2СМФ, 12Г2СМФ по сравнению со сталью Ст. Зсп невелики в условиях переменного высыхания пленки влаги и наличия агрессивной среды.

Все рассмотренные стали, за исключением стали марки 14ХГС, ведут себя практически одинаково.

Несмотря на малые коррозионные потери у всех сталей в условиях мартеновского цеха, низколегированная сталь 14ХГС в этих условиях имеет некоторое преимущество. В [4] было показано, что легирование повышает критическую влажность воздуха, тем самым повышая коррозионную стойкость сталей. В условиях сухой атмосферной коррозии при низкой относительной влажности и при малой длительности пребывания пленки влаги на поверхности легированная сталь должна обладать ясновыраженными преимуществами перед нелегированной. Эта точка зрения подтверждается для стали марки 14ХГС.

В ы в о д ы

На основании проведенных испытаний можно сделать следующие выводы:

1. Все испытанные марки сталей независимо от химического состава и обработки интенсивнее всего корродируют в цехе Брянского комбината (условия мокрой коррозии) и во влажной камере.

Скорость коррозии сталей в этих условиях от 2–5 раз выше, чем в условиях городской промышленной атмосферы. Коррозионный процесс носит в основном затухающий характер, кроме условий цеха Брянского комбината.

2. В условиях городской промышленной атмосферы и во влажной камере низколегированная термоупрочненная сталь 14XГC имеет наименьшую коррозионную устойчивость. В мартеновском цехе и цехе Брянского комбината наименьшая коррозионная стойкость у стали Ст. 3сп.

3. Термическая обработка стали Ст. 3сп (Ст. Т) незначительно повышает ее коррозионную устойчивость.

4. Наибольшая коррозионная устойчивость во всех средах у сталей марок 12ХГ2СМФ и 12Г2СМФ.

5. Потери толщины металла при коррозии во влажной камере и цехе Брянского комбината составляют 0,12—0,38 мм/год, в условиях открытой промышленной атмосферы потери толщины 0,01—0,06 мм/год. В мартеновском цехе потери незначительны.

6. Конструктивная форма элемента оказывает существенное влияние на процесс коррозионного разрушения различных участков по периметру сечения и подтверждает результаты, полученные в [5].

7. Весовые потери, а следовательно, и скорость коррозии на различных участках по периметру сечения меняется от 1—2,2 раза в промышленной атмосфере и от 1—5,4 раза во влажной камере.

8. Скорость коррозии на вертикальных открытых поверхностях сравнима со скоростью на открытых горизонтальных участках профиля.

9. Коррозионная стойкость сталей марок Ст. Т, 14ХГC, 12ХГ2СМФ и 12Г2СМФ в условиях мокрой коррозии выше, чем у стали Ст. 3сп.

10. Продукты коррозии, образующиеся на поверхности сталей, способствуют ускорению коррозионных процессов в условиях мокрой коррозии и замедляют во влажной камере и городской промышленной атмосфере.

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса

Поступило 9.1.1968.

Հ. Մ. ՄԱԿԱՅԱՆ

ԲԱՐՁՐԱՊԵՐԵ ԵՎ ԲԱՐՁՐԱՑՎԱԾ ԱՄՐՈՒԹՅՈՒՆ ՈՒՆՅՈՂ
ՋԵՐՄԱՆԱՐԱՅՎԱԾ ՊՈԼՊԱՆՆԵՐԻ ԿՈՐՐՈԶԻՈՆԱՅԻՆՈՒԹՅՈՒՆԸ
ՄԵՆՈՒՄԵՏԱՅԻՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ

Ս. Վ Վ Ո Վ Ո Վ

Հոդվածում շարադրված են տարրեր արդյունաբերական մթնոլորտային պայմաններում շինարարական մի քանի տեսակի բարձրամուր և բարձրացված ամրության պողպատների կորոդիակալունության հետազոտության արդյունքները: Բերված են տվյալներ քաջային կորուստների, կորոզիայի արագության և ինտենսիվության մասին, ինչպես նաև ցույց է տրված կոնսերվիտիվ ձևի ազդեցությունը կորոզիայի արագության վրա:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Мелкоян Л. М. Характер коррозионного разрушения сталей повышенной и высокой прочности для строительства. Известия АН АрмССР, 1967.
2. Вольберг Ю. Л. Исследование влияния атмосферной коррозии на характер разрушения строительных сталей. Сб. Металлические конструкции МИСИ, № 1966.
3. Кошелев Г. Г., Кларк Г. Б. Коррозионная устойчивость углеродистых и низколегированных сталей в различных климатических районах СССР. Труды ИФХ АН СССР, вып. VII, 1960. Исследования по коррозии металлов.
4. Скорчаветти В. В., Тукачинский С. Е. К вопросу о коррозии металлов в атмосфере при относительной влажности ниже 100%. ЖПХ, т. XXVI, № 1, 1953.
5. Козин Н. Н. Экспериментальное изучение влияния конструктивной формы элементов стальных конструкций на стойкость против атмосферной коррозии. Сб. тр. МИСИ, № 10, 1956.

