

Carev, A.I.

Wissenschaftliches S.Ja. Schuk-Forschungsinstitut "Gidroproekt"

ÜBER DIE EFFEKTIVITÄT VON BAUSTELLENUNTERSUCHUNGEN BEIM  
BAU VON WASSERBAUWERKEN

Übersetzung aus:

Trudy koordinacionnyh soveščanij po gidrotechnike.  
Moskva, 91, 1 (1974), S. 96 - 100.

Russ.: ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И ИССЛЕДОВАНИЙ  
В ПЕРИОД ВОЗВЕДЕНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Ob éffektivnosti naturnych nabljudenij i issledovanij  
v period vozvedeniija gidrotechničeskich sooruzenij.

Beim  
Bau von Wasserbauwerken stellt sich gewöhnlich ein Komplex verschiedener Probleme auf, die die Verbesserung der Herstellungstechnologie der Arbeiten, die Prüfung des Verhaltens verschiedener Konstruktionen, die Zweckmäßigkeit einiger technologischer Lösungen u.a. betreffen, wobei unbedingt Naturuntersuchungen durchgeführt werden müssen. In diesem Zusammenhang werden im Aufsatz Fragen der Beurteilung der technisch-wirtschaftlichen Effektivität in Abhängigkeit von der Durchführung solcher Untersuchungen am Beispiel einiger Bauwerke in der UdSSR behandelt. Angegeben werden die wichtigsten Ergebnisse von Naturparametern, deren rechtzeitige Aufnahme und Analyse das normale Verhalten eines Bauwerks gewährleisten.

DK 626/627.03.001.42

5 S, 4 B, - T, - Q

TIB Hannover:

(F/S)

S bau R 890/ZZ 2005(91,1), S. 96-100

Beim Bau von Wasserbauwerken ist es in der Regel erforderlich, eine größere Anzahl von Baustellenmessungen und -untersuchungen durchzuführen. Auf große Schwierigkeiten stößt man jedoch, wenn man die Art und den Umfang solcher Untersuchungen im voraus wirtschaftlich begründen und ihren

Erfolg voraussagen muß. Diese Schwierigkeiten hängen in beträchtlichem Maße damit zusammen, daß in der Literatur ungenügend geklärt ist, welche Maßnahmen die Funktion eines Bauwerks sicherstellen können; der Zeitpunkt und Umfang dieser Maßnahmen kann wiederum nur aus den Ergebnissen von Baustellenuntersuchungen abgeleitet werden.

Es gibt sehr wenig Literaturhinweise über Generalüberholungen oder laufende Reparaturarbeiten, die darauf abzielen, die Sicherheit der Bauwerke zu steigern. Nachstehend werden einige charakteristische Fälle kurz beschrieben, wie die Ergebnisse von Baustellenuntersuchungen wirkungsvoll eingesetzt werden können, um die Funktion der Anlagen zu gewährleisten. Eine solche Beschreibung ist nach unserer Meinung für die Ausarbeitung einer Methode notwendig, mit der der wirtschaftliche Erfolg von Baustellenmessungen und -untersuchungen bestimmt werden kann.

1. Verhinderung der Bewegung einer Stützwand auf die andere. Die zwei Stützmauern I und II (Abb. 1), die zueinander im rechten Winkel stehen, verbinden den Sturzboden eines Wasserkraftwerkes aus Stahlbeton mit dem darunterliegenden Keil des aus Erde bestehenden Wehres. Der Untergrund im Wandbereich besteht aus alluvialem Kiessand, unter dem Moränen-Lehm gelagert ist. In die Fuge 1 zwischen den Wänden wurden Bitumen-Matten eingelegt. Aufgrund der Sohlenneigung zum Sturzboden hin hat die Wand II eine variable Höhe. Dort, wo diese Wand an die Wand I anschließt und wo sie gleichzeitig ihre größte Höhe hat, wurde Kiessand aufgeschüttet.

