Ü/127

C a r e v, A.I., F e l ' d m a n, A.I. (Ingenieure)

DRUCK SANDIGER HINTERFÜLLUNGEN AUF DIE WÄNDE DER KAMMERN VON SCHIFFAHRTSSCHLEUSEN

Übersetzung aus:
Gidrotechničeskoe stroitel'stvo. Moskva, 35 (1965), Nr 9, S. 22 - 26.
Russ.: Давление песчаных засыпок на стенки доковых конструкций камер судрходных шлюзов.

Davlenie pesčanych zasypok na stenki dokovych konstrukcij kamer sudochodnych šljuzov.

Die Gesetzmäßigkeiten für die Erddruckbildung auf senkrechten und schrägen Flächen von Bauwerken sind noch ungenügend untersucht. Die vorhandenen Rechenverfahren gestatten die Bestimmung der Erddruckgröße auf die Wände im Zustand der sogenannten elastischen Ruhe (wenn Verschiebung des Bodens und der Konstruktion gleich Null sind) und im Zustand des Grenzgleichgewichts (das nach Verschiebung der Konstruktion und eines gewissen Hinterfüllungsvolumens auf der sich in der Hinterfüllung bildenden Gleitlinie eintritt).

Bei den Dockkonstruktionen der Kammern von Schiffahrtsschleusen (Abb. 1) können sich die Wände unter Druckeinwirkung aus der Hinterfüllung seitlich nicht so stark bewegen, daß die Bedingungen für ein Grenzgleichgewicht geschaffen würden. Dennoch verbiegen sie sich bei jedem Füllen der Kammer und kehren beim Entleeren in die Ausgangslage zurück. Periodische Verformungen werden außerdem durch die jahreszeitlichen Temperaturschwankungen des Betons der Sohle und der Wände hervorgerufen. Rechenverfahren, welche die kontinuierlichen periodischen Bewegungen der Wände bezüglich der Hinterfüllung berücksichtigen, gibt es nicht.

Übersetzungsstelle
der Universitätsbibliothek Stuttgart

Um den tatsächlichen Druck von sandigen Hinterfüllungen auf die Kammerwände von Schleusen zu bestimmen, wurden Baustellenuntersuchungen an den folgenden Schleusen durchgeführt: Schleusen des V.I.Lenin-Wolga-Don-Schiffahrtskanales (WDSK) (1)[1] Schleusen des V.I.Lenin-Wolgakraftwerkes (2) und des XXII.KPdSU-Kongreß-Wolgakraftwerkes (3), Schleuse des Wotkin-Kraftwerkes (4). Der Erddruck wurde mit Membran-Saitengebern (Bodendynamometern) gemessen, welche sich als sehr zuverlässig für Langzeitmessungen erwiesen [2 - 4].

Die Mitarbeiter der Forschungsstation des Institutes "Gidroproekt"[2] führten in den letzten 10 Jahren eine Reihe von Labor- und Feldprüfungen an eben diesen Gebern durch, wobei komplizierte Erddruckmessungen unter natürlichen Bedingungen berücksichtigt wurden. Zu den Aufgaben dieser Prüfungen zählte auch die Untersuchung der Meßzuverlässigkeit und der Meßfehler, der Empfindlichkeit und Verformbarkeit des Gebergehäuses, welchen Einfluß inhomogener Boden und ungleichmäßiger Druck auf die Geberoberfläche in Bezug auf die Meßergebnisse haben und wie seine Eichbedingungen an der Luft mit dem Verhalten bei Kontakt der Anlage mit Boden übereinstimmen[3].

Die Prüfungen haben gezeigt, daß die verwendeten Membran-Saitengeber zuverlässige Angaben über den tatsächlichen Erddruck auf die Betonbauten liefern. Der zu beobachtende Unterschied bei den Angaben einiger Geber, welche in einem oder verschiedenen Punkten, jedoch in ein und derselben Tiefe von der Hinterfüllungsoberfläche untergebracht waren, ist bedingt durch die ungleichen physikalisch-mechanischen Eigenschaften kleiner Bodenmengen, die in unmittelbarer Nähe der Geber liegen. Die Auswertungsergebnisse der Angaben langdauernder Felduntersuchungen von 19 Gebern durch Verfahren der mathematischen Statistik sprechen für die große Zuverlässigkeit und befriedigende Messgenauigkeit [4]. Alle Geber haben ohne Ausfall unter wech-

---

1) Durch die Zahlen in Klammern (1) - (4) werden fernerhin im Text die hier aufgeführten Schleusen bezeichnet.(Anm.d.Übers.)
2) Wissenschaftliches Forschungsinstitut für wasserbauliche Anlagen (Anm.d.Übers.).
3) Die Baustellenuntersuchungen und Prüfungen der Geber wurden unter der Leitung von R.N. Petrašen durchgeführt.

