

U/218

Carev, A.I., Fel'dman, A.I., Lavrov, B.A.

Wissenschaftliches S.Ja. Schuk-Forschungsinstitut "Gidroproekt"

PROBLEME DER METHODIK ZUR MESSUNG DES ERDDRUCKS AUS SANDHINTER-
FÜLLUNGEN AUF BAUWERKE

Übersetzung aus:

Trudy koordinacionnyh soveščanij po gidrotechnike.
Moskva: 91, 1 (1974), S. 132 - 136.

Russ.: ВОПРОСЫ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ
ПЕСЧАНЫХ ЗАСЫПОК НА СООРУЖЕНИЯ
Voprosy metodiki izmerenija davlenija
pescaných zasypok na sooruzenija

Erörtert und verallgemeinert werden
Meßangaben des Bodendrucks, der Spannungen in der Bewehrung,
der Verformungen usw. in Schleusen von zwei Wasserkraftwerken
an der Wolga sowie von den Wotkinsk-, Saratow- und Kiew-Wasser-
kraftwerken. Beurteilt wird die Zuverlässigkeit der Meßergebnis-
se des Bodendrucks. Ferner werden die Meßfehler untersucht,
Empfehlungen zur Verbesserung der Methodik der Druckmessungen
des Bodens und zur optimalen Anordnung der Meßapparatur bei Na-
turuntersuchungen.

DK 624.131.52

5 S, - B, 1 T, 3 Q

TIB Hannover:

(F/S)

S bau R 890/ZZ 2005(91,1), S. 132-136

Die Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit der Schleusenammern und
Stützwände von Wasserbauwerken aus Stahlbeton, die auf nicht felsigem
Baugrund errichtet wurden, hängt größtenteils von der richtigen Wahl

**Übersetzungsstelle
der Universitätsbibliothek Stuttgart**

der Berechnungsmethode und der Lastansätze ab. Eine der Hauptbelastungen, die den Spannungszustand der Wände bestimmen, ist der Erddruck aus der Hinterfüllung. Die z.Zt. gültigen Baunormen und Bauvorschriften II-I 10-65¹⁾ enthalten die Empfehlung, den Erddruck unter Berücksichtigung der Verformungen der Bauwerke zu berechnen. Diese Empfehlung wurde aufgrund von Ergebnissen theoretischer und praktischer Untersuchungen über das Verhalten von Bauwerken ausgesprochen. Dennoch wurden diese Ergebnisse bei der Planung von neuen Bauwerken in den Berechnungen bis zum heutigen Tag nur teilweise berücksichtigt. Da es keine einheitliche Methodik der Messungen und der Verfahren gibt, die Richtigkeit und Zuverlässigkeit der Meßergebnisse zu bewerten, wird die Möglichkeit erschwert, die errechneten und die gemessenen Werte objektiv zu vergleichen; auch lassen sich keine ausreichend fundierten Schlußfolgerungen aus den Ergebnissen eines solchen Vergleichs ziehen.

Zur Bestimmung der Güte vorhandener langdauernder Baustellenmessungen und zur genauen Beschreibung der Verfahren zur Messung des Erddrucks wurden die Meßmethoden sowie die Untersuchungsergebnisse ausgewertet, welche sich bei den Schleusen des V.I. Lenin-Wolgakraftwerkes und des XXII. KPdSU-Kongreß-Wolgakraftwerkes sowie bei den Schleusen des Wotkinsk-, Saratow- und Kiew-Wasserkraftwerkes und auch bei den Stützmauern des V.I. Lenin-Pljavinjaskraftwerkes ergaben²⁾.

Der Erddruck auf die oben genannten Bauwerke wurde mit Hilfe von Bodendynamometern gemessen. Diese vom NIS Hidroproekt hergestellten Geber wurden in Gruppen über die ganze Wand angebracht. Eine Gruppe bestand dabei normalerweise aus drei bis vier Gebern, die auf demselben Hinterfüllungsniveau lagen.

1) SNiP II-I 10-65 - Stroitel'nye normy i pravila II-I 10-65
(Anm. d. Übers.)

