

WOJCIECH JANUSZ

528.482:624.043

Wstęp do generalizacji wyników pomiarów odchyłek projektowych i odkształceń urządzeń technicznych

Wszelkie urządzenia techniczne ulegają w miarę upływu czasu ich eksploatacji coraz większemu zużyciu. Zużycie to wyraża się przez:

- 1) stopniowe zmniejszanie się wytrzymałości konstrukcji,
- 2) odkształcanie się konstrukcji,
- 3) zmiany wymiarów elementów w miejscach połączeń ruchowych pod wpływem tarcia.

W określonych odstępach czasu należy wyznaczać parametry, które charakteryzują zmniejszenie wytrzymałości oraz zmiany wymiarów i usytuowania elementów konstrukcyjnych i całego urządzenia. Wyznaczane parametry należy porównywać z określonymi przez przepisy techniczne parametrami granicznymi, których przekroczenie mogłoby wywołać nieekonomiczną pracę urządzenia lub grozić katastrofą.

Analiza branżowa wyznaczonych parametrów, charakteryzujących stopień zużycia urządzenia może prowadzić do:

- 1) określenia, które elementy konstrukcyjne powinny być zastąpione przez nowe;
- 2) określenia zakresu i sposobu rektyfikacji urządzenia, mającej na celu doprowadzenie wymiarów i pozycji podstawowych elementów konstrukcyjnych do zgodności z wymaganiami projektu;
- 3) określenia ewentualnych zmian w sposobie dalszej eksploatacji urządzenia, mających na celu zmniejszenie szybkości jego zużywania się;
- 4) określenia sposobu dokonania dodatkowych zabezpieczeń urządzenia przed nadmiernym zużywaniem lub awarią.

Przy użyciu metod geodezyjnych można wyznaczać:

- 1) różnice między faktycznymi, a projektowanymi pozycjami punktów charakterystycznych, wybranych na powierzchni badanej konstrukcji (odchyłki projektowe położenia punktów);

2) różnice między aktualnymi a pierwotnymi pozycjami punktów wybranych i oznaczonych na powierzchni badanej konstrukcji (przemieszczenia punktów).

Wyznaczone odchyłki projektowe lub przemieszczenia punktów wymagają zgeneralizowania, pozwalającego na przeprowadzenie analizy geometrycznego stanu całej konstrukcji, a nie tylko stanu geometrycznego w miejscach oznaczonych punktów, podlegających bezpośredniej kontroli. Generalizacja taka powinna być przeprowadzana przy zachowaniu określonych zasad, zabezpieczających przed wypaczeniem rezultatów wyznaczeń. W praktyce możemy odróżnić dwa rodzaje generalizacji — generalizację prostą i złożoną.

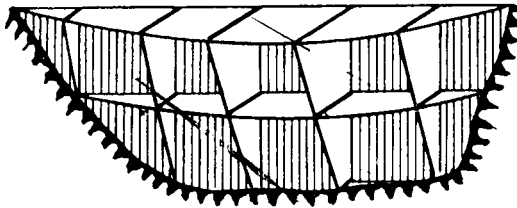
Generalizację prostą możemy zdefiniować jako zastąpienie wyznaczonych odchyłek lub przemieszczeń punktów wyinterpolowanymi na ich podstawie liniami lub powierzchniami, które charakteryzują z pewnym przybliżeniem odchylenia lub przemieszczenia całych fragmentów badanej konstrukcji. Ma ona na celu nadanie wynikom pomiarów geodezyjnych, z natury punktowym, charakteru ciągłego. Generalizację prostą wiążemy zazwyczaj z graficznym przedstawieniem wyników wyznaczeń, które zapewnia wysoką komunikatywność i pozwala łatwo dostrzec charakterystyczne tendencje, jakim ulegają odchyłki położenia lub przemieszczenia fragmentów konstrukcji.

Generalizacja złożona ma na celu nie tylko zwiększenie komunikatywności zestawionych wyników pomiarów, lecz ponadto prowadzi do wzbogacenia treści wyznaczeń o elementy wynikające z dociekań natury teoretycznej.