Übersetzungsstelle
der Universitätsbibliothek Stuttgart

selnder Belastung mehr als 8 Jahre gearbeitet. Für die Zeit der Prüfung hat die Veränderung (Ablenkung) des "Nullpunktes" der Geber 0,02 kp/cm^2 nicht überschritten, d.h. betrug ungefähr 0,3 % des größten gemessenen Druckwertes. Mit zuverlässiger Wahrscheinlichkeit von 0,8 lag der Meßfehler für den Druck von einem Geber nicht über ±6,7 % vom angesetzten Druck. Wenn die Anzahl der Geber, welche einen Druckwert messen, zunimmt, dann nimmt der Meßfehler auf 2 - 4 % ab.

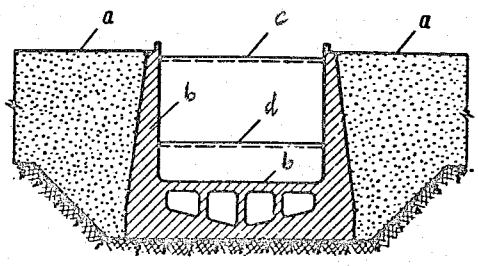

Abb. 1. Schematische Darstellung der Dockkonstruktion der Kammern von Schiffahrtsschleusen:

a - Boden; b - Beton; c - Höchstwasserstand (Oberwasser); d - Mindestwasserstand (Unterwasser).

Bei allen aufgezählten Schleusen sind die Stirnseiten der Kammerwände senkrecht, die Rückseiten geneigt. Die Oberfläche der Hinterfüllung ist waagrecht mit Ausnahme der Schleusen (1), die komplizierte Querschnitte haben. Die Geber sind in die Rückseite der Wände in senkrechten Fugen montiert und schließen mit der Betonoberfläche bündig ab. Bei Schleuse (4) ist jeweils ein Geber in einer Fuge in 15 Punkten über die Höhe der Wand angebracht. Bei Schleuse (3) befinden sich die Geber ebenfalls in einer Fuge, doch sind in jedem der sechs Meßpunkte drei Geber montiert (Abb. 2). Bei Schleuse (2) befinden sich die Geber in vier Fugen, wobei in einer Fuge in fünf Meßpunkten jeweils drei Geber montiert waren, und in den übrigen Fugen je ein Geber. Die Meßpunkte lagen in allen Fugen auf ein und denselben Meßmarken. Auf diese Weise befanden sich in jeder Tiefe von der Oberfläche der Hinterfüllung sechs Geber. Für die letzten beiden Schleusen wurde der Erddruck als arithmetisches Mittel aus den Angaben von drei oder sechs Gebern errechnet, wobei die Gber in ein und derselben Tiefe von der Oberfläche der Hinterfüllung angebracht waren.

Kurzangaben über die Schleusenkammerwände und Hinter-

Übersetzungsstelle
der Universitätsbibliothek Stuttgart

füllungen enthält Tab. 1.

An den Schleusen (1) war die Anzahl der montierten Geber und die Häufigkeit der Ablesungen nicht ausreichend; auch aufgrund der komplizierten Querschnitte der Hinterfüllungen werden deswegen die an diesen Schleusen abgelesenen Werte nicht aufgeführt.

Tabelle 1

Bez. d. Schleuse	Boden d. Fundaments	Wandhöhe von der Sohlenoberkante bis zur Oberfl. d. Hinterfüll., m	Dicke d. Schleusenwände, m: in Höhe der Sohlenoberkante	Dicke d. Schleusenwände, m: am Kopf	Sandhinterfüllung: Raumgewicht, t/m³	Sandhinterfüllung: Einbauverfahren
(2)	Sand	23,0	7,0	1,0	1,80	h
(3)	Sand	20,5	6,5	1,2	1,74	t
(4)	Lehm	26,5	5,0	1,0	1,74	h

h = hydromechanisch, t = trocken.

Die Geber wurden grundsätzlich mindestens einmal im Monat abgelesen. Während der Schiffahrtsperiode wurde der Erddruck auf die Wände bei maximalem und minimalem Wasserspiegel in der Kammer gemessen. Die Dauer der