2) Die Untersuchungen wurden vom Leninorden-Unionsforschungsinstitut für Projektierung und Untersuchung beim Bau wasserbaulicher Anlagen namens S.Ja. Schuk (NIS institut Hidroproekt im. S.Ja. Žuka) sowie an der Kiever Schleuse von der Ukrainischen Abteilung desselben Instituts (NiO Ukrgidroproekt) durchgeführt.

Die Ergebnisse der Baustellenmessungen des Erddrucks auf die Stützmauern der Bauwerke beweisen, daß die Spannungen im Kontaktbereich Baugrund - Beton ungleichmäßig verteilt sind. Dies geht aus den Ablesungen der Geber hervor, die in derselben Tiefe der Hinterfüllung angebracht waren. Die größten Abweichungen von den mittleren Spannungen in ein und derselben Tiefe betragen 25 - 70 %. Diese Streuung der Spannungen ist durch eine Reihe von Faktoren bedingt; Hauptfaktor ist die Inhomogenität der physikalischen und mechanischen Eigenschaften des Baugrunds selbst. Da die Inhomogenität des Baugrundes stochastischer Art ist, kann man die Richtigkeit der Messungen mit Hilfe statistischer Methoden bewerten. Für die statistische Analyse wurden die Beobachtungsdaten der Schleusen des XXII. KPdSU-Kongreß-Wolgakraftwerkes, des Leninistischer Kommunistischer Jugendverband-Saratowwasserkraftwerkes und der Winkelstützmauer des Lenin-Pljavinjaskraftwerkes verwendet.

Wenn sich die mittleren Spannungen über die Tiefe der Hinterfüllung nach dem Funktionalgesetz ändern, dann sind die Veränderungen der Spannung über die Länge des Bauwerks und in geringen Abschnitten auch über die Tiefe der Hinterfüllung stochastischer Art. Die Spannungen an verschiedenen Punkten ein und derselben Tiefe sind von einander unabhängig; über die gesamte Länge des Bauwerks bilden sie eine Menge unabhängiger Zufallsgrößen. Über das Gesetz der Verteilung der Spannungen der untersuchten Menge wurden folgende Annahmen getroffen:

- a) die Spannungswerte in ein und derselben Tiefe sind normal verteilt;
- b) die Abweichungen der tatsächlichen Spannungen vom Mittelwert sind proportional zu der sich zeitlich ändernden mittleren Spannung in einer Tiefe.

Selbst wenn keine systematischen Fehler vorliegen, gehen die Fehler der Meßinstrumente in die weitere Betrachtung ein: die Verteilung der gemessenen Spannungen in einer Tiefe ist mit einem Erwartungswert und einer Standardabweichung gegeben. Erwartungswert und Standardabweichung setzen sich zusammen aus Erwartungswerten und Standardabweichungen der tatsächlichen Spannung und des Meßinstrumentenfehlers.

Für die Richtigkeit der getroffenen Annahmen sprechen z.B. die früher durchgeführten Untersuchungen am V.I. Lenin-Wolgakraftwerk; hier wurde mit Hilfe von 19 in der Schürze angebrachten Gebern der bekannte Druck der darüberliegenden Bitumen-, Boden- und Wasserschichten aufgezeichnet [1]. Langzeitbeobachtungen beweisen, daß keine systematischen Fehler auftreten und daß die Geberanzeigen normal verteilt sind. Außerdem betrug der Korrelationskoeffizient zwischen der mittleren quadratischen Abweichung der Geberanzeigen für die einzelnen Angaben und dem sich verändernden Druck auf die Schürze 0,76.

Die Korrelationsabhängigkeit der Geberstreuung für die einzelnen Able- sungen wurde auch an den drei obengenannten Bauwerken bewertet. Der Korrelationskoeffizient zwischen der mittleren quadratischen Abweichung der Anzeigen von den in einer Tiefe angebrachten Gebern und dem Mittelwert der Anzeigen dieser Geber ist gleich 0,7 - 0,9. Die Werte des Korre- lationskoeffizienten bestätigen die Annahme, daß zwischen der Streuung in den Gebergruppen und der in diesem Bereich wirkenden mittleren Spannung ein enger (beinahe linearer) Zusammenhang besteht (siehe oben Punkt b). Darüber hinaus beweist der hohe Korrelationskoeffizient, daß der Wert der tatsächlichen Spannung im Meßpunkt den Hauptteil an den Geberanzei- gen ausmacht, und daß die Zufallsfehlergröße der Meßinstrumente, deren Streuung nicht vom Druck auf die Geber abhängt, unbedeutend ist.