Zasady dotyczące sposobów przedstawiania wyników pomiarów przy zastosowaniu generalizacji prostej zostały omówione w dotychczasowej literaturze przedmiotu dosyć szczegółowo. Liczne uwagi na ten temat można znaleźć w publikacji [8], ponadto należy tu wymienić referat [11] poświęcony specjalnie sposobom przedstawiania wyników pomiarów odkształceń. Do referatu tego, w którym podano rozmaite sposoby graficznego przedstawiania wyników pomiarów wraz ze sposobami wskazania rozmieszczenia badanych punktów na schematycznych rysunkach konstrukcji, należy jedynie dodać uwagę, że generalizowanie wyników pomiarów odchyłek i przemieszczeń powinno być dokonywane w sposób świadomy, z uwzględnieniem specyficznych cech obiektu badań. Na przykład wątpliwa nieco wydaje się celowość mechanicznego przeniesienia sposobu generalizowania wyznaczonych przemieszczeń celowników sieci trygonometrycznych, znajdujących się na ścianie zapory o konstrukcji monolitycznej, do opracowań wynikowych, które dotyczą przemieszczeń celowników sieci trygonometrycznej znajdujących się na ścianach poszczególnych sekcji zapory grawitacyjnej, oddzielonych od siebie szczeli-

nami dylatacyjnymi. Generalizacja wyznaczonych przemieszczeń takich celowników, dokonana za pomocą rysowania przekrojów z wypośrodkowanymi liniami przemieszczeń, tak jak to podano przykładowo na rysunku 1, może niekiedy prowadzić do nadmiernego uproszczenia obrazu zachodzących odkształceń lub do wypaczenia go.

Trzeba tu dodać, że czynności związane z przedstawianiem wyników i ich generalizowaniem posiadają charakter subiektywny, a wynik generalizacji może być obciążony własnym przekonaniem wykonawcy o określonym charakterze zachodzących odkształceń. Przy graficznym opracowaniu wyników mamy możliwość uwydatnienia pewnych określonych cech i zatarcia innych, które naszym zdaniem są mniej istotne. Nawet



Rys. 1

podświadomie osoba opracowująca wyniki może dobierać sposób ich przedstawiania uwydatniający pewne cechy, posługując się przy tym doбором stosunku skali schematu rozmieszczenia badanych punktów do skali przemieszczeń, usytuowaniem i doбором modułów osi rzutu aksonometrycznego i innymi środkami nie wyłączając doboru grubości linii przy kreśleniu. Przed tego rodzaju niebezpieczeństwami przestrzega w swej książce [8] na stronie 279 prof. dr T. Lazzarini, apelując do ogółu wykonawców o wyzbywanie się, przy opracowywaniu wyników, nacisku sugestii wynikających z przeświadczenia o określonym sposobie przemierzania i odkształcania się obiektu badań.

Istotę różnicy między generalizacją prostą i złożoną wyjaśnię na przykładzie opracowania wyników pomiaru osiadań płyty fundamentowej. Na rysunku 2a pokazano rzut płyty fundamentowej budynku wysokościowego z wykazanymi wielkościami osiadań 9 reperów kontrolowanych oraz izoliniami osiadań płyty. Wykreślone izoliny można traktować jako wynik generalizacji prostej wyznaczeń punktowych, które dotyczyły osiadań reperów. Na podstawie rezultatów wyznaczeń podanych na rysunku 2a (stanowiącym wyciąg z rysunku 46 w książce [2]), możemy przeprowadzić generalizację złożoną, pozwalającą na odróżnienie:

1) najbardziej prawdopodobnych wielkości osiadania, przechyłu i kierunku przechyłu płyty fundamentowej przy założeniu, że nie uległa ona odkształceniom;

2) najbardziej prawdopodobnych wielkości odkształceń normalnych płyty fundamentowej w miejscach osadzenia badanych reperów;

3) odkształceń normalnych płyty fundamentowej.

Wielkość osiadania fundamentu $dz_{sr} = -13,5$ mm obliczamy jako średnią z osiadań reperów. Najprawdopodobniejszą wielkość przechyłu i jego kierunek określają izolinie osiadań pokazane na rysunku 2b. Izolinie te uzyskano przy założeniu, że powierzchnia określona przez współrzędne x, y, dz reperów jest aproksymowana przez płaszczyznę α , dla której spełnione są warunki:

$$\begin{aligned} [v_{dz}^2] &= \min, \\ [v_{dz}] &= 0, \end{aligned}$$

gdzie v_{dz_i} — odległość główki reperu o numerze i od płaszczyzny α (ze względu na małe wielkości dz w stosunku do x, y , powodujące przybliżoną równoległość płaszczyzny α do płaszczyzny rzutowej OXY , odległość punktu o współrzędnych x_i, y_i, dz_i od płaszczyzny α może być mierzona wzdłuż osi OZ zamiast wzdłuż normalnej do płaszczyzny α).

Na rysunku 2c wykazano wielkości v_{dz} , które są równoznaczne z wyznaczonymi odkształceniami normalnymi płyty fundamentowej w miejscach osadzenia reperów. Na rysunku 2c podano również izolinie odkształceń normalnych płyty fundamentowej, wyinterpolowane na podstawie wyznaczonych wielkości v_{dz} .