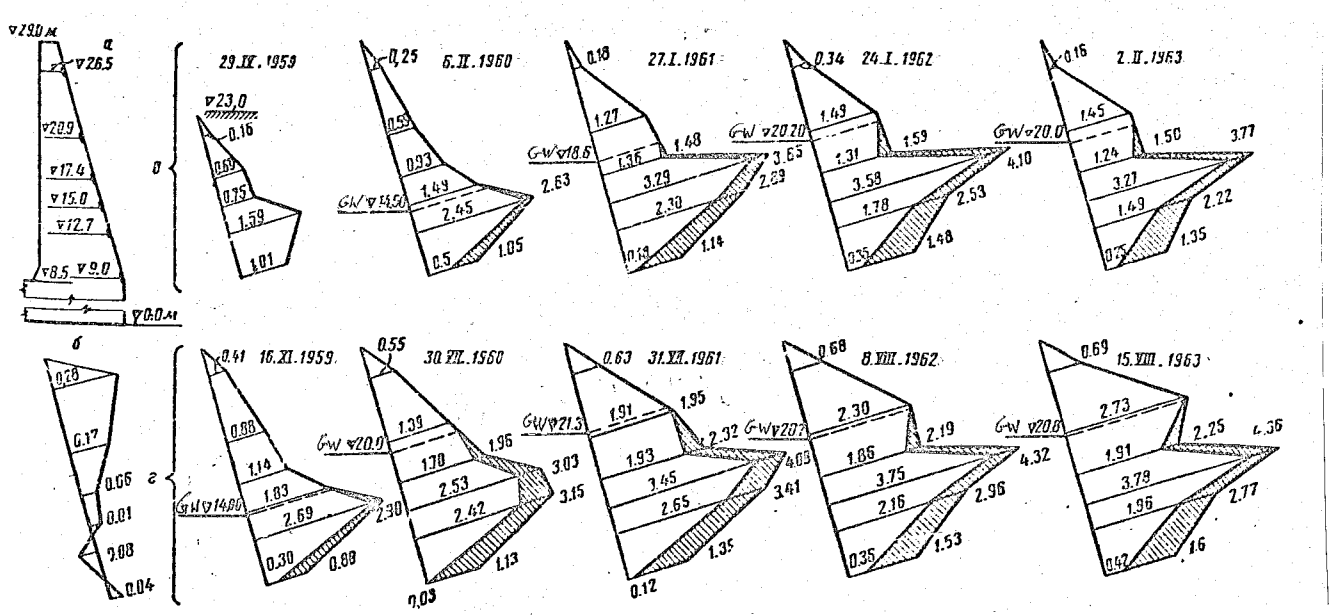

Abb. 2. Zeitliche Veränderung des Erddruckes (kp/cm²) auf die Wand von Schleuse (3):

a - Wandquerschnitt; b - Erddruckzunahme bei Erhöhung des Wasserspiegels in der Kammer um 11,5 m, gemessen am 22.5.1963; c - Erddruckfiguren des minimalen Boden- und Wasserdrucks (gestrichelter Teil) im Winter bei leerer Kammer; d - Erddruckfiguren des maximalen Boden- und Wasserdrucks während der Sommermonate bei gefüllter Kammer.

Übersetzungsstelle
der Universitätsbibliothek Stuttgart

Erddruckablesungen beträgt 2 Jahre (Schleuse (4)) bis 8 Jahre (Schleuse (2)).

Die Geber haben die Summe aus Erddruck und Grundwasserdruck festgehalten. Die Erddruckgröße wird bestimmt, indem man die Anzeigen der Geber für den Grundwasserdruck, die nach den Angaben von Piezodynamometerablesungen errechnet werden, abzieht.

Die Anzeigenstreuung der Geber, welche in gleicher Tiefe von der Hinterfüllungsoberfläche der Schleusen (2) und (3) montiert waren, sind der Reihe nach in Tab. 2 aufgeführt. Wie schon erwähnt, gibt diese Streuung hauptsächlich die Ungleichförmigkeit der Hinterfüllung wieder. Wie aus Tab. 2 ersichtlich ist, ist der Ungleichförmigkeitsgrad an Schleuse (2) , wo der Boden hydromechanisch eingebaut wurde, geringer als bei Schleuse (3), wo im Trockeverfahren hinterfüllt wurde. Nach den Werten der Tabelle ist das Verhältnis von Minimal- zu Maximaldrücken nach den Geberablesungen, die sich auf die gleiche Tiefe beziehen, bei der ersten Schleuse nicht größer als 2,5, wohingegen es bei der zweiten oft an 3,5 heranreicht.

Es ist interessant festzustellen, daß die angegebenen Charakteristiken für die Ungleichförmigkeit der Hinterfüllungen größenmäßig an ähnliche Charakteristiken, wie sie von Ejdel'man für sandige Fundamente erzielt wurden [6], herankommen.

Wenn man den beträchtlichen Ungleichförmigkeitsgrad der Erdhinterfüllungen und die begrenzte Anzahl der Geber, welche in den Wänden untergebracht sind, berücksichtigt, dann sind folglich die weiter unten angeführten Werte für die Erddruckresultierende als Näherungsgrößen anzusehne.