Wenn wir die oben genannten Besonderheiten bei den Angaben der gemessenen Kontaktspannungen verwenden, dann können wir ihre Streuung mit großer Sicherheit bestimmen, auch wenn wir mit relativ wenigen Gebern in einem Bauwerk messen; wir gehen dabei von folgenden Überlegungen aus.

Zur Bewertung des Erwartungswertes der Spannungen in einer gegebenen Tie- fe $M(x)$ dient uns der Mittelwert der Geberanzeigen \bar{x} in dieser Tiefe:

$$M(x) = \bar{x}. \quad (1)$$

Dasselbe gilt auch für den Erwartungswert aller Spannungswerte für an- dere Tiefen oder für dieselbe Tiefe, jedoch zu einem anderen Zeitpunkt:

$$M(x') = \bar{x}'. \quad (2)$$

Wenn wir die Ausdrücke (1) und (2) durch die ihnen entsprechenden Werte der mittleren Spannung dividieren, dann können wir alle Geberanzeigen in verschiedenen Tiefen auf die Mengen mit ein und demselben Verteilungszentrum, das gleich Eins ist, reduzieren:

$$M\left(\frac{x}{x'}\right) = M\left(\frac{x'}{x'}\right) = 1. \quad (3)$$

Wir berücksichtigen die mittlere quadratische Geberabweichung in der Gruppe $\sqrt{D(x)}$, die annähernd proportional ist zur mittleren Spannung in der jeweiligen Tiefe, und können folglich den Erwartungswert so schreiben:

$$\frac{\sqrt{D(x)}}{M(x)} = \frac{\sqrt{D(x')}}{M(x')} \quad (4)$$

dies bedeutet, daß die Streuung gleich ist, wenn die Erwartungswerte gleich sind. Wenn wir die Geberanzeigen in den Gruppen mit relativen Größen ausdrücken, dann erhalten wir somit die normal verteilten Stichprobenmengen mit einem Erwartungswert, der über die ganze Höhe der Anlage gleich Eins und gleich der konstanten Streuung ist, welche einem einmaligen Druck entspricht. Es sei bemerkt, daß sich dieser Parameter durch eine derartige Umwandlung unter Verwendung einer großen Anzahl kleiner Stichproben mit ein und derselben theoretischen Streuung bewerten läßt, wenn man ein großes Informationsvolumen verwendet.

Die Streuung der gemessenen Kontaktspannungen zu einem bestimmten Zeitpunkt kann nach der Formel

$$S_i = \frac{\sum \Delta x_i^2}{n-1} \quad (5)$$

berechnet werden; hier bezeichnet Δx_i die relative Abweichung von Mittelwert und $n - 1$ die Anzahl der Freiheitsgrade in der Gebergruppe.

Die Stabilität der für verschiedene Zeitpunkte während eines langen Beobachtungszeitraumes errechneten Streuungen wurde mit Hilfe des Cochran-Kriteriums überprüft. Diese Überprüfung bestätigte die Hypothese, daß die vergleichbaren Streuungen gleich sind, d.h. daß die Stichproben, nach denen die vergleichbaren Streuungen bestimmt wurden, zu einer Gesamtheit gehören. Diese Hypothese wurde bei der Überprüfung der Geberanzeigen an allen drei Bauwerken bestätigt.

Die Bewertung der Gesamtstreuung S , die als arithmetisches Mittel der Streuungen der Geberanzeigen zu den einzelnen Zeitpunkten errechnet wurde, sowie der Variationskoeffizient V eines jeden Bauwerks sind in der Tab. angegeben.