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Г. Г. ГИМОЯН

ТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ В ТРЕХФАЗНЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ
 ПРИ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМАХ

При расчете режимов работы электрических сетей и оборудования, анализе поведения устройств релейной защиты и автоматики часто возникает необходимость определения фазных и линейных токов в силовых трансформаторах при несимметричных коротких замыканиях или не нормальных режимах работы электрической сети. В существующей литературе по расчету токов коротких замыканий (например, [1]) решение этой задачи рекомендуется осуществить путем разложения аварийных токов в месте короткого замыкания на симметричные составляющие, трансформации последних при помощи соответствующих комплексных коэффициентов трансформации и последующего суммирования их на стороне питания трансформатора. Однако этот способ сложен и требует относительно высокой инженерной квалификации. Проще и быстрее решается задача, если извлечь симметричные составляющие оперировать полными токами. Однако имеющиеся в литературе (например, в [2]) соотношения, связывающие полные токи на разных сторонах трансформатора, пригодны лишь для схем соединений „звезда-треугольник“ или „треугольник-звезда“, тогда как на практике встречаются и другие соединения, например, „звезда-звезда“ с заземленной нейтралью. Ниже приводятся формулы, позволяющие путем оперирования полными токами найти токораспределение при любой схеме соединения обмоток силовых трансформаторов и для произвольного вида несимметричных режимов как для мгновенных значений любой формы, так и эффективных (амплитудных) значений синусоидальных токов.

На рис. 1 схематично изображен трехфазный двухобмоточный трансформатор. Его обмотка высшего напряжения с количеством витков w_1 соединена в звезду, а обмотка низшего напряжения с количеством витков w_2 — в звезду с зазем-

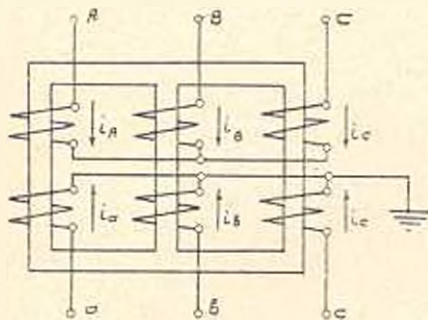


Рис. 1. Схема трехфазного двухобмоточного трансформатора, соединенного по схеме „звезда-звезда“ с заземленной нейтралью.

ленной нейтралью. Если положительные направления мгновенных значений фазных токов первичной и вторичной обмоток i_A, i_B, i_C и i_a, i_b, i_c в нормальном режиме принять такими, как это сделано на рис. 1 и пренебречь намагничивающими токами отдельных фаз в этом режиме, можно составить следующие уравнения

$$\begin{aligned} i_A &= \frac{1}{3k} (2i_a - i_b - i_c); \\ i_B &= \frac{1}{3k} (2i_b - i_a - i_c); \\ i_C &= \frac{1}{3k} (2i_c - i_a - i_b), \end{aligned} \quad (1)$$

где $k = k_1 = \omega_1/\omega_2$ — коэффициент трансформации трансформатора.

Соотношения (1) устанавливают связь между мгновенными значениями токов, на сторонах высшего и низшего напряжений трансформатора при соединении его обмоток по схеме „звезда-звезда“ и заземленной нейтралью. Эти соотношения справедливы и для значений синусоидальных токов, в чем нетрудно убедиться, если взамен i_a, i_b и i_c в уравнения (1) подставить их симметричные составляющие i_{a1}, i_{a2} и i_{a0} .

При использовании соотношений (1) для эффективных значений синусоидальных токов их лучше представить в несколько преобразованном виде:

$$\begin{aligned} I_A &= \frac{1}{K_r} (I_a - I_0); \\ I_B &= \frac{1}{K_r} (I_b - I_0); \\ I_C &= \frac{1}{K_r} (I_c - I_0), \end{aligned} \quad (2)$$

где I_A, I_B, I_C и I_a, I_b, I_c — комплексы эффективных значений фазных токов на сторонах высшего и низшего напряжений

$$I_0 = \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c). \quad (3)$$

В случае, когда трансформатор соединен по схеме „треугольник-звезда“, то для линейных токов со стороны „треугольника“ будем иметь

$$\begin{aligned} I_{AB} - I_A - I_B &= \frac{I_a - I_b}{\sqrt{3} K_r}; \\ I_{BC} - I_B - I_C &= \frac{I_b - I_c}{\sqrt{3} K_r}; \\ I_{CA} - I_C - I_A &= \frac{I_c - I_a}{\sqrt{3} K_r}. \end{aligned} \quad (4)$$

где K_1 — коэффициент трансформации трансформатора „треугольник-звезда“, равный $K/3$.

В случае, если трансформатор соединен по схеме „звезда-треугольник“ с заземленной нейтралью или „звезда-треугольник“ и аналогичные токи даны в виде линейных токов „треугольника“ I_{1a}, I_{1b} и т.д., то токи на стороне „звезды“ будут равны:

$$\begin{aligned} I_{1A} &= \frac{I_{1a} - I_{1c}}{3K} = \frac{I_{1a} - I_{1c}}{\sqrt{3} K_1}; \\ I_{2B} &= \frac{I_{2b} - I_{2a}}{3K} = \frac{I_{2b} - I_{2a}}{\sqrt{3} K_1}; \\ I_{3C} &= \frac{I_{3c} - I_{3b}}{3K} = \frac{I_{3c} - I_{3b}}{\sqrt{3} K_1}. \end{aligned} \quad (5)$$

где K_1 — коэффициент трансформации трансформатора „звезда-треугольник“, равный $\sqrt{3} K$.