Nach den Meßangaben nahm der Normalddruck nach Beginn der endgültigen Hinterfüllung konstant zu. Neben der allgemeinen Druckzunahme konnte man auch jahreszeitliche Druckabnahmen im Winter feststellen. Zeitlich veränderte sich auch die Drukverteilung auf die Wandhöhe. Als typisches Beispiel für die zeitliche Veränderung der Normaldruckgröße und Druckverteilung über die Wandhöhe zeigt Abb. 2 die maximalen und minimalen Druckfiguren (kp/cm^2) nach den Meßdaten an Schleuse (3). Die maximalen Erddruckfiguren (untere Reihe) wurden nach den

Übersetzungsstelle
der Universitätsbibliothek Stuttgart

Meßdaten während der Sommerzeit bei minimalem Wasserspiegel in der Kammer aufgestellt. Aus diesen Figuren ist ersichtlich, daß der Erddruck im unteren Teil der Wand geringer ist als im mittleren, d.h. daß die Druckverteilung nicht dem linearen Gesetz entspricht, wie dies nach dem Grenzgleichgewichtszustand nach Coulomb der Fall ist.

In Abb. 2 ist ebenfalls die Druckfigur für die Erddruckzunahme bei gestiegenem Wasserdruck an der Wandstirnseite während der Schleusungen dargestellt. Die Werte dieser Zunahmen sind unbedeutend, verglichen mit dem Erddruck, und auch sie sind als ungefähre Werte anzusehen, da sie gemessen wurden, während sie zunahmen, und als der Wasserdruck zugenommen hatte. Eine vollständige Stabilisierung der Geberablesungen wurde in den kurzen Zeiträumen bei gestiegenem Wasserdruck während der Schleusungen nicht beobachtet.

T a b e l l e 2

Schleuse (2)

Dicke d. Erdschicht über d. Geber, m	Geberanzeigen, kp/cm²									
	15/I—56	15/VIII—56	15/VII—57	15/I—58	15/VIII—58	28/I—60	18/VIII—61	13/VI—62	15/II—63	15/VI—63
14,9	2,18	2,72	2,87	2,63	2,92	3,20	3,30	4,30	3,40	3,12
	2,31	3,01	2,58	2,52	2,70	3,36	3,00	4,13	3,16	2,90
	—	2,58	2,02	1,70	2,00	2,42	2,80	—	—	—
	1,68	1,65	1,90	1,62	1,77	1,72	2,10	2,56	1,60	—
	3,02	2,52	3,03	2,63	2,83	3,21	3,65	3,94	3,79	2,00
	2,87	2,95	3,87	3,72	3,20	4,02	4,40	—	4,05	4,00
17,6	2,80	3,48	3,48	3,19	3,63	3,74	3,77	4,98	5,00	3,88
	2,88	3,54	3,72	3,28	3,54	—	—	5,14	—	—
	3,02	3,70	3,02	2,89	3,00	—	—	—	—	—
	3,32	3,47	3,52	3,29	3,35	3,37	3,77	4,35	3,63	3,59
	2,46	4,49	4,58	4,21	4,46	4,26	4,56	4,56	4,22	4,10
	4,38	4,52	5,01	4,56	4,77	4,65	4,71	4,35	4,71	4,79
20,3	2,83	3,31	3,70	3,20	3,28	3,10	—	—	—	—
	3,31	3,87	3,87	3,92	4,08	4,40	3,72	3,92	3,80	3,73
	3,40	4,27	4,35	3,56	4,16	3,76	4,16	4,18	3,36	4,16
23,1	4,70	5,39	5,53	5,33	5,56	5,53	—	—	—	—
	3,45	4,16	4,16	3,83	4,16	—	—	—	—	—
	3,50	4,63	4,48	4,20	4,59	5,16	—	—	—	—
26,0	2,55	3,67	3,85	3,15	3,95	—	—	—	—	—
	2,66	3,49	3,70	3,07	3,69	3,69	3,73	3,85	4,65	3,77
	2,35	3,32	3,23	3,04	3,66	—	—	—	—	—
	2,08	2,37	3,07	2,07	2,38	2,29	2,57	2,57	2,25	2,41
	2,50	3,19	3,14	2,58	3,03	2,51	1,78	—	—	—
	3,14	3,67	3,67	3,51	3,64	3,62	4,01	4,03	4,10	4,10

Schleuse (3)