Bezeichnung des Bauwerks	Anzahl der Stichproben	Streuung, S , kp/cm ²	Variationskoeffizient v
Schleuse des XII. KPdSU-Kongreß-Wolga-kraftwerkes	32	0,1298	0,36
Schleuse des Saratow-Wasserkraftwerkes:			
rechte Wand	8	0,1744	0,42
linke Wand	8	0,1434	0,38
LN-3-Wand des V.I. Lenin-Pljavinjas-Wasserkraftwerkes	17	0,1445	0,38

Die aufgrund der statistischen Auswertung ermittelten Streuungswerte (siehe Tab.) kennzeichnen die Streuung der Kontaktspannungen; die Kontaktspannungen wurden mit gleichartigen Gebern an Bauwerken mit ziemlich gleichen physikalischen und mechanischen Eigenschaften der Hinterfüllungen gemessen. Bei allen untersuchten Bauwerken wurden die von NIS Hidroproekt konstruierten Geber mit einer 50 cm² großen Kontaktfläche der Membrane eingesetzt; dabei war mit Sand hinterfüllt worden. Wenn man berücksichtigt, daß die Streuung der Kontaktspannungen bei allen untersuchten Bauwerken annähernd gleich ist und innerhalb von 36 - 42 % schwankt, dann beträgt der Wert des Variationskoeffizienten der Geberanzeigen für Sandhinterfüllungen bei Verwendung des oben genannten Geber durchschnittlich 0,4.

Wenn wir den Variationskoeffizienten der Kontaktspannungen kennen, dann können wir die Fehlergröße δ bei der Bestimmung der mittleren Spannung mittels beliebig großer Geber in einer vorgegebenen Tiefe abschätzen, wobei wir nicht auf die statistische Überarbeitung der Meßergebnisse zurückgreifen, und zwar nach Formel

$$\delta = tv \sqrt{\frac{f}{nF}}, \quad (6)$$

hierbei ist t - Koeffizient, der vom angenommenen Wert der Vertrauenswahrscheinlichkeit abhängt; f - Kontaktfläche der Membrane des von NIS Hidroproekt konstruierten Gebers; F - Kontaktfläche des verwendeten Gebers; n - Anzahl der Geber in der vorgegebenen Tiefe der Hinterfüllung; v - Variationskoeffizient der Kontaktspannungen, der für die von NIS Hidroproekt konstruierten Geber bestimmt ist.

Bei der Aufstellung der Pläne für die Anbringung der Kontroll- und Meßapparatur tritt normalerweise das Problem auf, daß man die Anzahl der Geber bestimmen muß, damit die verlangte Meßgenauigkeit und -zuverlässigkeit erreicht wird. Für Sandböden, die ihren physikalischen und mechanischen Eigenschaften nach den Hinterfüllungen an den Bauwerken der Wolga-, Saratow- und Pljavinjas-Wasserkraftwerke nahekommt, kann man die Anzahl der Geber in der jeweiligen Tiefe bei vorgegebenen Fehlergrößen und Werten über die Meßzuverlässigkeit, und wenn die Fläche des Gebers bekannt ist, nach der folgenden Formel bestimmen:

$$n = \left(t \frac{v}{\delta} \right)^2 \frac{f}{F}. \quad (7)$$

Darüber hinaus ist festzustellen, daß der für Sandhinterfüllungen angenommene Variationskoeffizient der Messungen nur annäherungsweise den Streuungsgrad der Kontaktspannungswerte kennzeichnet, da sein Wert von den physikalischen und mechanischen Bodeneigenschaften, seiner Lagerungsdichte und anderen Faktoren abhängt.

Wie aus Formel (7) hervorgeht, ist die Anzahl der Geber bei ein und denselben Genauigkeits- und Zuverlässigkeitswerten umgekehrt proportional zur Kontaktfläche des verwendeten Gebers. Bei einer Fehlergröße von 15 %, Zuverlässigkeit 0,95 und 50 cm² Fläche (Bodendynamometer NIS Hidroproekt) z.B. müssen in der vorgegebenen Tiefe somit 28 Geber angebracht werden. Diese Geberzahl entspricht einem Geber mit einer Wirkungsfläche von 1 420 cm². Als Geber mit großer Wirkungsfläche werden bei Baustellenuntersuchungen Tangentialeinrichtungen verwendet [2]. Ihre Anzahl wurde in letzter Zeit jedoch auf 1 - 2 Geber beschränkt,

was nicht ausreicht, um den Erddruckverlauf auf die Wand in ihrer gesamten Höhe beurteilen zu können.