Hinterfüllt wurde erst, nachdem die Stützmauern bis zur Krone fertiggestellt waren. Während der Hinterfüllung des unteren Bereichs wurde mit Hilfe einer Kontroll- und Meßapparatur, die in der Wand I untergebracht war, festgestellt: die Wand I beginnt sich zum Sturzboden hin zu neigen; die horizontalen Blockfugen an der Hinterkante der Wand I öffnen sich; die Spannungen in der hinteren Bewehrung von Wand I sind beträchtlich größer als die rechnerischen Werte. Durch entfernen der Hinterfüllung und durch Abbruch der Umlaufgräben an der Fundamentplatte konnte festgestellt werden, wie sich der Zustand der Fuge 1 und des Untergrunds der Wand II verändern. Die Meß- und Beobachtungsergebnisse lassen mit aller Bestimmtheit den Schluß zu, daß sich die Wand II zu

der Wand I neigte und auf sie zubewegte; der Grund dafür ist, daß die Bodenaufschüttung 2 im Untergrund nicht genügend verdichtet worden war. Die Stützkraft wurde auf die Wand I nur im oberen Teil 3 übertragen, da die Fuge I im unteren Wandabschnitt geöffnet war. Weiteres Hinterfüllen kann dazu führen, daß die Wand I an Stabilität verliert oder sogar bricht.

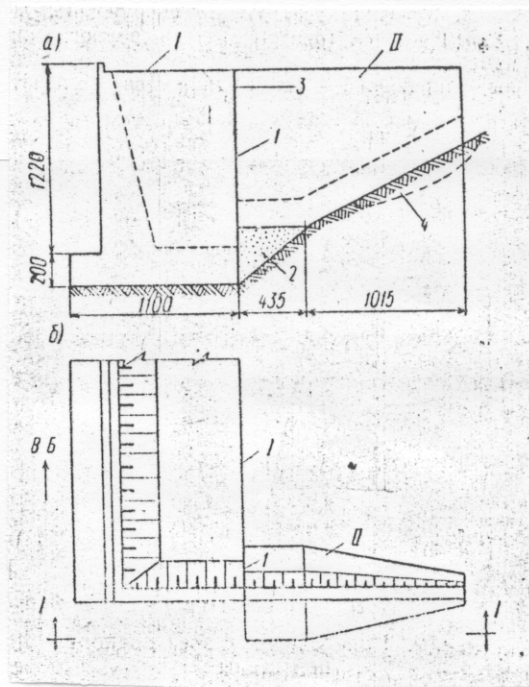


Abb. 1. Lage der Stützwände I und II:  
a) vertikaler Schnitt; b) Draufsicht;  
1) Fuge zwischen den Wänden; 2) Bodenaufschüttung; 3) Stützkraft der Wand II auf die Wand I; 4) Bodenabtragung bei der Beseitigung eines Störfalls der Wände.

Daß die Stützwände nach ihrer Ausführung zerstört werden könnten, wurde durch folgende Maßnahmen verhindert: die Bodenaufschüttung des Untergrundes der Wand II wurde im Abschnitt 2 mit Zement vermörtelt; durch Untergraben der Stirnseite von Wand II wurde der Aufschüttgrund von der Wand I weg unter den Endabschnitt der Fundamentplatte von Wand II gedreht (Abschnitt 4).

2. Steigerung der Sicherheit und Lebensdauer einer Stützmauer. Eine Winkelstützmauer (Abb. 2) wurde mit einer Kontroll- und Meßapparatur ausgestattet, mit deren Hilfe gemessen werden konnten: Größe und (höhenmäßige) Verteilung des Erddrucks der Hinterfüllung auf die Wand; die Spannungen in der rückseitigen Wandbewehrung; die Bewegungen in den horizontalen Blockfugen in der Wand. Die Messungen wurden durchgeführt, um die Methode zur Berechnung von Stützmauern zu verbessern.