Преимуществом изложенного метода является ее простота, а также пригодность для расчета токораспределения при несинусоидальных токах.

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса

Поступило 24.VI.1967.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уильямс С. Л. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. Изд. „Энергия“, 1964.
2. Федосеев Л. М. Основы релейной защиты. Госэнергоиздат, 1961.

О. В. ПЕНТМАЛДЖАН

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СТЕНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СИЛ

В статье приводятся результаты исследований прочности и деформативности наружных стеновых панелей ИС-3 и ИС-2 крупнопанельного дома серии А1-164—С при одновременном действии горизонтальных сил в их плоскости и различных вертикальных усилий, имитирующих вес постоянной и временной нагрузок верхних этажей.

Исследования проводились на моделях. В основу моделирования была принята теория подобия твердых деформируемых тел, разработанная профессором А. Г. Назаровым [1]. Подбор модельных материалов был произведен согласно условиям простого подобия. Бетон моделей был взят с теми же физико-механическими характеристиками, что и в оригинале, а рабочие стержни арматуры были приняты геометрически подобные натурным. Масштаб моделей был принят

где K_1 — коэффициент трансформации трансформатора „треугольник-звезда“, равный $K/3$.

В случае, если трансформатор соединен по схеме „звезда-треугольник“ с заземленной нейтралью или „звезда-треугольник“ и аналогичные токи даны в виде линейных токов „треугольника“ I_{1a}, I_{1b} и т.д., то токи на стороне „звезды“ будут равны:

$$\begin{aligned} I_{1A} &= \frac{I_{1a} - I_{1c}}{3K} = \frac{I_{1a} - I_{1c}}{\sqrt{3} K_1}; \\ I_{2B} &= \frac{I_{2b} - I_{2a}}{3K} = \frac{I_{2b} - I_{2a}}{\sqrt{3} K_1}; \\ I_{3C} &= \frac{I_{3c} - I_{3b}}{3K} = \frac{I_{3c} - I_{3b}}{\sqrt{3} K_1}. \end{aligned} \quad (5)$$

где K_1 — коэффициент трансформации трансформатора „звезда-треугольник“, равный $\sqrt{3} K$.

Преимуществом изложенного метода является ее простота, а также пригодность для расчета токораспределения при несинусоидальных токах.

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса

Поступило 24.VI.1967.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уильямс С. Л. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. Изд. „Энергия“, 1964.
2. Федосеев Л. М. Основы релейной защиты. Госэнергоиздат, 1961.

О. В. ПЕНТМАЛДЖАН

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СТЕНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СИЛ

В статье приводятся результаты исследований прочности и деформативности наружных стеновых панелей ИС-3 и ИС-2 крупнопанельного дома серии А1-164—С при одновременном действии горизонтальных сил в их плоскости и различных вертикальных усилий, имитирующих вес постоянной и временной нагрузок верхних этажей.

Исследования проводились на моделях. В основу моделирования была принята теория подобия твердых деформируемых тел, разработанная профессором А. Г. Назаровым [1]. Подбор модельных материалов был произведен согласно условиям простого подобия. Бетон моделей был взят с теми же физико-механическими характеристиками, что и в оригинале, а рабочие стержни арматуры были приняты геометрически подобные натурным. Масштаб моделей был принят

равным 1:5. Образцами для испытаний служили однослойные железобетонные панели толщиной 30 см с оконным проемом НС-3 и с совмещенным проемом окна и двери НС-2. Следовательно, толщина модели была равна 6 см. Бетон наружных панелей принят легкий, марки 7 на кармрашенском шлаке. Конструкции панелей приводятся на рис.

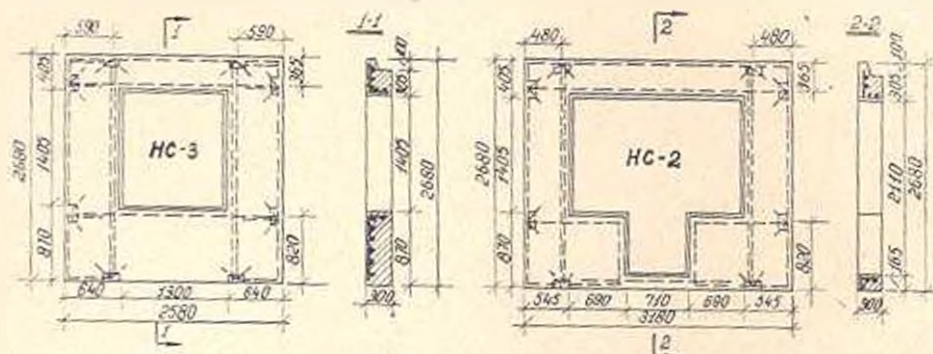


Рис. 1.

Испытания проводились на стенде, представляющем собой жесткую металлическую раму. Вертикальные и горизонтальные силы прикладывались с помощью тарированных пружин. Вертикальное усилие создавалось с помощью четырех пружин, расположенных по две вдоль каждого простенка. Тяги у основания были снабжены шарниром, чтобы не препятствовать деформации образца. Горизонтальная нагрузка на панель передавалась ступенями. Для определения коэффициента внутреннего трения все образцы подвергались двухстороннему циклическому нагружению и разгрузке при различных вертикальных усилиях обжатия. Закрепление образца к стенду осуществлялось по возможности односторонне с закреплением панели в стене здания. Основание стенда служило как бы верхней гранью нижележащей панели. После сварки закладных деталей шов между плитой стенда и нижней гранью испытуемой модели заполнялся цементным раствором. Горизонтальное и вертикальное смещение верха панелей относительно основания, удлинение и укорочение диагоналей измерялись мессурами с точностью 0,001 мм, которые устанавливались с обеих сторон модели. Напряженное состояние панелей определялось тензодатчиками, наклеенными в местах примыкания простенков к перемычке и подоконнику, в количестве 16 штук с каждой стороны образца.