Wenn man Geber mit großer Kontaktfläche verwendet, dann stellt dies ebenfalls sicher, daß die wirtschaftlichen Auswirkungen aufgrund verminderten Arbeitsaufwands für die Herstellung der Geber, zu ihrer Ableseung während der Untersuchungen und für die Auswertung der ermittelten Daten beträchtlich sind.

Schlußfolgerungen

1. Die Auswertung der Meßangaben über den Erddruck der Sandhinterfüllungen auf Stützbauwerke beweist, daß alle möglichen Kontaktspannungswerte nach dem Normalgesetz über die Länge der Anlage und in kleinen Abschnitten auch über die Tiefe der Hinterfüllung verteilt sind. Dabei sind die Abweichungen der Spannungswerte vom Durchschnitt in ein und derselben Tiefe proportional zum Durchschnittswert der Spannungen in dieser Tiefe.
2. Der Variationskoeffizient der Kontaktspannungswerte an Stützbauwerken mit Sandhinterfüllungen, die mit Hilfe von Gebern mit einer Kontaktfläche von 50 cm^2 gemessen wurden, beträgt annähernd 0,4. Bei einer Sicherheit von 0,8 und bei drei Gebern in einer Gruppe beträgt das zuverlässige Spannungsintervall durchschnittlich $\pm 29 \%$.
3. Ein geringeres zuverlässiges Intervall kann bei einer Sicherheit von 0,9 - 0,95 dadurch erreicht werden, daß entweder die Anzahl der Geber in einer Gruppe wesentlich erhöht oder die Kontaktfläche der Geber vergrößert wird. Die zweite Lösung ist am zweckmäßigsten, denn die Kosten für die Untersuchung der Kontaktspannungen nehmen um die Hälfte bis ein Drittel ab, wenn Geber mit einer größeren Kontaktfläche verwendet werden (anstatt die Anzahl der Geber zu erhöhen).

Literaturverzeichnis

1. Царев А. И., Фельдман А. М. Надежность струнных мембранных датчиков для измерения давления грунта на сооружениях в натуральных исследованиях. «Гидротехническое строительство», 1965, № 4, с. 34—36.

Carev, A.I., Fel'dman, A.I.: Nadežnost' strunnych membrannyh datčikov dlja izmerenij davlenija grunta na sooruženijach v naturnych issledovanijach.

In: Gidrotehničeskoe stroitel'stvo. Moskva, 1965, Nr 4, S. 34 - 36.
<Die Zuverlässigkeit von Saiten-Membran-Gebern zur Messung des Erd-drucks auf Bauwerke bei Baustellenuntersuchungen; russ.>

2. Царев А. И. Способ измерения осредненных напряжений в контакте сооружения с нескальным грунтом. Бюллетень изобретений № 22, 1960 и Труды Гидропроекта сб. II, М., 1964, с. 179—183.

Carev, A.I.; Sposob izmerenija osrednennyh naprjaženij v kontakte sooruženija s neskal'nym gruntom.

In: Bjulleten' izobretenij. Moskva, 1960, Nr 22, S. 45 (klass 42k, 28. Nr 1333649 (657036/29 ot 29 fevralja 1960 g.)).

Deutsch: Ein Verfahren zur Messung der mittleren Spannungen eines Bauwerks, das sich in Kontakt mit nichtfelsigem Grund befindet. - Übersetzung Nr. 126 der Übersetzungsstelle der Universitätsbibliothek Stuttgart.

Carev, A.I.: Sposob izmerenija osrednennyh naprjaženij v kontakte sooruženija s neskal'nym gruntom.

In: Trudy GIDROPROEKTA. Moskva, 11 (1954), S. 179 - 183.

<Ein Verfahren zur Messung der mittleren Spannungen eines Bauwerks, das sich in Kontakt mit nichtfelsigem Grund befindet; russ.>

3. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. «Высшая школа», М., 1972, с. 368.

Gmurman, V.E.

Teorija verojatnostej i matematičeskaja statistika.

Moskva: Verlag "Vyššaja škola", 1972, S. 368.

<Wahrscheinlichkeitstheorie und mathematische Statistik; russ.>

Stuttgart, den 7. März 1980

Übersetzt von

Ottmar Pertschi
(Ottmar Pertschi)
Dipl.-Übersetzer