

16/9/72

Sinjajvskaja, V.M., Pavlova, A.E. (Ingenieure):

ERGEBNISSE DER BAUSTELLEN-UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE ARBEITSWEISE DER KAMMERWAND DER VOLGOGRADER SCHLEUSE

Trudy gidroproekta. Moskva: 24, 1972, S. 214-225.
[Russ.: Rezul'taty naturnych issledovanij raboty stenki kamery Volgogradskogo sljuza.]

(214)

Baustellen-Untersuchungen an Wasserbaukomplexen, darunter an Schiffahrtsanlagen, finden immer mehr Aufmerksamkeit. Derartige Untersuchungen ermöglichen es, tatsächliche Angaben über die Arbeitsweise von Anlagen und ihren Bauteilen zu erzielen. Insbesondere konnte durch solche Baustellen-Untersuchungen an mehreren Schleusen festgestellt werden, daß der tatsächliche Druck der Erdhinterfüllung auf die Schleusenwände den nach der Theorie des Coulombschen Grenzgleichgewichts errechneten Druck beträchtlich übersteigt.

Im vorliegenden Artikel sind die Daten der Baustellen-Untersuchungen über die statische Arbeitsweise der Kammerwände der Volgograder (Dock-)Schleuse in den letzten neun Jahren angeführt, die teilweise, je nach Ansammlung, bei der Aufstellung neuer Planungsnormen (SN-303-65¹⁾) verwendet wurden und auch für ihre weitere Verbesserung von Nutzen sein können.

Die Volgograder Schleuse ist eine gekoppelte Zwillingschleuse. Die Druckhöhe auf die mittleren Schleusenhäupter beträgt 27,0 m. Die Kammer der Schleuse hatte in der Bauzeit vorübergehend eine geteilte Sohle und Balken zum Vorspannen der oberen Sohle aus den Längsgalerien und zum Pressen der Betonsohle (nach dem Plan von Professor A.Z. Basevič) [1]. Die Bewehrung der Kammer wurde durch Träger und Pakete aus Rund-eisen mit Durchmesser bis 70 mm ausgeführt. Die freie Höhe der Wände beträgt 20,5 m. Das Neigungsverhältnis der Stirnflächen beträgt 100:1, der Rückwände 4:1. Sohle und Wände sind aus Beton der Marke 200-250 gefertigt.

Die oberen Schleusenammern liegen auf den Ablagerungen der Jetztzeit, die eine ziemlich dicke Schicht (im Durchschnitt nicht unter 20 m) aus feinkörnigem Quarzsand ist. Dieser Sand enthält in 10 m Tiefe von der Schleusensohle linsenförmige Gerölllagen oder Sandschichten verschiedener Körnung, die mit Kies und Schotter angereichert sind. Die Sandschicht wird in einer Tiefe von 16 bis 34 m von dichten Tonschichten der Maikopfolge mit einer Mächtigkeit von 40 bis 58 m unterlagert.

1) S[troitel'nye]N[ormy]=Baunormen-303-65. - Anmerkung des Übersetzers.

(215)

Die Wasserpolster der Kammer sind mit feinkörnigem Sand gefüllt. Die Rückaufschüttung an der untersuchten Wand von der Schleusensole bis in 12,5 m Höhe wurde im Trockenverfahren durch Verdichten mit Rüttelwalzen durchgeführt, und darüber hydromechanisch mit Ausnahme eines Keils von 8 m Höhe, der sich im oberen Teil unmittelbar an die Wand anschließt; dieser wurde ebenfalls im Trockenverfahren aufgeschüttet. (Abb. 1). Nach den Ergebnissen von 42 Proben, die bei der Errichtung an den Grenzen der untersuchten Abschnitte entnommen wurden, ist das mittlere Feuchtraumgewicht des Bodens gleich $1,74 \text{ t/m}^3$, das mittlere Feuchtraumgewicht des Bodenskeletts $1,58 \text{ t/m}^3$.

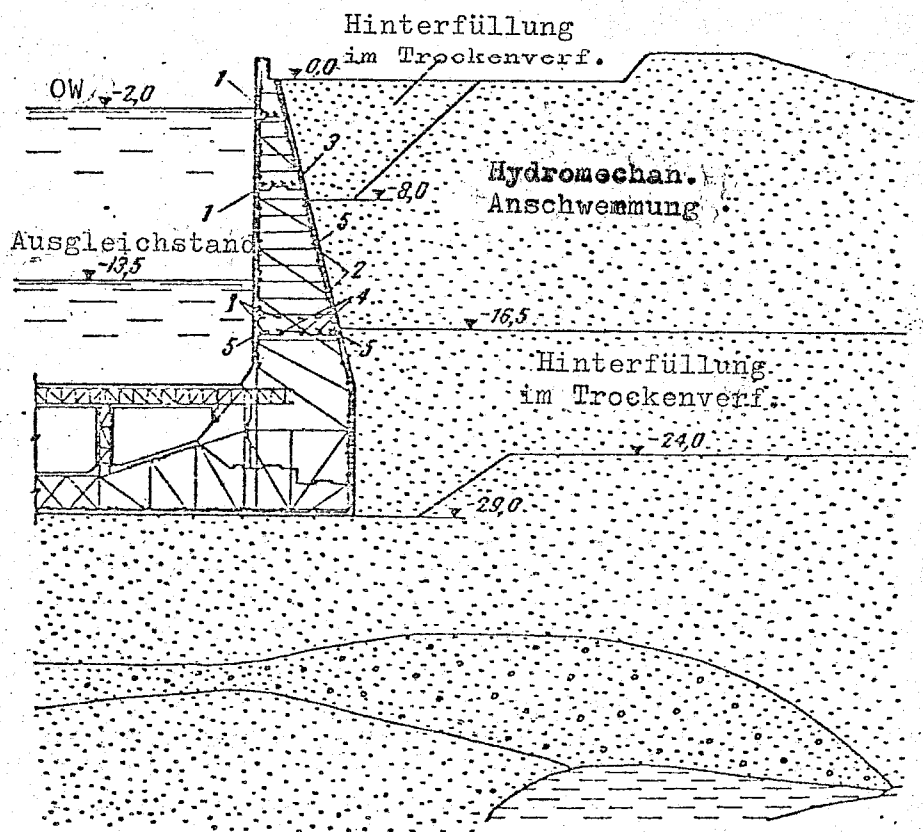


Abb. 1. Verteilungsplan für die Meßapparatur, Bewehrung der Wände und der Sohle, Hinterfüllung der Wasserpolster:

1 - Thermometer-Sperrstellen; 2 - Erdboden-Dynamometer; 3 - Tangentialeinrichtung; 4 - Distanz-Spaltmesser und Piezodynamometer; 5 - Bewehrungsdynamometer.