Железобетонные панели НС-3 в количестве двух штук (образцы № 1 и № 2) доводились до разрушения при вертикальном усилии обжатия, равном 0,6 т, что соответствует нагрузке, приходящей на панель первого этажа в пятиэтажном здании. При испытании панелей № 3 и № 4 вертикальное усилие увеличивалось вдвое для выявления возможностей их применения в зданиях повышенной этажности. Панель № 1 потеряла несущую способность при горизонтальной нагрузке, равной 0,85 т. Разрушающая нагрузка панели № 2 была равна

0,80 *m*. Первые трещины появились в местах углов оконных проемов при нагрузке, составляющей 0,7—0,8 от разрушающей. При дальнейшем повышении нагрузки эти трещины увеличивались и распространялись на ширину всего простенка и перемычки. Разрушение панели № 3 наступило при горизонтальном усилии, равном 1,1 *m*, а панель № 4 при — 1 *m*. Следовательно, при увеличении вертикального усилия обжатия вдвое разрушающая горизонтальная нагрузка увеличивается в среднем в 1,27 раз. Относительные деформации удлинения и укорочения диагоналей для одной панели были почти одинаковы. При горизонтальной нагрузке 0,6 *m* средние удлинения и укорочения диагоналей для панелей № 1 и № 2 были равны $\epsilon = 0,35 \times 10^{-3}$, а для панелей № 3 и № 4 при той же горизонтальной нагрузке $\epsilon = 0,26 \times 10^{-3}$. Горизонтальное смещение верха панели относительно основания при вертикальном усилии 0,6 *m* в 1,25 раза больше, чем у панелей № 3 и № 4.

Следуя [2], угол сдвига панели в зависимости от укорочения диагоналей определяли по формуле

$$\gamma = y \frac{H^2 + b^2}{Hb \sqrt{H^2 + b^2}},$$

где y — укорочение диагоналей, H — высота панели и b — ширина панели. В результате проведенных исследований было установлено, что исходя из условия недопущения трещин в железобетонной панели ИС-3 при сдвиге в плоскости стены значения угла сдвига не должно превышать 1/2000. Для характеристики деформативности панелей, кроме того определялся коэффициент деформативности, выраженный отношением горизонтального смещения верха панели к соответствующей горизонтальной нагрузке

$$K = \frac{U}{P}.$$

Значения коэффициентов деформативности при нагрузках, составляющих 0,5 и 0,8 от разрушающих, приводятся вместе с другими основными осредненными характеристиками моделей в табл. 1.

Циклическая нагрузка для определения коэффициента внутреннего трения прикладывалась к образцам при трех разных усилиях обжатия. Средние значения коэффициентов внутреннего трения в зависимости от вертикальной нагрузки Q были равны: при $Q=0$, $\psi=0,81$; $Q=0,6$, $\psi=0,64$ и $Q=1,2$, $\psi=0,59$, т. е. с увеличением усилий обжатия величина ψ уменьшается.

Железобетонные панели ИС-2 испытывались аналогично панелям ИС-3. Разрушающая горизонтальная нагрузка образцов № 5 и № 6 при вертикальном усилии 0,6 *m* была соответственно равна 0,65 *m* и 0,60 *m*. При увеличении вдвое вертикального усилия модели № 7 и № 8 потеряли несущую способность при горизонтальной силе 0,90 *m* и 0,85 *m*. Первые трещины появились, так же как в панелях ИС-3, в углах прое-

Таблица 1

Средние прочностные и деформативные характеристики испытанных образцов

Вид образца	Вертикальная нагрузка на панель m	Номер образца	Горизонтальная нагрузка m		$\frac{P_{02}}{P_{01}}$	Горизонтальное смещение верха образца $m.m$ l			Относительное укорочение диагонали $\epsilon \cdot 10^{-5}$			Относительное удлинение диагонали $\epsilon \cdot 10^{-1}$			Коэффициент деформативности $m.m/m$		$\frac{K_{04}}{K_{05}}$
			P_{01}	P_{02}		При относительной нагрузке P/P_{01}									K_{02}	K_{03}	
						0,2	0,5	0,8	0,2	0,5	0,8	0,2	0,5	0,8			
НС-3	0,6 (15,0)	1	0,625	0,825	0,76	0,22	0,66	1,92	8,0	20,0	44,0	8,0	20,0	48,0	1,60	2,91	1,82
		2	(15,6)	(20,6)		(1,10)	(3,30)	(9,14)							(0,32)	(0,58)	
	1,2 (30,0)	3	0,85	1,05	0,81	0,21	0,76	2,35	6,0	18,5	41,0	7,5	19,0	51,0	1,44	2,80	1,91
		4	(21,4)	(26,2)		(1,20)	(3,80)	(11,75)							(0,21)	(0,56)	
НС-2	0,6 (15,0)	5	0,50	0,625	0,80	0,12	0,40	1,20	5,0	17,5	48,0	6,0	18,5	17,5	1,28	2,40	1,87
		6	(12,5)	(15,6)		(0,60)	(2,00)	(6,00)							(0,26)	(0,48)	
	1,2 (30,0)	7	0,725	0,875	0,83	0,16	0,14	1,48	7,5	21,5	12,5	8,0	22,5	48,5	1,00	2,10	2,10
		8	(18,1)	(21,8)		(0,80)	(2,20)	(7,40)							(0,20)	(0,31)	