Nach dem Hinterfüllen mit Kiessand waren der Erddruck aus der Hinterfüllung auf die Mauer, die Spannungen und Wandverformungen größer als die zulässigen Werte. Die Resultierende des Normalerddrucks der Hinterfüllung lag 35 % über dem rechnerischen Wert; dieser wurde nach SNiP<sup>1)</sup> mit einem Wandreibungswinkel von  $\delta = \varphi/2$  bestimmt. Im unteren Wandquer-

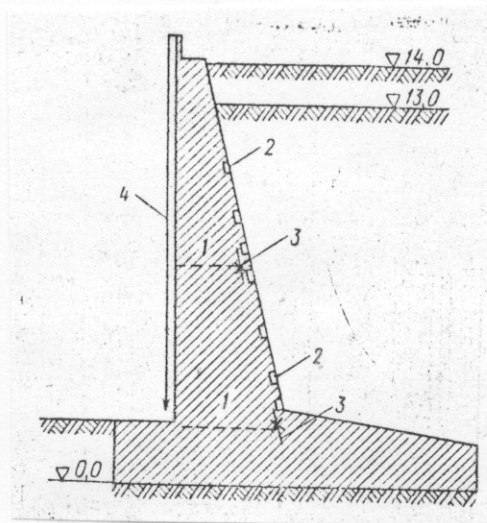


Abb. 2. Querschnitt durch die Stützmauer:

1) Blockfugen; 2) Erddruckgeber; 3) Spannungsgeber in der Bewehrung; 4) Lot.

schnitt war das Moment 65 % größer als der rechnerische Wert. Die Spannungen in der rückseitigen Bewehrung betragen dabei ungefähr  $1\,750 \text{ kp/cm}^2$ , und der untere Blockspalt öffnete sich um 0,35 mm, wohingegen nach SNiP nur 0,2 mm zulässig sind.

<sup>1)</sup> Stroitel'nye normy i pravila - Baunormen und -vorschriften (Anm. d. Übers.)



Die ermittelten Werte der Belastung, Spannungen und Verformungen ließen eine schnelle Beschädigung der Wand nicht erwarten, aber haben auch nicht sichergestellt, daß die Anlage auf Dauer standsicher und langlebig ist. Deshalb wurde die Entscheidung getroffen, die Wand durch 1,0 m weniger Hinterfüllung zu entlasten. Die nach dieser teilweisen Wandentlastung durchgeführten Messungen zeigten, daß der Erddruck aus der Hinterfüllung, die Spannungen und Verformungen der Wand den rechnerischen Werten nahe kamen.

3. Verstärkung der Konstruktion einer Schleusenanlage. Die Stahlbetonkammer mit der fugenlosen Sohle (Abb. 3) einer hohen Schleuse wurde mit Meß- und Kontrollgeräten ausgestattet, um den Erddruck infolge Hinterfüllung auf die Wände, die Spannungen und Verformungen der Wände, den Temperaturverlauf im Beton usw. zu messen.

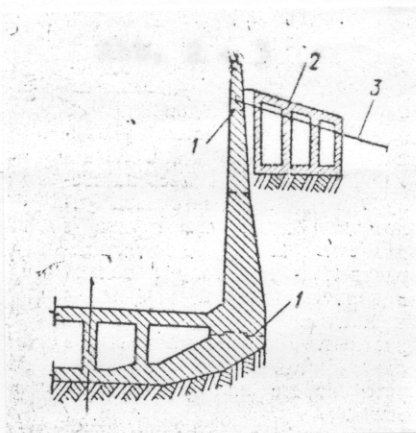


Abb. 3. Querschnitt durch die  
Kammerwand der Schifffahrtsschleuse:

- 1) Blockfugen;
- 2) Stahlbetonkästen;
- 3) Verankerung der Kammerwand.

Die Messungen während der Bauzeit, als die Kammerwände und die Hinterfüllung noch nicht bis zur geplanten Kote ausgeführt waren, zeigten, daß der Erddruck und dementsprechend auch die Spannungen in den Wänden über den errechneten Werten lagen. Dies hing mit Fehlern an der angewandten Methode zur Berechnung des Erddrucks zusammen, was auch durch