Näheres über die Konstruktion der Kammern und ihr Herstellungsverfahren ist im technischen Bericht über Planung und Bau des 22. KPdSU-Kongreß-Kraftwerkes beschrieben [7].

Jeden Winter wird die obere Kammer völlig geleert, um die Unterwassernlagen zu überprüfen und die laufenden Instandsetzungsarbeiten durchzuführen. Während der Schifffahrtszeit ist die Kammer die meiste Zeit bis zum Oberwasserpegel (OW) gefüllt, und wenn Schiffe

passieren wollen, wird aus der oberen in die untere Kammer oder umgekehrt Wasser abgelassen bis sich die Wasserstände in den beiden Kammern ausgleichen. Ausserdem wird ungefähr einmal im Monat die Kammer für 2-3 Stunden zur prophylaktischen Überprüfung geleert. Danach wird im folgenden die Kammer als trocken, voll und auf Unterwasser bezeichnet.

MESSAPPARAT

In einem Wandabschnitt der oberen linken Kammer wurde eine Spezialapparatur angebracht, mit der die gesamten Untersuchungen durchgeführt wurden (siehe Abb. 1).

(216)

Die Temperatur des Betons wurde in der Mauer mit Widerstandsthermometern mit 6 Sperrstellen gemessen. Um den Erddruck zu messen, wurden 6 Gruppen (je 3 Instrumente pro Gruppe) Saiten-Membran-Dynamometer angebracht. In einer Tiefe von 6,5 m wurde eine Schubmessdose, wie sie von P.N. Petrašen (Ing.) und A.I. Carev (Kand.d.techn.Wiss.) konstruiert wurde, eingebaut: sie besteht aus 11 Dynamometern, um die Normal- und die Schubspannungen zu messen. Um die Blockfugenbewegung zu untersuchen, wurden in der Fuge in einer Tiefe von 17 m von der Wandhöhe 9 Distanz-Spaltmesser und 5 Piezodynamometer zur Messung des Wasserdrucks in der Fuge angebracht.

Um die Spannungen in der Bewehrung in der Fugenebene und im Betonblock zu vergleichen, wurde in der Mitte des Blocks über der Fuge von der Rückseite her noch 1 Dynamometer angebracht. Alle beschriebenen Fernmeßgeräte wurden im Wissenschaftlichen Forschungseminar von Gidroproekt¹⁾ angefertigt.

Die Abweichung der Kronenoberkante wurde nach den Veränderungen der Kammerbreite mit Hilfe eines Invar-Drahtes, der konstant mit einer Last von 10 kg gespannt wurde, festgestellt.

BETONTEMPERATUR

(217)

Die Beobachtungen der Angaben auf den Thermometern wurden je nach Fertigungsstand der Wände begonnen. Die Höchsttemperatur im Beton betrug infolge der Wärmeabgabe 45°C bei einer Lufttemperatur von 21°C. Die Temperaturgefälle des Betons sind je nach Wanddicke ziemlich groß und betragen (in 17,0 m Tiefe) bei einer Dicke von 5,6 m im Winter maximal 22°C und im Sommer 14°C. Die Temperaturgradienten sind im selben Wanddickenabschnitt winters ($t_{\text{vorne}} < t_{\text{hinten}}$) gleich 3-4°C und sommers ($t_{\text{vorne}} > t_{\text{hinten}}$) etwa 2°C pro laufender Meter. Eine zeitliche Veränderung der Temperaturgradienten ist in Abb. 2b angeführt.

1) Verwaltung für Projektierung, Erforschung und Untersuchung beim Bau wasserbaulicher Anlagen im Ministerium für Kraftwerke der UdSSR - Anm.d.Übersetzers.

VERFORMUNGEN

Infolge der zeichenveränderten Temperaturgradienten weichen die Wände im Winter zur Kammerseite hin ab und im Sommer zur Hinterfüllung hin. Außerdem wird die Lage der Wand dadurch bestimmt, bis zu welcher Höhe die Kammer mit Wasser gefüllt ist (hydrostatischer Druck auf die Wände und Belastung der Sohle, das ein Verbiegen derselben hervorruft), wie auch durch die Temperaturverformungen der Sohle. In Abb. 2f ist eine Zeichnung der Abweichung der Kronenspitze abgebildet.