Примечание. Цифры в скобках относятся к образцам натурных размеров при подобии $P^* = 40$, $l^* = 4$, $\epsilon^* = 1$, $K^* = \frac{1}{4} K$.

ма при нагрузке, составляющей 0,8 от разрушающей. Относительные деформации удлинения и укорочения диагоналей панелей в среднем сечении при горизонтальной нагрузке 0,5 m для образцов № 5 и № 6 были равны $\varepsilon = \pm 0,48 \times 10^{-3}$, а для моделей № 7 и № 8 — $\varepsilon = 0,24 \times 10^{-3}$, т. е. уменьшились в два раза. Среднее отношение горизонтального смещения верха панелей № 5 и № 6 к смещению образцов № 7 и № 8 при сдвигающей силе 0,5 m равно 2,5. Угол перекоса панелей НС-2, исходя из условия недопущения появления трещин при сдвиге в плоскости стены, не должен превышать 1/3000. Коэффициенты внутреннего трения моделей НС-2, определенные при циклических нагружениях и разгрузках образцов, с максимальной силой составляющей 0,3 от разрушающей нагрузки, были равны при $Q = 0$, $\psi = 0,89$, $Q = 0,6 m$, $\psi = 0,71$ и $Q = 1,2 m$, $\psi = 0,63$. Коэффициенты деформативности моделей с повышением горизонтальной нагрузки от 0,5 до 0,8 $P_{\text{раз}}$ увеличиваются вдвое.

Характер разрушения испытанных под действием горизонтальных сил панелей типов НС-2 и НС-3 для крупнопанельных зданий серии А1-464-С показывает, что они с сохранением достаточного запаса прочности могут воспринять сейсмические нагрузки, соответствующие 8—9 баллам.

АИСМ

Поступило 25.1.1968.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Назиров А. Г. О механическом поведении твердых деформируемых тел. Ереван, 1965.
2. Морозов Н. В. Конструкции стен крупнопанельных жилых зданий. М., 1964.

Л. Ф. КУДИКОВСКИЙ, Б. Я. ЛИХТЦЕНДЕР, М. Г. НАГЛЯВЯН

ОБОБЩЕННОЕ ВЫРАЖЕНИЕ ДЛЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ВСЕХ ВИДОВ ЦЕПЕЙ СРАВНЕНИЯ

Представление цепей сравнения для измерения параметра двухполюсников в виде автономной шестиполюсной схемы позволяет сделать некоторые обобщения, как для мостовых и дифференциальных, так и для компенсационных схем. На рис. 1 представлена обобщенная цепь уравнивания параметров активных двухполюсников. Измерительная схема, представляющая собой шестиполюсник, характеризуется неавтономными Z -параметрами и автономными E параметрами E_A , E_C , E_B . К первым входным зажимам шестиполюсника подключается измеряемый двухполюсник, ко вторым входным зажимам — сравниваемый двухполюсник, а к выходным зажимам подключается измеритель

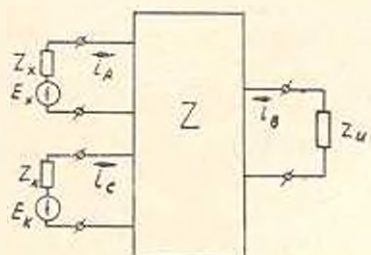


Рис. 1.

ма при нагрузке, составляющей 0,8 от разрушающей. Относительные деформации удлинения и укорочения диагоналей панелей в среднем сечении при горизонтальной нагрузке 0,5 m для образцов № 5 и № 6 были равны $\varepsilon = \pm 0,48 \times 10^{-3}$, а для моделей № 7 и № 8 — $\varepsilon = 0,24 \times 10^{-3}$, т. е. уменьшились в два раза. Среднее отношение горизонтального смещения верха панелей № 5 и № 6 к смещению образцов № 7 и № 8 при сдвигающей силе 0,5 m равно 2,5. Угол перекоса панелей НС-2, исходя из условия недопущения появления трещин при сдвиге в плоскости стены, не должен превышать 1/3000. Коэффициенты внутреннего трения моделей НС-2, определенные при циклических нагружениях и разгрузках образцов, с максимальной силой составляющей 0,3 от разрушающей нагрузки, были равны при $Q = 0$, $\psi = 0,89$, $Q = 0,6 m$, $\psi = 0,71$ и $Q = 1,2 m$, $\psi = 0,63$. Коэффициенты деформативности моделей с повышением горизонтальной нагрузки от 0,5 до 0,8 $P_{\text{раз}}$ увеличиваются вдвое.

Характер разрушения испытанных под действием горизонтальных сил панелей типов НС-2 и НС-3 для крупнопанельных зданий серии А1-464-С показывает, что они с сохранением достаточного запаса прочности могут воспринять сейсмические нагрузки, соответствующие 8—9 баллам.