Bodendicke über d. Geber, m	Geberanzeigen, kp/cm²									
	29/IV—59	16/XI—59	6/II—60	30/VII—60	27/I—61	31/VII—61	24/I—62	8/VIII—62	2/II—63	15/VIII—63
8,1	0,14	1,41	1,07	2,12	2,06	2,99	2,39	3,56	2,55	3,62
	0,24	0,81	0,37	1,39	0,94	1,13	0,87	1,37	0,69	2,53
	0,11	0,43	0,35	0,66	0,83	1,73	1,21	1,97	1,12	2,05
11,6	0,47	0,84	0,63	1,76	1,04	1,99	1,32	1,82	1,01	1,85
	0,65	1,07	0,88	1,83	1,41	2,21	1,34	2,25	1,64	2,35
	0,94	1,52	1,30	2,31	2,00	2,77	2,12	2,50	1,86	2,55
14,0	0,80	1,80	1,49	3,03	3,60	4,09	4,26	4,80	4,15	4,64
	0,71	1,67	1,30	2,75	3,39	3,65	3,50	3,78	3,48	3,86
	0,74	2,02	1,68	3,31	4,37	4,49	4,55	4,57	3,70	4,58
16,3	1,93	3,49	3,02	3,78	3,38	4,12	2,86	3,38	2,54	3,12
	1,52	2,89	2,55	3,14	2,79	3,34	2,55	2,96	2,27	2,72
	1,28	2,32	2,32	2,55	2,52	2,76	2,18	2,55	1,85	2,47
20,0	0,81	0,92	1,11	1,11	1,08	1,41	1,41	1,49	1,27	1,50
	0,58	0,35	0,48	0,61	0,61	0,66	0,95	1,04	0,82	1,10
	1,64	1,36	1,56	1,66	1,73	2,00	2,06	2,05	1,96	2,20

Übersetzungsstelle
der Universitätsbibliothek Stuttgart

Die Extremwerte der Erddruckresultierenden E_{gem} in Tonnen pro 1 lfd. Wandmeter gibt Tab 3 wieder. Diese Werte wurden graphisch nach den zeitlichen Veränderungen der Geberangaben bestimmt. Für einzelne Jahre mit langen Beobachtungspausen wird nur ein Extremwert angegeben. Die Werte dieser Tabelle bestätigen die jahreszeitlichen Schwankungen und die Erddruckzunahme. So betrug der Anfangsdruck an Schleuse (2) im Jahre 1955 435 t/lfd.m, und im Jahre 1963 ungefähr 600 t/lfd.m, d.h. er nahm um beinahe das 1,5 fache zu; an Schleuse (3) betrug der Anfangsdruck im Jahre 1959 227 t/lfd.m und 1963 373 t/lfd.m, d.h. er nahm um das 1,6 fache zu. Ein Abklingen dieser Erddruckzunahme ist nur schwach zu erkennen.

In Tab. 3 sind auch die Ordinaten der Angriffspunkte der Erddruckresultierenden als Teile der Druckfigurhöhe H angegeben, d.h. $d = \frac{h}{H}$. In der Regel sind diese Ordinaten etwas größer als 1/3 der Druckfigurhöhe und ändern sich zeitlich wenig. Zur Abschätzung der Meßergebnisse wurden sie mit den errechneten Werten verglichen. Da es dabei wichtig ist, sowohl die Druckgröße als auch die Druckverteilung auf die Wandhöhe abzuschätzen, wurden folgende Werte verglichen: E_{gem} und E_{err} - Resultierende für den gemessenen und den errechneten Erddruck pro 1 lfd. Wandmeter und d_{gem} und d_{err} - jeweilige Ordinaten der Angriffs-

Tabelle 3

Beobachtungszeit		Gemessener Normaldruck		Errechneter Normaldruck		Relation	
Jahr	Tag und Monat	E_{gem}, m	d_{gem}	E_{err}, m	d_{err}	$\frac{E_{err}}{E_{gem}}$	$\frac{d_{err}}{d_{gem}}$
		Schleuse (2)					
1956	15.I	435	0,387	216	0,355	2,01	1,09
	15.VIII	510	0,368	215	0,354	2,37	1,04
1957	15.I	522	0,379	224	0,350	2,33	1,08
	15.VII	530	0,368	216	0,355	2,46	1,04
1958	15.I	470	0,372	216	0,355	2,18	1,05
	15.VIII	535	0,361	222	0,352	2,41	1,02
1960	28.I	579	0,368	216	0,355	2,68	1,04
1961	18.VIII	596	0,376	216	0,355	2,75	1,06
	15.XII	533	0,361	216	0,355	2,47	1,02
1962	13.VI	675	0,390	216	0,355	3,12	1,10
1963	15.II	599	0,383	216	0,355	2,77	1,08
	15.VI	590	0,368	216	0,355	2,73	1,04
		Schleuse (3)					
1959	29.IV	112	0,333	70	0,333	1,60	1,00
	16.XI	227	0,364	139	0,341	1,63	1,07
1960	6.II	189	0,329	139	0,340	1,36	0,97
	30.VII	278	0,412	126	0,354	2,21	1,16
1961	27.I	264	0,373	132	0,349	2,00	1,07
	31.VII	342	0,422	122	0,356	2,80	1,18
1962	24.I	273	0,397	125	0,354	2,18	1,12
	8.VIII	360	0,431	124	0,356	2,90	1,21
1963	2.II	244	0,397	126	0,354	1,94	1,12
	15.VIII	373	0,450	124	0,356	3,01	1,26
		Schleuse (4) linke Wand					
1962	15.II	87	0,318	48	0,350	1,82	0,91
	1.V	91	0,400	48	0,350	1,90	1,14
	13.IX	149	0,412	142	0,336	1,05	1,32
1963	17.VII	167	0,471	142	0,336	1,18	1,40
		rechte Wand					
1963	17 VII	110	0,445	102	0,334	1,08	1,34

Übersetzungsstelle
der Universitätsbibliothek Stuttgart

punkte der Resultierenden aus gemessenem E_{gem} und errechnetem E_{err} des Normaldrucks.