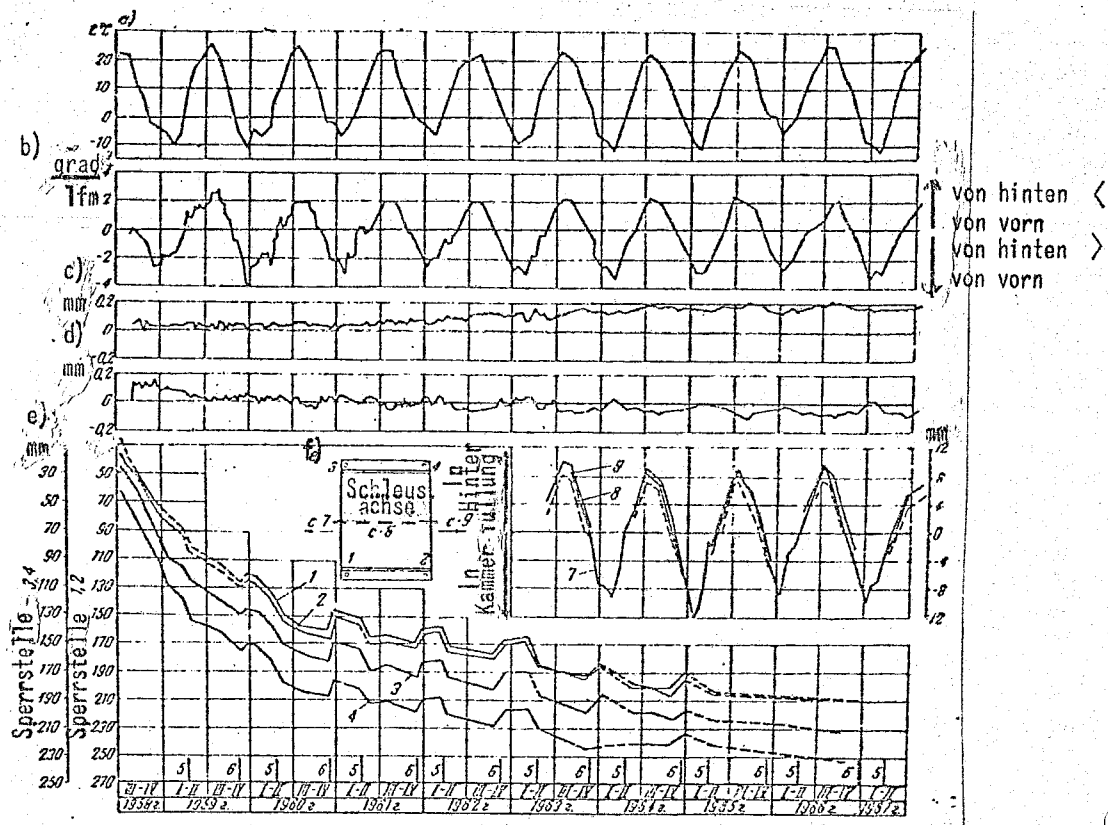


Abb. 2. Verformungen der Kammerwand:
 a - durchschnittliche monatliche Lufttemperatur;
 b - Temperaturgradienten; c - Verformungen der Blockfuge von der Rückseitenkante her; d - Verformungen der Blockfuge von der Vorderseitenkante her;
 e - Setzung der Wand (1,2 - rechts, 3,4 - links);
 f - Abweichung der Wand; 5 - Kammerfüllung im Winter; 6 - Kammerleerung im Herbst; 7 - bei trockener Kammer; 8 - bei Kammer auf Unterwasser; 9 - bei voller Kammer.

Für die Nullstellung muß die Stellung der Wand am 15. April 1964 (bei leerer Kammer) angenommen werden, die zeitlich der Mittellinie der Lufttemperaturschwankungen entspricht. Diese Stellung konnte im April und November beobachtet werden, wenn die Schifffahrt gewöhnlich beginnt oder endet.

Die größten Abweichungen der Wandkrone zur Kammerseite vom festgelegten Nullpunkt wurden im Januar und Februar registriert; sie betragen 9-13 mm. Die

größte Abweichung zur Hinterfüllung wurde jährlich im Juli registriert und beträgt 9-10 mm. Die größte jährliche Bewegungsamplitude der Wandkrone ist gleich 22 mm.

Die Abweichungen der Wandkrone bei Schleusungen ist gleich 1,2-2,5 mm, wobei zu Beginn der Schifffahrt (April, Mai) die Abweichungen der Wand bei Schleusungen 0,2-1,8 mm, und am Ende der Schifffahrtszeit (November, Dezember) 2,0-2,5 mm betragen. Der Verlauf der Wandabweichung während der Senkung des Wasserspiegels in der Kammer ist selbst von großem Interesse. Zu Beginn des Wasserablassens aus der Kammer und folglich bei anfänglicher Verringerung des hydrostatischen Drucks verlagert sich die Wandkrone zur Kammer hin, doch wenn das Wasser auf ungefähr 6,0-8,0 m abgelassen worden ist, bzw. auf ein Drittel vom Totalgefälle, dann zeigt sich eine wesentliche, durch die elastischen Verformungen des Grundes bedingte Verbiegung der Sohle, infolgedessen sich die Abweichungsrichtung der Wand ändert und sich die Wand auf die Hinterfüllungsseite zu bewegen beginnt. So ändert die Wand während eines Schleusungszyklus zweimal die Bewegungsrichtung. Jede Schifffahrtszeit führt die Wand also ungefähr fünftausend Neigungen in Kammerichtung aus und ebensoviele zur Hinterfüllung hin. Diese Schwankungen, die durch die Schleusungen bedingt sind, kommen noch zu dem allgemeinen Verlauf der jahreszeitlichen Bewegungen der Wände hinzu.

Die Setzung der Schleuse beträgt zu Beginn der Fertigstellung 230 mm. Intensiv war die Setzung bis 1962; bis dahin erreichte sie 210 mm.

Wenn im Winter die Schleuse geleert wurde, beobachtet man jährlich eine verringerte Setzung um 10-11 mm (siehe Abb. 2e). Wenn die Kammer im Frühjahr gefüllt wird, nimmt die Setzung um 10-15 mm zu. Eine Zunahme der Setzung um 3-6 mm wird erreicht, wenn die Kammer vom Unterwasser- bis zum Oberwasserstand während der Schleusungen gefüllt wird.

Nach den Meßdaten kann man die Verformungen des Blockspalts während der Jahreszeiten verfolgen (siehe Abb. 2c,d). Seit 1963 macht sich eine jahreszeitliche (sommers) Vergrößerung der Spaltöffnung an der Rückseite und eine größere Stauchung des Betons an der Stirnseite bemerkbar. Seither nimmt die Spaltbreite von der Rückseite her nicht mehr zu. Die größte gemessene Breite betrug 0,2 mm bei einer Meßgenauigkeit von 0,1 mm, deshalb ist es auch nicht möglich, den quantitativen Wert der Öffnungsbreite zu beurteilen. Der Wasserdruck im Blockspalt wurde in einem Grundwasserpegel hinter der Wand gemessen. Gegenüber diesem letzteren war der piezometrische Wasserdruck im Spalt während der Schifffahrtszeit um 2-3 mm höher und im Winter, wenn die Kammer leergepumpt war, um einige Meter niedriger (Abb. 3). Es muß noch hinzugefügt werden, daß das der Stirnseite nächste Piezometer im Winter in vielen Fälle sehr hohe piezometrische Stände anzeigte, die sogar größer als die

Oberwasserstände waren. Diese Anzeigen hingen wahrscheinlich mit dem Gefrieren des Wassers in dem mit dem Instrument bestückten Abschnitt zusammen.