АИСМ

Поступило 25.1.1968.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Назиров А. Г. О механическом поведении твердых деформируемых тел. Ереван, 1965.
2. Морозов Н. В. Конструкции стен крупнопанельных жилых зданий. М., 1964.

Л. Ф. КУДИКОВСКИЙ, Б. Я. ЛИХТЦЕНДЕР, М. Г. НАГЛЯВЯН

ОБОБЩЕННОЕ ВЫРАЖЕНИЕ ДЛЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ВСЕХ ВИДОВ ЦЕПЕЙ СРАВНЕНИЯ

Представление цепей сравнения для измерения параметра двухполюсников в виде автономной шестиполюсной схемы позволяет сделать некоторые обобщения, как для мостовых и дифференциальных, так и для компенсационных схем. На рис. 1 представлена обобщенная цепь уравнивания параметров активных двухполюсников. Измерительная схема, представляющая собой шестиполюсник, характеризуется неавтономными Z -параметрами и автономными E параметрами E_A , E_C , E_B . К первым входным зажимам шестиполюсника подключается измеряемый двухполюсник, ко вторым входным зажимам — сравниваемый двухполюсник, а к выходным зажимам подключается измеритель

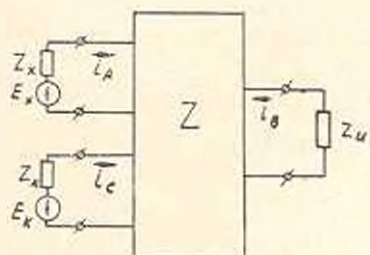


Рис. 1.

с сопротивлением Z_k . Матричное уравнение для всех схем следующее:

$$\begin{bmatrix} E_x + E_A \\ E_k + E_c \\ 0 + E_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{aa} + Z_x & Z_{ac} & Z_{ab} \\ Z_{ca} & Z_{cc} + Z_k & Z_{cb} \\ Z_{ba} & Z_{ba} & Z_{bb} + Z_u \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_A \\ I_c \\ I_B \end{bmatrix} \quad (1)$$

В [1] приведено выражение к матричной форме вариации вектора I , т. е. δI через его значение до вариации для многополюсных элементов

$$[\delta I] = - ([Z] + [\delta Z])^{-1} \cdot [\delta Z] \cdot [I]. \quad (2)$$

Приходится определить один компонент вектора $[\delta I]$, т. е. ток через нулевой орган $I_0 = I_B$. Для δI_B получим скалярное равенство (при вариации только измеряемой величины на δZ_k):

$$\delta I_B = - \frac{1}{\Delta'} \Delta'_{AB} I_A \cdot \delta Z_k. \quad (3)$$

Здесь Δ' — определитель матрицы; $[Z]' = [Z] + [\delta Z]$;

Δ'_{AB} — его алгебраическое дополнение.

В [2] приведено выражение для определения I_A через независимые параметры $[E]$, причем

$$I_A = \frac{\Delta_{AA} (\dot{E}_A + \dot{E}_x) + \Delta_{cA} (\dot{E}_c + \dot{E}_k) + \Delta_{BA} \dot{E}_B}{\Delta}. \quad (4)$$

Подставляя выражение (4) в выражение (3), получим

$$\delta I_B = \frac{\Delta'_{AB} [\Delta_{AA} (\dot{E}_A + \dot{E}_x) + \Delta_{cA} (\dot{E}_c + \dot{E}_k) + \Delta_{BA} \dot{E}_B] \delta Z_k}{\Delta^2}. \quad (5)$$

Отсюда

$$S_{I_B}^I = \frac{\partial I_B}{\partial Z_k} = \frac{\Delta'_{AB} [\Delta_{AA} (\dot{E}_A + \dot{E}_x) + \Delta_{cA} (\dot{E}_c + \dot{E}_k) + \Delta_{BA} \dot{E}_B]}{\Delta^2}. \quad (6)$$

Условие равновесия

$$\frac{\Delta_{AB}}{\Delta_{cB}} = - \frac{\dot{E}_c + \dot{E}_k}{\dot{E}_A + \dot{E}_x}, \text{ при } E_B = 0.$$

Выражение (6) является обобщенной чувствительностью для всех цепей сравнения при измерении пассивной части двухполюсником. Обобщенное выражение для чувствительности цепей сравнения при измерении э.д.с. можно получить, продифференцировав выражение

$$I_B = \frac{\Delta_{AB} (\dot{E}_A + \dot{E}_x) + \Delta_{cB} (\dot{E}_c + \dot{E}_k) + \Delta_{BB} \dot{E}_B}{\Delta}. \quad (7)$$

В результате получим

$$S_{I_B}^I = \frac{\partial I}{\partial E_x} = \frac{\Delta_{AB}}{\Delta}. \quad (8)$$

Выражения (6) и (8) справедливы как для цепей сравнения с токовой компенсацией, так и для цепей сравнения с потенциальной компенсацией. В качестве примера на рис. 2 приведены мостовые, дифференциальные и компенсационные схемы. Соотношения (6) и (8) яв-