Da berücksichtigt wurde, daß keine Angaben über die zeitliche Veränderung der physikalisch-mechanischen Eigenschaften des Sandes der Hinterfüllung bei den untersuchten Schleusen vorliegen, daß die Differenz ihrer Werte unbedeutend ist, es jedoch wichtig ist, die Meßergebnisse an den Schleusen untereinander zu vergleichen, wurde bei der Bestimmung der errechneten Winkels der inneren Bodenreibung, des Winkels der Reibung Beton/Sand, des Raumgewichts und des Porenanteils des Sandes der Hinterfüllung angenommen, daß diese Werte größenmäßig gleich bleiben und folgenden Werten entsprechen: $\varphi = 30^{\circ}$; $\varphi_0 = 15^{\circ}$; $\gamma = 1{,}74$ t/lfd.m und $n = 0{,}3$.

Die Normalkomponente des errechneten aktiven Erddrucks auf die Wände wurden für den Grenzgleichgewichtszustand nach der in den Vorschriften für Stützmauern [1] vorgeschlagenen Methode und für den Ruhezustand errechnet, wobei vom Koeffizienten für den Seitendruck $K = 0{,}45$ ausgegangen wurde.

Die Rechenergebnisse für den Grenzgleichgewichtszustand sind in Tab. 3 angegeben. Sowohl bei den gemessenen als auch bei den errechneten Werten wurde der Grundwasserdruck nicht berücksichtigt, die zeitlichen Schwankungen des Grundwasserspiegels wurden als Feuchtigkeitsänderungen der Hinterfüllung in Betracht gezogen.

Betont sei, daß in diesem Fall nur die Normalkomponenten des Erddrucks verglichen werden, ohne Berücksichtigung von anderen auf die Wände einwirkenden Kräften (Wasserdruck, Wandreibungswinkel, Eigengewicht der Wände u.a.). Außerdem wurden die Querschnitte der Schleusenkammerwände in der Planung so angenommen, daß von besonderen Lastfällen ausgegangen wurde, welche in den Beobachtungsjahren nicht auftraten. Deshalb korrespondieren die Ergebnisse aus dem Vergleich der gemessenen und errechneten Normaldrücke auf die Wände nicht mit dem Spannungszustand und folglich auch nicht mit der zuverlässigen Arbeitsweise der Wände. Der Vergleich wird, wie bereits be-

Übersetzungsstelle
der Universitätsbibliothek Stuttgart

merkt, zur Abschätzung der Meßergebnisse angeführt, und auch um aufzuzeigen, inwiefern die tatsächliche Arbeitsweise der untersuchten Konstruktion mit den angewandten Berechnungen übereinstimmt.

Der Vergleich zeigt, daß der gemessene Normaldruck bei allen Schleusen beträchtlich über dem errechneten aktiven Druck liegt, und daß die Resultierende aus dem Normaldruck nach den Meßergebnissen in den meisten Fällen größer ist als nach den Berechnungen. An Schleuse (2) war der Minimaldruck, welcher in dem Jahr, als das Hinterfüllen beendet war, gemessen wurde, um 2,0 mal größer als der errechnete, und der Maximaldruck um das 3,12 fache. Das Verhältnis der Ordinaten der Angriffspunkte der Resultierenden aus dem Druck bewegte sich für die ganze Beobachtungszeit in einem Bereich von 1,02 bis 1,09. An Schleuse (3) war der gemessene Erddruck um 1,36 bis 3,01 und die Ordinaten der Angriffspunkte der Resultierenden aus dem gemessenen Druck um 1 - 1,26 mal größer als der errechnete Druck, Ähnliche Ergebnisse wurden beim Vergleich der gemessenen und errechneten Drücke auf die Wände von Schleuse (4) erzielt. Hier liegt der gemessene Druck um 1,05 - 1,90 mal höher als der der errechnete, und die Ordinate der Angriffspunkte der Resultierenden zwischen 0,91 - 1,34.