Powyższy przykład wskazuje wyraźnie, że celem generalizacji złożonej jest odróżnienie i osobne wykazanie w przejrzysty sposób:

1) części przemieszczenia każdego punktu, spowodowanej przez najbardziej prawdopodobne przemieszczenie całej konstrukcji lub rozpatrywanego osobno jej fragmentu;

2) części przemieszczenia każdego punktu, spowodowanej przez najbardziej prawdopodobną wielkość odkształcenia konstrukcji w miejscu oznaczenia punktu;

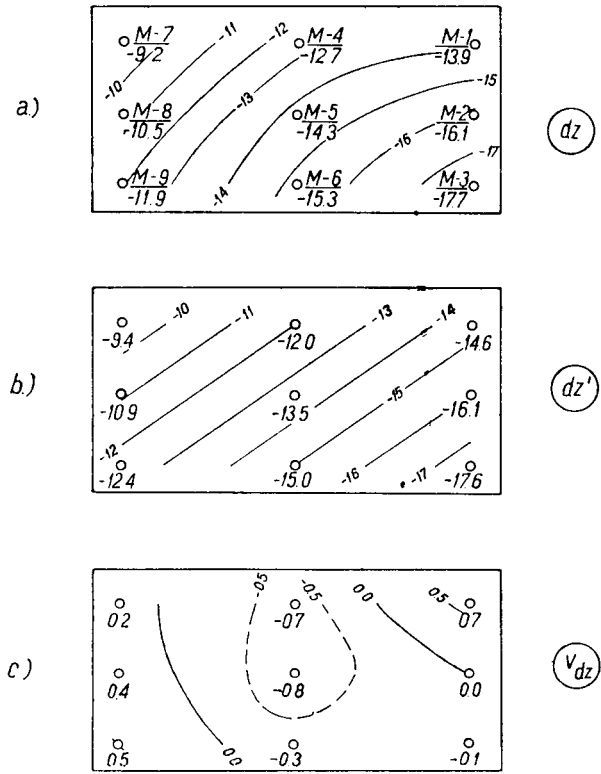
3) parametrów charakteryzujących przemieszczenie całej konstrukcji lub rozpatrywanego osobno jej fragmentu;

4) odkształceń całej konstrukcji lub rozpatrywanego osobno jej fragmentu.

Dokonywanie generalizacji złożonej, pozwalającej odróżnić najbardziej prawdopodobne wielkości przemieszczeń od odkształceń wydaje się niezbędne, bowiem odporność konstrukcji na odchylenia od prawidłowej pozycji i na odkształcenia nie jest na ogół jednakowa.

Wybór parametrów generalizujących powinien być dokonywany tak, aby możliwe było określanie zmian pozycji i odkształceń fragmentów konstrukcji wyróżniających się pod względem pełnionej roli. Trzeba tu wspomnieć, że określenie, jakie parametry generalizujące mają być wy-

znaczone, decyduje nie tylko o sposobie dokonywania generalizacji złożonej, lecz także o całym programie i zakresie pomiarów odchyłek projektowych lub przemieszczeń.



Rys. 2

Obliczenie parametrów generalizujących polega na wyrównaniu wyznaczonych przemieszczeń punktów przez rozwiązanie układu „równań odkształceń” o formie zbliżonej do równań poprawek:

$$a \cdot \varphi + b \cdot \gamma + \dots = dp + v_{dp}, \tag{1}$$

gdzie a, b — współczynniki, φ, γ — wyznaczone parametry, dp — wyznaczone przemieszczenia punktów, v_{dp} — odkształcenia konstrukcji w miejscach punktów kontrolowanych o wyznaczonych przemieszczeniach dp .

Rozwiązanie układu równań powinno być dokonane przy zachowaniu warunków:

$$[v_{dp}^2] = \min, \tag{2}$$

$$[v_{dp}] = 0. \tag{3}$$

Ułożenie równań typu (1) następuje przy założeniu, że równania typu

$$a \cdot \varphi + b \cdot \gamma + \dots = dp', \quad (4)$$

określają przemieszczenia dp' , wynikające wyłącznie pod wpływem przemieszczeń rozpatrywanego fragmentu konstrukcji bez jego odkształceń.

Powracając do przykładu generalizacji złożonej, zilustrowanego na rysunku 2, prześledzimy po powyższych wyjaśnieniach tryb prowadzenia obliczeń, które doprowadziły do określenia wielkości dz' , wykazanych na rysunku 2b (stanowiących składowe przemieszczeń pionowych płyty fundamentowej) oraz wielkości v_{dz} wykazanych na rysunku 2c (stanowiących składowe pionowych odkształceń płyty fundamentowej).