(218)

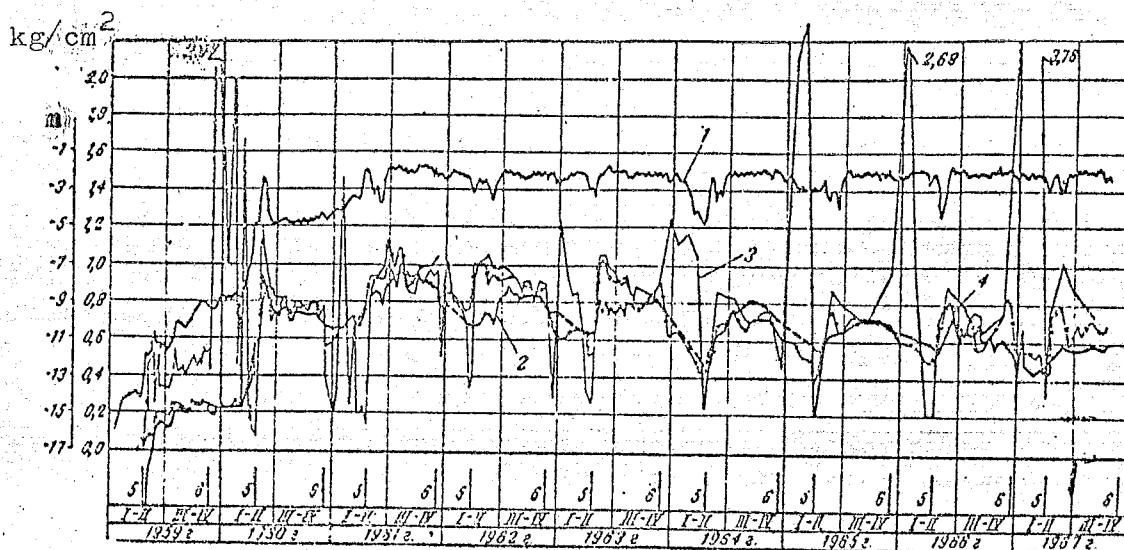


Abb. 3. Wasserdruck im Blockspalt (Während der Schiffsfahrtszeit bei voller Kammer, in den Wintermonaten bei trockener Kammer):
 1 - Oberwasserstand; 2 - Grundwasserspiegel; 3 - Druck im Spalt an der Stirnseite; 4 - Druck im Spalt an der Rückseite; 5 - Füllung der Kammer im Frühjahr; 6 - Leeren der Kammer im Herbst.

(219)

BODENDRUCK

Im Unterschied zu früher veröffentlichten Angaben [6,7] werden der Normaldruck der Anschüttung, das von ihm ausgehende Moment und die Reibungskraft im vorliegenden Artikel nicht auf die ganze Wandhöhe zurückgeführt, sondern von der Wandkrone bis zum untersuchten Blockspalt in einer Tiefe von 17,0 m (siehe die Figur in Abb. 5 über der 17 m-Marke). Nach der Art der Veränderungen des Bodendrucks¹⁾ während der 9-jährigen Beobachtungszeit kann man in drei Abschnitte aufteilen (Abb. 4b).

Im ersten Abschnitt (1959-1962) wurde eine intensive Zunahme des Normaldrucks festgestellt: von 180 t pro laufenden Wandmeter im Sommer 1959 bis 330 t pro laufenden Meter im Sommer 1962.

Die Zunahme des Bodendrucks hängt wahrscheinlich mit der Veränderung seiner Dichte durch die bedingten Bewegungen der Wände und die sich ändernden Belastungen bei Schleusung zusammen.

Nach den Angaben der Baustellen-Untersuchungen erfolgte die Setzung des Grundes hauptsächlich bis zum Einbetonieren des Spannkabels und hatte wahrscheinlich

1) Alle Angaben sind bezogen auf 1 laufenden Wandmeter.

keinen großen Einfluß auf die Veränderung des Bodendrucks.

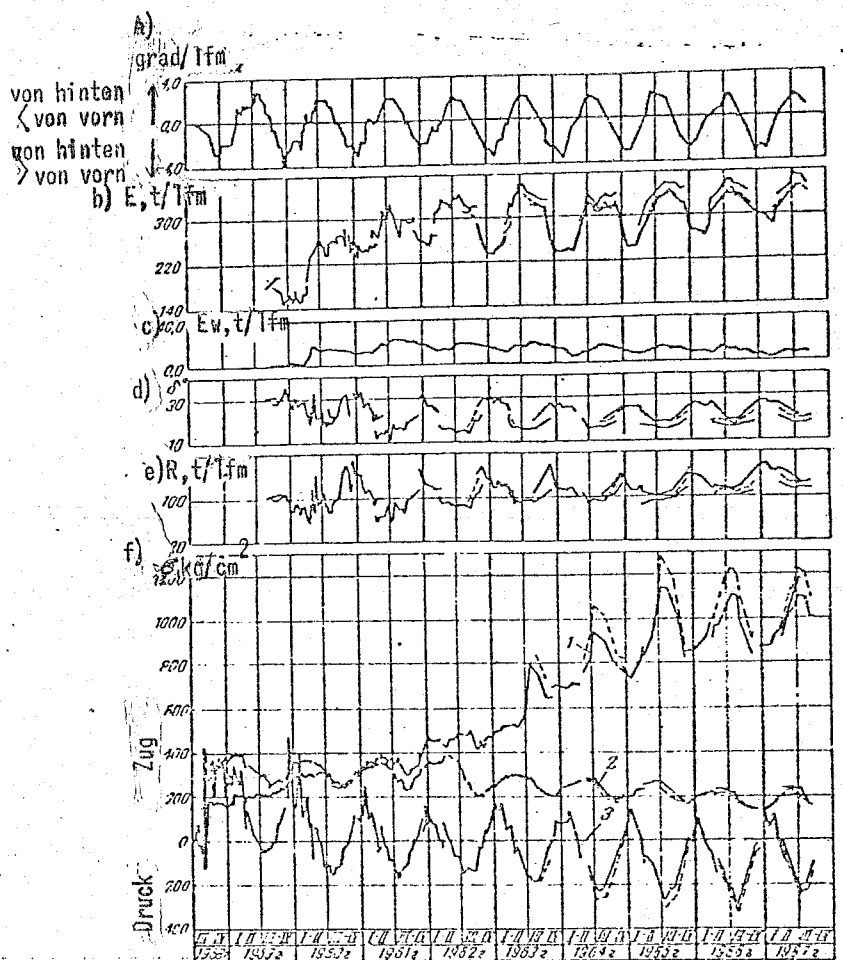


Abb. 4. Zeitliche Veränderung des Bodendrucks, der Reibungskraft und Spannung in der Wandbewehrung:

a - Temperaturgradienten; b - Normaldruck der Anschüttung; c - Grundwasserdruck; d - Reibungswinkel des Bodens über der Wand; e - Gesamtwandreibungskraft; f - Spannungen in der Bewehrung (1 - im Blockspalt an der Rückseite; 2 - im Block an der Rückseite; 3 - im Blockspalt an der Stirnseite):