Der rechnerische Ruhedruck mit dem Koeffizienten des Seitendrucks K = 0,45 wurde nur für die ersten drei Monate nach abgeschlossener Hinterfüllung bestimmt. Bei der Berechnung dieses Druckes wurden die Werte für den Wandreibungswinkel und für das Raumgewicht des Sandes so angesetzt, wie bei der Berechnung des Grenzgleichgewichtszustandes der Hinterfüllung. An Schleuse (2) bestimmt sich der errechnete Ruhedruck am 15.8.1956 durch folgende Werte: E_{err} = 267 t; d_{err} = 0,356. Der Vergleich dieser rechnerischen Werte mit den am selben Tag gemessenen Größen liefert folgende Verhältnisse

$$\frac{E_{gem}}{E_{err}} = \frac{510}{267} = 1{,}91; \quad \frac{d_{gem}}{d_{err}} = \frac{0{,}368}{0{,}356} = 1{,}03;$$

Übersetzungsstelle
der Universitätsbibliothek Stuttgart

dieselben Relationen für Schleuse (3) vom 16.9.1959 sehen folgendermaßen aus:

$$\frac{E_{gem}}{E_{err}} = \frac{227}{172} = 1{,}32; \quad \frac{d_{gem}}{d_{err}} = \frac{0{,}364}{0{,}342} = 1{,}06.$$

Für die Schleuse (4) wurde der rechnerische Druck nur für die linke Wand am 15.2.1962 bestimmt. Die Werte sind:

$$\frac{E_{gem}}{E_{err}} = \frac{87}{63} = 1{,}4; \quad \frac{d_{gem}}{d_{err}} = \frac{0{,}318}{0{,}340} = 0{,}93.$$

Diese Relationen zeigen, daß der gemessene Erddruck anfangs nach abgeschlossener Hinterfüllung der Wände nicht nur größer ist als der (nach Coulomb) errechnete aktive Druck, sondern auch über dem mit dem Koeffizienten des Seitendrucks 0,45 errechneten Ruhedruck liegt. Dies kann durch den bereits in der ersten Zeit ablaufenden Vorgangs der Setzung und möglicherweise durch Nachverdichten des Bodens erklärt werden.

Der Vergleich der Beobachtungsergebnisse an den verschiedenen Schleusen zeigt, daß der Erddruck auf die Wände von Schleuse (4) etwas geringer ist, verglichen mit dem Druck auf die Wände der beiden anderen Schleusen. Dies hängt anscheinend damit zusammen, daß die Beobachtungszeit bei Schleuse (4) beträchtlich kürzer war und die Wandfestigkeit geringer als bei den anderen.

Schlußfolgerungen. 1. Nach den Maßdaten nimmt der Erddruck auf die Kammerwände von Schiffahrtsschleusen mit den Jahren zu. Neben dieser allgemeinen Zunahme wurden auch jahreszeitliche Druckabnahmen im Winter registriert und kurzfristige Druckveränderungen bei schwankendem Wassergefälle an den Stirnseiten.

2. Mit Veränderung der Druckgröße ändert sich gleichzeitig die Ordinate der Angriffspunkte der Resultierenden aus dem Normaldruck, d.h. die Druckverteilung über die Wandhöhe. In der Regel verlagerte sich dieser Angriffspunkt im Frühjahr mit beginnender Druckzunahme nach oben und mit Absinken des Druckes im Herbst nach unten.

3. Diese Veränderungen des Normaldruckes der Hinterfüllung bewiesen, daß Druckgröße und -verteilung nicht nur

Übersetzungsstelle
der Universitätsbibliothek Stuttgart

vom Raumgewicht und dem Winkel der inneren Bodenreibung, sondern auch von den Besonderheiten und Arbeitsbedingungen der Konstruktion abhängen. Bei der Bestimmung des Erddrucks auf die Schleusenkammerwände müssen unbedingt die anfängliche Verdichtung der Hinterfüllung, Verformungen und Bewegungen der Wände während des Betriebs, welche durch den Temperaturverlauf in der Konstruktion, Schwankungen der Wasserspiegel auf allen Wandseiten und andere Faktoren hervorgerufen werden, berücksichtigt werden.

4. Der Vergleich des gemessenen mit dem errechneten Druck zeigt, daß ersterer beträchtlich größer ist als letzterer. Schon in den ersten Monaten bach abgeschlossener Hinterfüllung lag das Verhältnis von gemessenem Druck zu errechnetem aktivem Druck an den Schleusen (2) und (3) zwischen 1,6 - 2, und das zum errechneten Ruhedruck mit dem Koeffizienten des Seitendrucks 0,4 betrug 1,3 - 1,9. Im folgenden nahm das Verhältnis von gemessenem zu errechnetem Druck zu und erreichte seinen Maximalwert bei 3,1 (Schleuse (2) im sechsten Betriebsjahr).

5. Der Erddruck zeichnet sich durch große Ungleichmäßigkeit von einem Meßpunkt zum anderen aus. Deshalb müssen bei Baustellenuntersuchungen soviel wie möglich Meßinstrumente eingebaut oder die Maße der Meßgeräte vergrößert werden, von denen der Druck aufgenommen wird [5].