die Ergebnisse von Baustellenuntersuchungen an einigen gleichartigen Bauwerken bestätigt wurde. Es ist allgemein festzustellen, daß der planmäßige Abschluß der Erstellung der Schleusenammer nicht gewährleistet, daß die Anlage standsicher und langlebig ist. Das Bauprojekt wurde entsprechend den Ergebnissen von Baustellenuntersuchungen über den Erddruck auf die Wände von Schleusenanlagen revidiert. Im neuen Schleusenentwurf wurde der obere Teil der Wandhinterfüllung in 11,5 m Höhe durch Stahlbetonkästen ersetzt, und die Wandkrone mit Hilfe von Stahllankern und Ankerblöcken, die hinter dem Bodenprisma im Baugrund lagen, verankert. Dadurch konnten die Spannungen und Verformungen in den Wänden wesentlich vermindert werden; dies wurde durch die Messungen bestätigt, welche einige Jahre lang auch nach Errichtung der Schleuse durchgeführt wurden.

4. Veränderung der Betonierfolge der Bauwerksblöcke auf nichtfelsigem Grund. Die Stahlbetonfundamentplatte des unter Auftrieb stehenden Bauwerks eines Wasserkraftwerks wurde durch die Blockfugen 1 und 2 (Abb. 4) in Stromrichtung in drei Abschnitte aufgeteilt: obere Schürze, Mittelteil und untere Schürze. In den besagten Blockfugen wurden an der Längsbewehrung Geräte zur Messung der Spannungen, sogenannte Saitendynamometer (konstruiert vom wissenschaftlichen Forschungsinstitut GIDROPROEKT) angebracht.

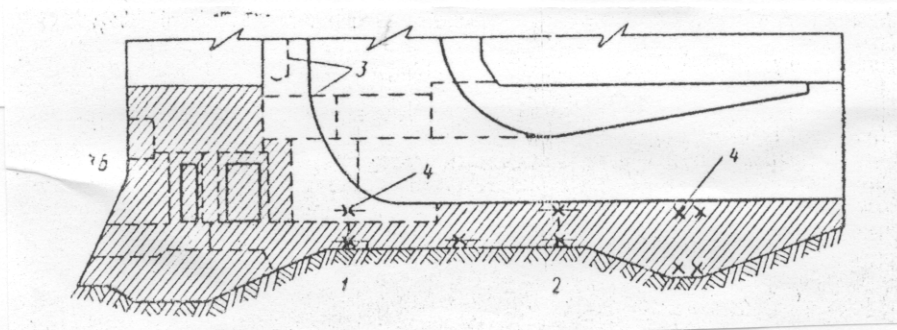


Abb. 4. Querschnitt durch den unteren Abschnitt eines Wasserkraftbauwerks:  
1, 2 und 3) Blockfugen; 4) Spannungsgeber in der Bewehrung.

Nach dem Betonieren der Blöcke der Fundamentplatte nach den Vorschriften über die Durchführung von Bauarbeiten an einigen Abschnitten des Wasserkraftbauwerkes erschien es geeigneter zu sein, die Blöcke zu betonieren, die über der oberen Schürze liegen. Bei dem in Abb. 4 gestrichelt dargestellten Betonierungsstand wurde durch Messungen festgestellt, daß sich der Blockspalt 1 durch Setzung und Neigung des oberen Plattenabschnitts infolge Eigengewicht der darüberliegenden Blöcke zum OW hin um 8 - 10 mm schloß; die Spannungen in der oberen Bewehrung erreichten  $2\ 300\ \text{kp/cm}^2$ . Ein weiteres Betonieren von Blöcken über der oberen Schürze hätte schwere Folgen für die Anlage mit sich gebracht, einschließlich der, daß die Bewehrung in der Fuge 1 hätte reißen können. Deshalb wurde die Entscheidung getroffen, das Betonieren des oberen Abschnitts einzustellen und zuerst den mittleren und unteren Teil des Bauwerks zu errichten.

Durch die dadurch erreichte gleichmäßige Verteilung der Belastung der Fundamentplatte nahmen die Stahlspannungen ab und die Fuge 1 schloß sich nicht weiter.