- | bei voller Kammer
- | bei Kammer auf Unterwasser
- · - | bei trockener Kammer

Im zweiten Abschnitt (1963-1965) wurde eine gewisse Druckstabilisierung der Bodenhinterfüllung festgestellt. Veränderungen des Bodendrucks hatten hauptsächlich jahreszeitlichen Charakter. Die größten Bodendrücke betragen in der Sommerszeit 330-365 t, der geringste in den Wintermonaten 225-237 t. So war der Bodendruck im Sommer ungefähr 1,5 mal größer als im Winter.

Im dritten Abschnitt (1966-1967) wurde eine beträchtliche Druckzunahme der Bodenhinterfüllung in den Wintermonaten festgestellt und nur eine unwesentliche Steigerung im Sommer, die dennoch merklich war, wenn man sie mit den Sommerdrücken des zweiten Abschnitts vergleicht. Der Druck stieg im Winter 1966 bis 1967 auf 283 t. Der maximale Druck im Sommer betrug 373 t, d.h. er war 1,3 mal größer als der Winterdruck.

Die jahreszeitlichen Veränderungen des Bodendrucks wurden über alle Meßjahre hinweg festgestellt (siehe Abb. 4b). Der Bereich der jahreszeitlichen Druckveränderungen war in den verschiedenen Abschnitten unterschiedlich. Im 1. und 2. Abschnitt betragen die jahreszeitlichen Druckveränderungen der Hinterfüllung 100-130 t, im 3. Abschnitt verringerte sich der Bereich der jahreszeitlichen Druckveränderungen auf 80-90 t infolge gestiegener Winterdrücke.

Die gemessenen Bodendrücke und die davon ausgehenden Momente während einer Beobachtungszeit von 5 Jahren sind in Tabelle 1 im Vergleich mit den errechneten Werten dargestellt. Es werden die Höchstwerte angegeben, die im Winter der leeren Kammer und im Sommer der vollen entsprechen.

Aus der Tabelle ist ersichtlich, daß der gemessene Bodendruck beträchtlich über dem errechneten liegt.

T a b e l l e 1

Gemessener Normaldruck des Bodens auf die Wand und errechneter für den Ruhezustand mit $k=0,45$ und die davon ausgehenden Momente¹⁾

Werte	1964		1965		1966		1967	
	16/I	15/VII	23/II	14/IX	18/III	2/VIII	16/III	13/VII
Gemessener Bodendruck t/lfm	229	331	237	355	262	363	283	373
Errechneter Boden- druck, t/lfm	115	115	120	115	116	118	121	120
Verhältnis von gemess- enem zu errechnetem	2,0	2,9	2,0	3,1	2,2	3,1	2,3	3,1
Moment vom gemessenen Druck, t·m/lfm	1159	2023	1143	2209	1375	2228	1347	2257
Moment vom errechneten Druck, t·m/lfm	603	603	622	603	612	613	623	617
Verhältnis von gemess- enem zu errechnetem	1,9	3,4	1,8	3,6	2,2	3,5	2,2	3,7

(224)

Wenn sich die Wand zur Hinterfüllung hin bewegt, was durch die Temperatureinwirkung und das Füllen der Kammer während der Schifffahrtszeit bedingt ist,

1) Errechnete Momente der berechneten und gemessenen Bodendrücke ohne Berücksichtigung der Reibungskräfte.

dann entsteht ein Gegendruck des Bodens. Infolgedessen ist der gemessene Normaldruck des Bodens auf die Wand um etwas mehr als das 3fache größer als der errechnete, und das vom gemessenen Druck ausgehende Moment übersteigt das errechnete beinahe um das 4fache.

Die Größe des errechneten Drucks der Hinterfüllung, wie in der Tabelle angegeben, wurde bestimmt nach der Formel

$$E = \frac{1}{2} q_1 h_1 + \frac{1}{2} (q_1 + q_2) h_2.$$

Dabei wurde die Intensität des Normaldrucks über dem Grundwasserspiegel q_1 und unter dem Grundwasserspiegel q_2 nach den Formeln

$$q_1 = \frac{k \gamma_1 h_1 \cos \varphi_0}{\cos(\alpha + \varphi_0)};$$

$$q_2 = \frac{k (\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2) \cos \varphi_0}{\cos(\alpha + \varphi_0)},$$

berechnet, mit

(222)

- k - Koeffizient des Seitendrucks;
- $h_1 \gamma_1$ - bezüglich Höhe und Raumgewicht des feuchten Bodens;
- $h_2 \gamma_2$ - bezüglich Höhe und Raumgewicht des Bodens unter Auftrieb;
- α - Neigungswinkel der Wandkante zur Vertikale;
- φ_0 - Wandreibungswinkel.

Alle Momente gelten bezüglich der Wandquerschnittsmitte an der 17,0 m-Marke.

Die im Winter gemessenen Bodendrucke sind um mehr als das Zweifache größer als die errechneten. Ebenfalls größer ist im Winter auch das vom gemessenen Bodendruck ausgehende Moment gegenüber dem errechneten.

Wenn die Wandreibung berücksichtigt wird, dann verringert sich der Wert des Moments nach den Angaben für 1966-1967 um 300-400 t·m.

Von den Veränderungen des Wasserstands in der Kammer bei Schleusungen aus gesehen, verändert sich der Bodendruck unmerklich, im ganzen um 10-15 t, was 4 bis 8 % vom Gesamtdruck entspricht.