6. Bei der Untersuchung des Spannungszustandes der Wände müßte gleichzeitig mit der Normalkomponente des Erddrucks auch die Tangentialkomponente gemessen werden. Für die Aufstellung eines physikalischen Bildes der Druckbildung müssen die Druckmessungen mit umfassenden Beobachtungen der Verformungen von Wänden und Hinterfüllung verbunden werden.

L i t e r a t u r

1. Технические условия и нормы проектирования гидротехнических сооружений. Подпорные стенки. ТУ-16-51. Госэнергоиздат, 1952.

Techničeskie uslovija i normy proektirovanija gidrotechničeskich sooruženij. Podpornye stenki. TU-16-51. Moskva-Leningrad: "Gosenergoizdat", 1952.
⟨Technische Vorschriften und Normen zur Planung von Wasserbauanlagen. Stützwände.⟩

Übersetzungsstelle
der Universitätsbibliothek Stuttgart

2. А. А. Угинчус и В. П. Бомбчинский, Контрольно-измерительная аппаратура гидротехнических сооружений, Госиздат по строительству и архитектуре, 1954.

U g i n č u s, A.A., B o m b č i n s k i j, V.P.: Kontrol'no-izmeritel'aja apparatura gidrotechničeskich sooruženija. Moskva: Gosizdat literatury po stroitel'stvu i architekture, 1954.
〈Die Kontroll- und Meßapparatur von Wasserbauanlagen.〉

3. К. Финк и Х. Рорбах, Измерение напряжений и деформаций (перевод с немецкого), Машстройиздат, 1961.

F i n k, K., R o r b a c h, Ch.: Izmerenie naprjaženij i deformacij (perevod s nemeckogo). Moskva: "Mašstrojizdat", 1961.
Übersetzung von: Handbuch der Spannungs- und Dehnungsmessung. Hrsg. u. bearb. von Kurt F i n k und Christof R o h r b a c h. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1958.

3. А. И. Царев и А. И. Фельдман, Надежность струнных мембранных датчиков для измерения давления грунта на сооружения в натурных исследованиях, «Гидротехническое строительство», 1964, № 4.

C a r e v, A.I., F e l ' d m a n, A.I.: Nadežnost' strunnych membrannych datčikov dlja izmerenija davlenija grunta na sooruženie v naturnych issledovanijach.
- Gidrotechničeskoe stroitel'stvo. Moskva, 1965, Nr 4, S. 34 - 36.
〈Die Zuverlässigkeit von Saiten-Membran-Gebern zur Messung des Erddrucks auf Anlagen in Baustellenuntersuchungen.〉

5. А. И. Царев, Способ измерения осредненных напряжений в контакте сооружения с нескальным грунтом, «Бюллетень изобретений», 1960, № 22, и Труды Гидропроекта, сб. 11, М., 1964.

C a r e v, A.I.: Sposob izmerenija osrednennych naprjaženij v kontakte sooruženija s neskal'nym gruntom.
- Bjulleten' izobretenij. Moskva, 1960, Nr 22, S. 45 (Klass 42k, 28. Nr 1333649 (657036/29 ot 29 fevralja 1960 g.)).
Deutsche Übersetzung, Stuttgart 4.6.1976: "Ein Verfahren zur Messung der mittleren Spannungen eines Bauwerks, das sich in Kontakt mit nicht felsigem Grund befindet".

C a r e v, A.I.: Sposob izmerenija osrednennych naprjaženij v kontakte sooruženija s neskal'nym gruntom.
- Trudy GIDROPROEKTA. Moskva, 11 (1954), S. 179 - 183.
〈Ein Verfahren zur Messung der mittleren Spannungen eines Bauwerks, das sich in Kontakt mit nicht felsigem Grund befindet.〉

6. С. Я. Эйдельман, Натурные исследования нормальных напряжений в подошве бетонных гидротехнических сооружений Каховского и Новосибирского гидроузлов». Труды координационных совещаний по гидротехнике, вып. III, Госэнергоиздат, 1962.

Ê j d e l ' m a n, S. Ja.: Naturnye issledovanija normal'nych naprjaženij v podošve betonnych gidrotechničeskich sooruženij Kachovskogo i Novosibirskogo gidrouzlov.
In: Trudy koordinacionnych soveščanij po gidrotechnike. Moskva: 3 (1962).
〈 Baustellenuntersuchungen über die Normalspannungen in der Sohle der betonierten Wasserbauwerke der Wasserbaukomplexe von Kachovo und Novosibirsk.〉

Stuttgart, den 30.6.1976

Übersetzungsstelle
der Universitätsbibliothek Stuttgart

Übersetzung von

Ottmar Pertschi

(Ottmar Pertschi)
Dipl.-Übersetzer