5. Änderung der Fertigungstechnik beim Errichten des Kerns eines Stirn- und Erddamms. Der Tonkern eines hohen Stein- und Erddamms wurde durch Seitenablagerung des Grundes ins Wasser errichtet ("Naßverfahren"). Zur Beobachtung der Verformungen des Kerns wurden Kontroll- und Meßgeräte angebracht und senkrechte Beobachtungsschächte eingelassen. Durch luftdichtes Verbinden der einzelnen Stahlglieder untereinander konnte jedes Glied um 50 cm gegenüber seinem unteren Glied gesenkt und um  $1^\circ$  zu jeder Seite geneigt werden. Die horizontalen und vertikalen Verschiebungen der Glieder, die in dem umgebenden Baugrund verankert waren, gaben die Verformungen des Dammkerns ausreichend gut wieder. Außerdem wurden in den Schächten Spezialgeräte untergebracht, mit denen man Erdproben in verschiedenen Tiefen von der Kernspitze entnehmen konnte.

Die Messungen der Verschiebungen der Schachtglieder und die Untersuchungen der Erdproben im Anfangsstadium der Errichtung des Dammkerns zeigten, daß die Dichte und Verformbarkeit des Tonkerns nicht den technischen Anforderungen an das Projekt entsprachen. Die Ergebnisse

dieser und anderer Messungen und Beobachtungen dienten als Grundlage für eine umwälzende Änderung der Technik des Errichtens eines Dammkerns. Der Lehm wurde im Trockenverfahren abgelagert und schichtweise mechanisch verdichtet.

6. Andere Fälle von wirksamer Verwendung der Ergebnisse von Baustellenuntersuchungen. Die ausreichend vollständigen Angaben von Baustellenuntersuchungen über die statische Arbeitsweise einer zu errichtenden Anlage lassen es häufig zu, die provisorische Benutzung der Anlage in nicht abgeschlossenen Bauzustand zu beschleunigen. So war es z.B. möglich, die Saratow-Schleuse provisorisch mehr als ein Jahr vor dem Abschluß der Betonierarbeiten der oberen Abschnitte der Kammerwände und der Hinterfüllung in Betrieb zu nehmen, weil man auf die Ergebnisse der Messungen über die Spannungen und Verformungen der Kammerwände, des Erddrucks auf die Wände, den Temperaturverlauf im Beton u.a. zurückgreifen konnte. Die Vor- und Nachteile einer rechnerisch komplizierten Konstruktion oder eines neuen Verfahrens zur Durchführung der Bauarbeiten erfordern in den meisten Fällen Angaben von Beobachtungen und Messungen unmittelbar am Bauwerk. Eines der neuesten Beispiele für eine derartige Anwendung von Baustellenuntersuchungen ist die Begründung und weitere Entwicklung des schichtweisen kranlosen Betonierverfahrens beim Dammbau des Toktogul-Wasserkraftwerkes ("Toktogul-Methode"). Die Messungen der Temperatur, der Verformungen und Spannungen im Beton der Versuchsblöcke, die im Schichtverfahren betoniert wurden, zeigten daß dieses Betonierverfahren technisch geeignet ist, die Betonplatte ohne Fugen herzustellen.

### Ergebnisse

1. Die Erfahrungen bei der Durchführung von Baustellenuntersuchungen beweisen, daß durch solche Untersuchungen im großen Umfang die notwendige Sicherheit und lange Lebensdauer von Bauwerken sichergestellt werden kann, und daß in einigen Fällen größere Aufwendungen für eine Verstärkung oder vorzeitige Reparatur der Anlage vermieden werden können.

2. Die Überprüfung oder Begründung neuer Konstruktionsvorschläge, Techniken zur Durchführung der Bauarbeiten u.a.m. erfordern in den



meisten Fällen, daß umfangreiche Baustellenuntersuchungen und -messungen durchgeführt werden.

3. Die Aufwendungen für die Baustellenuntersuchungen von Anlagen, die sich von den früher gebauten aufgrund ihrer Konstruktion, Abmessungen, Arbeitsweise, Bauverfahren u.a.m. wesentlich unterscheiden, sind gerechtfertigt und vor allem wirtschaftlich.

---

Stuttgart, den 12. März 1980

Übersetzt von

*Ottmar Pertschi*  
(Ottmar Pertschi)  
Dipl.-Übersetzer