Die Verteilung des Bodendrucks auf die Wandhöhe wird für die verschiedenen Angaben durch Druckfiguren dargestellt (Abb. 5). Der größte Druckwert wurde in einer Tiefe von 2/3 der Wandhöhe festgestellt, begleitet von einem steilen Druckabfall im unteren Wandabschnitt, was wahrscheinlich mit Erscheinungen der Gewölbebildung im Boden zusammenhängt.

Der Angriffspunkt der Resultierenden des Normaldrucks lag in den Sommermonaten höher als in den Winterzeiten, was auch andere Autoren feststellten [6], nämlich, nach den Angaben von 1965-1967, um 1,3 bis 1,4 m.

WANDREIBUNG

Der Wandreibungswinkel wurde nach den Anzeigen

der Schubmessdose als Verhältnis von Tangentialkraft zu Normalkraft bestimmt. Die Tangentialkomponente des Gesamtbodendrucks nahm, wie die Meßgeräte anzeigten, kontinuierlich während der ersten drei Beobachtungsjahre zu, als der Normaldruck relativ schnell anstieg. In den folgenden Jahren veränderte sich die Tangentialkomponente kaum, die schwankte innerhalb 0,4-0,5 kg/cm² bei fortgesetzten ziemlich starken Schwankungen der Normaldruckkomponente von Winter zu Sommer [9].

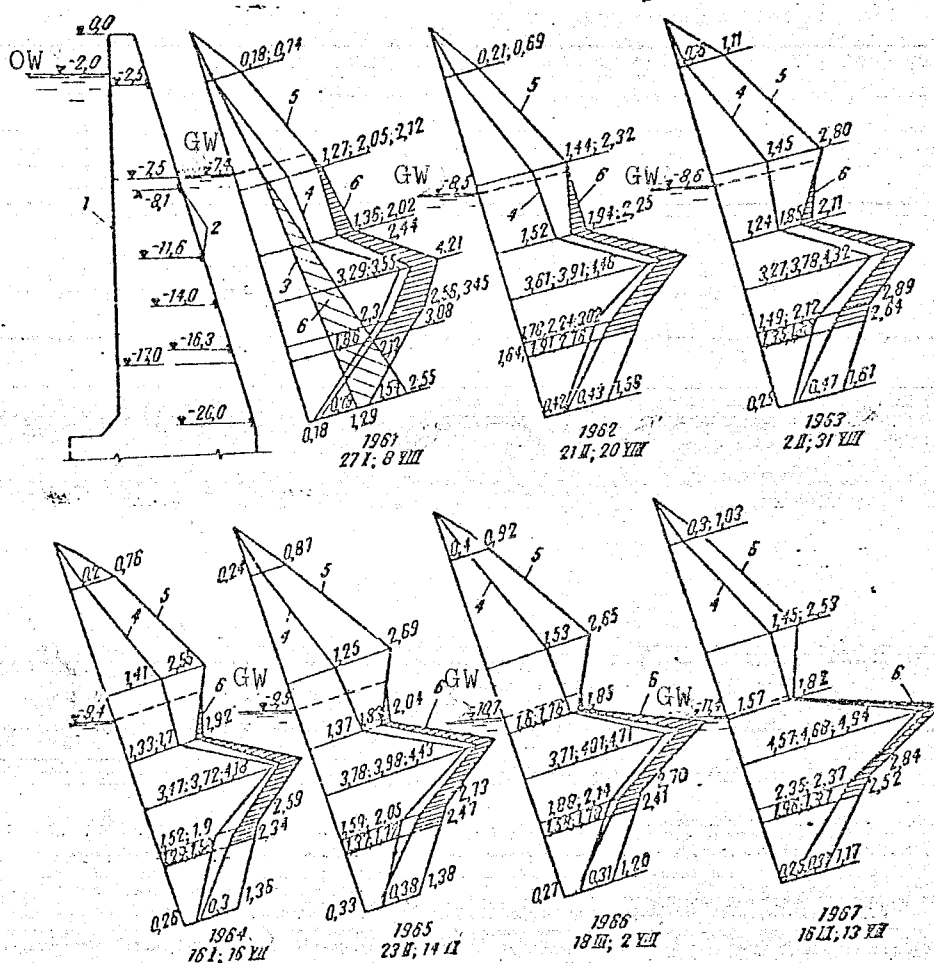


Abb. 5. Zeitliche Veränderung der Figuren des Boden-Normaldrucks auf die Wand:
 1 - Wandquerschnitt; 2 - Boden-Dynamometer; 3 - errechnete Druckfigur bei $k=0,45$; 4 - Figuren des minimalen Boden-Normaldrucks in den Wintermonaten bei leerer Kammer; 5 - Figuren des maximalen Boden-Normaldrucks in den Sommermonaten bei voller Kammer; 6 - Figuren des Grundwasserdrucks (gestrichelt).

In Bezug auf die relative Konstanz des Betrages der Tangentialkomponente traten die Schwankungen im errechneten Wandreibungswinkel infolge der Schwankungen der Normalkomponente auf. Wenn die Normaldruck-

höhe anstieg, nahm der Reibungswinkel ab, und zu bei Abnahme, wobei er innerhalb $15-30^\circ$ schwankte (siehe Abb. 4d). Wenn man annimmt, daß die Reibungskräfte im Allgemeinfall proportional zum Normaldruck in der untersuchten Höhe sind, dann kann man den auf die Wand einwirkenden Gesamttangentialdruck nach der Beziehung

$$T = \frac{t}{p} P,$$

errechnen;

mit t und p - die auf die Tangentialanlageplatte wirkenden Kräfte;

P - die auf die gesamte Wand für dasselbe Zeitmoment einwirkende Normalkomponente.

Wenn wir das Verhältnis t/p als Abweichungswinkel der Resultierenden für die ganze Wandhöhe nehmen und folglich als Reibungswinkel φ bezeichnen, erhalten wir $T = P \operatorname{tg} \varphi$.

Berechnungen, die nach dem besagten Verfahren durchgeführt wurden, zeigten, daß der Gesamtwert der Tangentialkraft, die auf die Wand angriff und seine Stabilität erhöhte, nach den Angaben für 1962-1968 innerhalb 100-150 t schwanken kann. Der Mittelwert ist gleich ~ 125 t (siehe Abb. 4e).