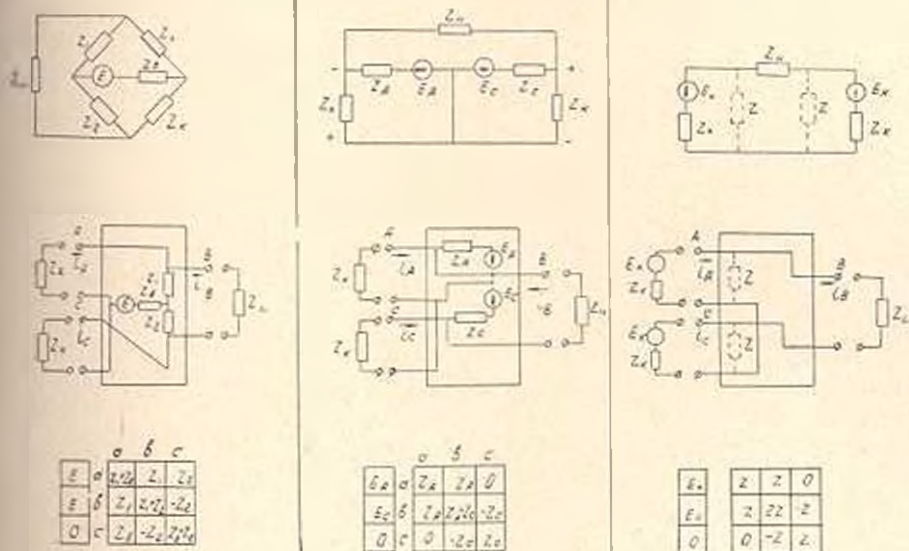


Рис. 2.

ляются чувствительностью по току в случае любой внутренней конфигурации шестиполюсника и являются поэтому обобщенными уравнениями для любых цепей уравнивания параметров двухполюсных элементов. В данном случае учитывается также сопротивление измерительных проводов и проводимостей утечек.

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса

Поступило 20.XII.1967.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сигорский В. П. Методы анализа электрических схем с многополюсными элементами. М., 1961.
2. Зяблюх Э. В. Основы общей теории линейных электрических схем. Изд. АН СССР, М., 1951.

Пневмотранспорт крупнозернистых материалов в плотном слое.
 Мирзаханян Р. М., Гаспарян А. М. „Известия АН АрмССР
 (серия ТН)“, т. XXI, № 3, 1968, 3—10.

Показано, что пневмотранспорт крупнозернистых материалов в плотном слое целесообразно производить в цилиндрических трубах. Предложен новый способ пневмотранспорта крупнозернистых материалов в плотном слое — в трубе переменного сечения. Транспортный ствол снизу-вверх должен увеличиваться в определенной закономерности, чем обеспечивается сплошное движение, минимальные потери давления и минимальный расход воздуха. Экспериментально определена зависимость потерь давления от параметров транспортирующего газа, транспортируемых частиц и материала трубы. Выведены уравнения для расчета вертикального транспортного ствола с переменным сечением, при помощи которых были рассчитаны три транспортных ствола, высотой 7, 15 и 75 м, из которых первые две были изготовлены и испытаны. Библиографии 9. Иллюстраций 5. Таблица 1.

К вопросу о растворимости диоксида углерода в воде.
 Нездойминов Н. А. „Известия АН АрмССР (серия ТН)“, т. XXI, № 3, 1968, 11—17.

Исследовалось влияние различных условий на процесс абсорбции диоксида углерода при избыточном давлении от 0,1 до 0,6 кг/см². Предельная растворимость CO_2 в дистиллированной и минеральной воде определялась на специальных установках с барботированием углекислого газа и типа „качающийся автоклав“. Установлено, что способы насыщения воды углекислым газом, а также режим потока газо-жидкостной смеси в трубопроводах оказывают существенное влияние на предельную растворимость газа в воде. Скорость растворения CO_2 возрастает с повышением парциальной упругости газа в газовой фазе. На пятикилометровом трубопроводе прослежено изменение концентрации CO_2 в гидрокарбонатно-хлоридной кальциево-натриевой воде с высоким газодержанием. Библиографии 2. Иллюстраций 7.

Влияние импульсной тренировки на приповерхностную проводимость карборунда. Григорян А. А. „Известия АН АрмССР (серия ТН)“, т. XXI, № 3, 1968, 18—22.

Рассмотрена природа асимметрии вольт-амперных характеристик карборунда и показана их связь с гранулометрией исходного порошка и режимами термобработки. Приведены экспериментальные результаты нагрузки карборундовых образцов экспоненциальными импульсами в режиме прелиминарных напряжений и мощностей. Показаны условия увеличения и уменьшения электропроводности в зависимости от типа импульсной нагрузки. Библиографии 3. Таблица 1.

УДК 621.319.4

Измеритель емкости при высокой частоте Каралетян М. А.
„Известия АН АрмССР (серия ТН)“, т. XXI, № 3, 1938, 23—25.

Предлагается метод измерения емкостей, конденсаторов высокой добротности, отличающийся сравнительной простотой измерительной цепи, малой погрешностью. Приводится анализ погрешностей измерительной цепи и результаты проверки макета прибора. Библиографий 2. Иллюстраций 4.

УДК 699.841

О некоторых результатах инженерного обследования последствий ташкентского землетрясения 1936 года. Гороян Т. А., Маркарян Т. Г., Пирузян С. А., Шахсуварян Л. В. „Известия АН АрмССР (серия ТН)“, т. XXI, № 3, 1938, 29—35.