(223)

SPANNUNGEN IN DER BEWEHRUNG

Sowohl in der Bewehrung des Blockspalts an der Stirnseite und der Rückseite wie auch in der Bewehrung des Blocks wurden anfänglich, als der Block betoniert wurde, in Bezug auf die durch die exothermische Reaktion hervorgerufenen hohen Temperaturen Druckspannungen von jeweils 130, 130 und 40 kg/cm^2 registriert. Je nach Abkühlung beim Hartwerden gingen sie in Zugspannungen über und erreichten in der Bewehrung des Spalts an der Stirnseite 300-350 kg/cm^2 , an der Rückseite 200 kg/cm^2 und in der Blockbewehrung 400 kg/cm^2 . Leider werden die Messungen der Spannungen in der Blockbewehrung nur mit einem Meßgerät durchgeführt. Im weiteren Verlauf traten in der Bewehrung der Rückseite nur Zugspannungen auf, in der Stirnseitenbewehrung in den Wintermonaten Zugspannungen und in den Sommermonaten Druckspannungen.

Während der gesamten Beobachtungszeit wurde eine Spannungszunahme in der Blockspaltbewehrung beobachtet: der Zugspannungen in der Rückseite und der Druckspannungen in der Stirnseite. Veränderungen der Spannungen innerhalb eines Jahresablaufs haben stark jahreszeitlichen Charakter (siehe Abb. 4).

Es muß noch erwähnt werden, daß die hier angeführten Werte der Zugspannungen in der Spaltbewehrung an der Rückseite Mittelwerte darstellen nach der Arbeitsbreite des Meßinstruments, die 50 cm beträgt.

Die tatsächlichen Spannungswerte in der Bewehrung auf Spaltebene waren höher, was bei Beurteilung der Meßdaten berücksichtigt werden muß.

Während der neunjährigen Baustellen-Untersuchungen kann man nach den Veränderungen der Spannungen in der Wand drei Abschnitte feststellen (siehe Abb. 4).

Im ersten Abschnitt, von 1959 bis 1962, war der Kurvenverlauf der Spannungszunahme flach. In der Bewehrung der Rückseite (im Blockspalt) stiegen die Spannungen von 300 kg/cm^2 im Jahr 1959 auf 500 kg/cm^2 im Jahr 1962. Der Bereich der jahreszeitlichen Spannungsschwankungen betrug in dieser Zeit 100 kg/cm^2 . Die Spannungen in der Stirnseitenbewehrung sind in diesem Abschnitt durch eine Zunahme der Zugspannungen und den Übergang in Druckspannungen in den Sommerperioden charakterisiert. In der Blockbewehrung waren die Spannungen im Sommer höher als im Spalt; sie betragen $350\text{-}400 \text{ kg/cm}^2$, ein zeitlicher Anstieg konnte jedoch nicht festgestellt werden. In diesem Abschnitt lag, wie bereits erwähnt, der intensive Anstieg des Bodendrucks der Hinterfüllung. Eine Öffnung des Blockspalts wurde mit den Meßinstrumenten nicht gemessen.

Für den zweiten Abschnitt, von 1963 bis 1965, ist ein steiler Anstieg der Spannungen in der Spaltbewehrung in der Rückseite charakteristisch: von 520 kg/cm^2 im Jahr 1963 auf 1140 kg/cm^2 im Jahr 1965, bei voller Kammer und bis auf 1277 kg/cm^2 auf Unterwasser. Der Bereich der jahreszeitlichen Spannungsschwankungen stieg in diesem Abschnitt auf 450 kg/cm^2 an. Das intensive Ansteigen der Zugspannungen in der Spaltbewehrung an der Rückseite wurde im zweiten Abschnitt von einer merklichen Zunahme der Druckspannungen in der Stirnseitenbewehrung bis 300 kg/cm^2 im Jahr 1965 begleitet. Dabei nahmen die Spannungen in der Blockbewehrung nicht zu, sondern ab von 390 kg/cm^2 im Jahr 1962 auf 270 kg/cm^2 im Jahr 1965. Wie bereits erwähnt, erreichte der Bodendruck im zweiten Abschnitt einen hohen Wert: 360 t/lfm im Jahr 1963 und nahm in diesem Abschnitt dann nicht mehr zu, sondern zeigte nur Schwankungen mit jahreszeitlichem Charakter. Ein so großer Bodendruck der Hinterfüllung ist durch die Temperaturabweichung der Wand bedingt; sie rief einen beträchtlichen Anstieg der Spannungen der Rückseitenbewehrung hervor, die von einer breiter werdenden Öffnung des Blockspalts von der Rückseite her und eine Stauchung des Betons von der Stirnseite begleitet wurde.

Im dritten Abschnitt, von 1966 bis 1967, wurde eine gewisse Stabilisierung der größten Sommerspannungen in der Bewehrung an der Rückseite festgestellt, die nicht mehr über 1230 kg/cm^2 hinausgingen. Die Spannungen in der Bewehrung während der Winterzeit stiegen jedoch weiter etwas an. Gleichzeitig beob-

(224)

achtete man im Winter auch einen Anstieg des Bodendrucks, wie schon bemerkt, und ebenfalls jahreszeitliche Öffnungen des Blockspalts. Der Bereich der jahreszeitlichen Spannungsschwankungen betrug im dritten Abschnitt in der Spaltbewehrung ungefähr 400 kg/cm^2 .

Wenn die Kammer vom Oberwasserstand auf 11-12 m geleert wird, dann ruft dies in der Spaltbewehrung an der Rückseite eine Zunahme der Zugspannungen um $100-130 \text{ kg/cm}^2$ hervor und in der Bewehrung der Stirnseite eine Zunahme der Druckspannungen bis 50 kg/cm^2 .

ERGEBNISSE

1. Den ganzen, innerhalb von 9 Jahren erfolgten Ablauf der Verformungen der Schleusenkammerwände, der Veränderung des Drucks der Hinterfüllung und des Spannungszustand des Wände kann man in drei charakteristische Abschnitte gliedern.