Приводятся результаты инженерного обследования последствий ташкентского землетрясения по материалам комплексной научной экспедиции АрмНИИ стройматериалов и сооружений и Института геофизики и инженерной сейсмологии АН АрмССР. Дается краткое описание сейсмогеологической обстановки территории г. Ташкента. Описываются некоторые особенности поведения монолитных и сборных железобетонных каркасных зданий при 7—8 балльном землетрясении. Анализируется характер повреждений и причины их возникновения в жилых и общественных каменных зданиях. Указываются основные факторы, являющиеся причиной поврежденности зданий и сооружений. Библиографий 7. Иллюстраций 2.

УДК 669.14.018.8

Коррозионная стойкость термоупрочненных сталей повышенной и высокой прочности в атмосферных условиях. Мелконян Л. М.
„Известия АН АрмССР (серия ТН)“, т. XXI, № 3, 1938, 33—42.

Излагаются результаты исследований коррозионной стойкости некоторых марок сталей повышенной и высокой прочности для строительства в различных промышленных атмосферных условиях. Приводятся данные по весовым потерям, скорости и интенсивности коррозии, а также данные по влиянию конструктивной формы на скорость коррозии. Таблиц 2. Библиографий 5.



Ր ՈՎ Ա Ն Դ Ա Կ ՈՒ Թ Յ ՈՒ Ն

ՀԻՐԻԱՎԼԻԿԱ, ՀԻՐԻԱՏԵՆԻԿԱ

Ռ. Մ. Սիբգալիսեյան, Ա. Մ. Գուսպեյան, <i>Խոյտրամուտիկ նյութերի խիտ շերտով պեկեմա- փոխադրում</i>	3
Կ. Ա. Նեղոյմիևոզա, <i>Ջրի մեջ ամթածնի երկօքսիդի լուծելիության հարցի չուրջը</i>	11

ԷԼԵԿՏՐԱՏԵՆԻԿԱ

Ա. Ա. Գրիգորյան, <i>Իմպուլսային ընկելածության ազդեցությունը կարրոտունդի մակերևույթ- թային շերտի հաղորդականության վրա</i>	15
--	----

ՀԱՇՎՈՂԱԿԱՆ ՏԵԽՆԻԿԱ

Ս. Ա. Կուրապեայան, <i>Սենայափ բարձր հանախականության հոսանքների համար</i>	23
--	----

ՇՈՒՆՐԱՐԱԿԱՆ, ԿԱԹՈՒՅՎԱԾՓՆԵՐ

Տ. Ա. Գուրյան, Թ. Գ. Մարգարյան, Ս. Ա. Փիբուզյան, Լ. Վ. Շահումյան, <i>Տաշքենտի 1966 թվականի երկրաշարժի հետևանքների ինժեներական հետազննության որոշ արդյունք- ները</i>	29
---	----

ՄԵՏԱԿԱԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆ

Լ. Մ. Մելեյուսև, <i>Իարձրամուր և բարձրացված ամրություն ունեցող ցերմաստված պող- պատների կորոզիակայունությունը մթնոլորտային պայմաններում</i>	26
--	----

ԳԻՏԱԿԱՆ ՆՈՒԹԵՐ

Գ. Գ. Դիմույան, <i>Հոսանքաբաշխումը ծոսափազ տրեյսոֆորմատորներում ոչ սխեմորիկ ուժի մե- նչում</i>	43
Է. Վ. Փելչովաչյան, <i>Էրկաթե հոսն պատային պանելների ուսումնասիրությունը հորիզոնա- կան ուժի ազդեցության տակ</i>	45
Լ. Ց. Կուլիկովսկի, Ս. Յա. Լիխուցենդեբ, Մ. Գ. Պանյավյան, <i>Քնդհանրացված արտահայտու- թյուն բոլոր տեսակի համեմատության շղթաների ղգայունության համար</i>	49

СО Д Е Р Ж А Н И Е

Гидравлика, гидротехника

<i>Р. М. Мирзаханян, А. М. Гаспарян.</i> Пневмотранспорт крупнозернистых материалов в плотном слое	3
<i>Н. А. Нездойминова.</i> К вопросу о растворимости двуокиси углерода в воде	11

Электротехника

<i>А. А. Григорян.</i> Влияние импульсной трансивки на приповерхностную проводимость карборунда	18
---	----

Измерительная техника

<i>М. А. Карипетян.</i> Измеритель ёмкости при высокой частоте	23
--	----

Строительные конструкции

<i>Г. А. Горюхи, Т. Г. Маркарян, С. А. Парузян, Л. В. Шахсаварян.</i> О некоторых результатах инженерного обследования последствий тапкентского землетрясения 1966 года	29
---	----

Металловедение

<i>Л. М. Мелконян.</i> Коррозионная стойкость термоупрочненных сталей повышенной и высокой прочности в атмосферных условиях	36
---	----

Научные заметки

<i>Г. Г. Гимоян.</i> Токораспределение в трехфазных трансформаторах при несимметричных режимах	43
<i>О. В. Пештмалджян.</i> Исследование моделей железобетонных панелей при действии горизонтальных сил	45
<i>Л. Ф. Кудиковский, В. Я. Лихтендер, М. Г. Нагдалян.</i> Обобщенное выражение для чувствительности всех видов цепей сравнения	49