Erster Abschnitt (1959 - 1962)

Es erfolgt eine steile Druckzunahme der Hinterfüllung bei beträchtlichen jahreszeitlichen Schwankungen infolge Verformungen der Wand unter Temperatureinwirkung und Veränderung der Belastungen bei Schleusungen. Die Spannungen in der Bewehrung an der Wandrückseite sind nicht größer als 500 kg/cm^2 .

Zweiter Abschnitt (1963 - 1965)

Die Zugspannungen in der Bewehrung der Rückseite steigen steil an (bis 1280 kg/cm^2). Die Druckspannungen an der Stirnseite nehmen ebenfalls zu. Der Blockspalt an der Rückseite öffnet sich bis auf 0,2 mm. Der Stahlbeton war im Zustand III.

Der Bodendruck stieg im gesamten nicht an und betrug 360-365 t/lfm.

Dritter Abschnitt (1966 - 1967)

Die Druckhöhe der Hinterfüllung nahm im Winter zu. Der Unterschied zwischen Sommer- und Winterdruck betrug 80-90 t gegenüber 130 t im zweiten Abschnitt. Die Spannungen in der Bewehrung und die Öffnungen des Blockspalts veränderten sich kaum.

2. Die zahlreichen, bei den Schleusungen verursachten Abweichungen der Wände führten zu einer stetigen Zunahme des Drucks der Hinterfüllung, die um das 3,1-fache im Sommer und das 2,3-fache im Winter größer war als der Druck nach Coulomb. Dies zeigt

die Unvollständigkeit der gegenwärtigen Methoden zur Berechnung des Bodendrucks auf die Kammerwände, und wie nötig es ist, sie zu berichtigen.

3. Damit, daß die Verformungsvorgänge der Konstruktion und die Veränderungen des Bodendrucks weitergehen und die Spannungen in der Bewehrung einen beträchtlichen Wert erreichten, ist verbunden, daß die Baustellen-Untersuchungen fortgesetzt werden müssen.

Es muß auch eine detaillierte rechnerische Analyse der auf Grundlage der Baustellen-Messungen gewonnenen Angaben durchgeführt werden.

4. Die neunjährige Baustellen-Beobachtungszeit zeigte, wie zuverlässig die Methode der Schwingsaitenmessung ist. Von den 46 eingesetzten Dynamometern fielen nur 4 aus, die übrigen liefern zuverlässige Anzeigen.

5. Bei Ausführung ähnlicher Untersuchungen an anderen Bauwerken erweist es sich als notwendig: Instrumente zur Bestimmung der Normal- und Tangentialkomponente des Bodendrucks mit kleineren Intervallen und über die ganze Wandhöhe einzusetzen; Beobachtungen über die Verformungen, den Spannungszustand und die Temperatur in der Wandhinterfüllung anzustellen; genauere Beobachtungen der Verformungen und des Spannungszustandes der Wände selbst durchzuführen.

L I T E R A T U R

1. Basevič, A[kim] Z[acharovič]: *Massivnye gidrotehničeskie sooruženija s iskusstvennym obžatjem betona* (Massive Wasserbauten mit künstlicher Druckbeanspruchung des Betons). Leningrad-Moskva: Gosudarstvennoe izdatel'stvo literatury po stroitel'stvu i architekture, 1957.
2. *Ukazanija po proektirovaniju sudochnodnych šljuzov SN 303-65* (Instruktionen zur Planung von Schiffschleusen. Baunormen Nr 303-65). Moskva: Izdatel'stvo literatury po stroitel'stvo, 1966.
3. Burmistrov, M.A., Kotenkov, Ju.K.: *Naturnye issledovanija statičeskoj raboty kamery šljuza*. - *Gidrotehničeskoe stroitel'stvo*. Moskva, 1967, Nr 3, S. 33-38.
cover-to-cover-translation: *Field investigations of the static behaviour of a navigation lock chamber*. - *Hydrotechnical construction*. New York, 1967, Nr 3 (march), S. 248-254.
4. Michajlov, A[ndrej] V[asil'evič]: *Sudochnodnye šljuzy* (Schiffahrtsschleusen). Moskva: Izdatel'stvo "Transport", 1966.
5. Michajlov, A.V.: *O vlijanii temperaturnych vozdejsvij na naprjažennoe sostojanie konstrukcij dokovogo*

- tipa.
- Gidrotehničeskoe stroitel'stvo. Moskva, 1967, Nr 9, S. 16-20.
cover-to-cover-translation: Effect of temperature variations on the stressed state of dock-type structures.
- Hydrotechnical construction. New York, 1967, Nr 9, S. 787-792.
6. Carev, A.I., Fel'dman, A.N.: Davlenie pesčanyh zasypok na stenki dokovyh konstrukcij kamer sudochodnyh šljuzov.
- Gidrotehničeskoe stroitel'stvo, Moskva, 1965, Nr 9, S. 22-26.
cover-to-cover-translation:[?]: "Pressure of sandy backfills on chamber walls of navigation locks."
7. Techničeskij otčet o proektirovanii i stroitel'stve Volžskoj GĖS im. XXII s'ezda KPSS, t. 1 (Technischer Bericht über Planung und Bau des Wolga-Kraftwerkes names 22. KPdSU-Kongreß, 1. Band). [Moskva]: Izdatel'stvo "Energija", 1965.
8. Michajlov, A.V.: O vlijanii temperaturnyh vozdeystvij na naprjažennoe sostojanie konstrukcij dokovogo tipa.
- Gidrotehničeskoe stroitel'stvo. Moskva, 1967, Nr 9, S. 16-20.
cover-to-cover-translation: siehe [5].
9. Carev, A.I.: Izmerenie kasatel'nyh naprjaženij v kontakte sooruženija s neskal'nym gruntom. Trudy koordinacionnyh soveščanij po gidrotehnikе (Messung der Tangentialspannungen bei Berührung eines Baus mit nicht felsigem Grund. Arbeiten der Koordinationsversammlungen zur Hydrotechnik). V[sesojuznyj] N[aučno-]I[ssledovatel'skij]I[nstitut] G[idrotehniky] (Unions-Forschungsinstitut für Wasserbau). [Moskva], Vypusk (Folge) 29, 1966.

Stuttgart, den 17. Juli 1975

i.A.

Ottmar Pertschi
(Ottmar Pertschi)
Dipl.-Übersetzer