Wprowadzenie założenia, że przy obserwacji wyjściowej główki kontrolowanych reperów znajdowały się w jednej płaszczyźnie poziomej, nie koliduje w niczym z normalnym trybem obliczenia osiadań tych reperów na podstawie różnic między wynikami aktualnego i pierwotnego pomiaru niwelacyjnego, pomimo że faktycznie główki reperów znajdowały się na powierzchni zbliżonej do płaszczyzny poziomej. Wprowadzenie tego założenia jest równoznaczne z przyjęciem, że przy obserwacji wyjściowej reper o numerze i miał współrzędne $(x_i, y_i, 0)$. Przy tym założeniu możemy napisać, że reper o numerze i podczas obserwacji aktualnej ma współrzędne (x_i, y_i, dz_i) . Przyjmując, że nastąpiła jedynie zmiana wysokości dz'_i reperu, spowodowana jego przemieszczeniem do płaszczyzny α określonej równaniem

$$A \cdot x + B \cdot y + C \cdot dz' + D = 0, \quad (5)$$

moglibyśmy określić położenie płaszczyzny α w stosunku do pierwotnej płaszczyzny, w której zawierały się wierzchołki główek reperów przy obserwacji wyjściowej. Porównanie stronami równań (1) i (4) upoważnia nas do napisania równania (5) w postaci:

$$A \cdot x + B \cdot y + C (dz + v_{dz}) + D = 0. \quad (6)$$

Równanie powyższe napiszemy po podzieleniu przez C w formie

$$-\frac{A}{C} \cdot x - \frac{B}{C} \cdot y - \frac{D}{C} = dz + v_{dz}. \quad (7)$$

W tabelicy 1 podane jest rozwiązanie układu 9 równań typu (7), ułożonych z uwzględnieniem rozmieszczenia (x, y) i wyznaczonych osiadań (dz) wykazanych na rysunku 2a¹⁾. Jako współczynniki równań przy niewiadomych $-\frac{A}{C}, -\frac{B}{C}$ do równań wstawiono wielkości proporcjonalne do współrzędnych x, y reperów.

¹⁾ W pracy niniejszej wszystkie rezultaty pomiarów wyrażono w milimetrach.

Tablica 1

Nr rep.	$-\frac{A}{C}$	$-\frac{B}{C}$	$-\frac{D}{C}$	dz	dz'	v_{dz}
M-9	-1,0	-2,0	1,0	-11,9	-12,4	-0,5
M-8	0,0	-2,0	1,0	-10,5	-10,9	-0,4
M-7	1,0	-2,0	1,0	-9,2	-9,4	-0,2
M-6	-1,0	0,0	1,0	-15,3	-15,0	0,3
M-5	0,0	0,0	1,0	-14,3	-13,5	0,8
M-4	1,0	0,0	1,0	-12,7	-12,0	0,7
M-3	-1,0	2,0	1,0	-17,7	-17,6	0,1
M-2	0,0	2,0	1,0	-16,1	-16,1	0,0
M-1	1,0	2,0	1,0	13,9	-14,6	-0,7
	6,0	0,0	0,0	9,1	$[v_{dz}] = 0,1$	
		24,0	0,0	-32,2	$[v_{dz}^2] = 2,16$	
			9,0	-121,6		
	1,5	-1,3	-13,5	niewiadome	$m = \sqrt{\frac{2,16}{9-3}} = 0,6 \text{ mm}$	
					$dz_{sr} = 13,5 \text{ mm}$	

Obliczona dodatkowo wielkość $m = \sqrt{\frac{[v_{dz}^2]}{n_n}}$ pozwala zorientować się, czy wyznaczone wielkości v_{dz} charakteryzują odkształcenia normalne płyty fundamentowej w miejscach osadzenia reperów, czy też spowodowane są jedynie błędami wyznaczenia osiadań dz .

W omawianym przypadku, wobec wykonania pomiarów metodą niwelacji precyzyjnej z błędem średnim rzędu 0,1 mm można uważać wykazane wielkości v_{dz} jako powstałe pod dominującym wpływem odkształceń płyty fundamentowej.

Inaczej nieco przebiega obliczanie parametrów generalizujących w przypadku, gdy przedmiotem wyznaczenia są odchyłki projektowe wymiarów i kształtu konstrukcji. Istotą pracy jest wówczas ułożenie i rozwiązanie układu równań, który wyraża warunki dostosowania zespołu wyznaczonych współrzędnych charakterystycznych punktów konstrukcji do zespołu współrzędnych projektowych tych punktów. Przykładem takich prac generalizacyjnych, (które są niezbędne dla określenia odchyłek projektowych) jest tok obliczeń omówionych w publikacji [1], mających związek z wyznaczeniem odchyłek powłoki zbiornika kulistego od wymiarów i kształtu projektowego. Inny przykład z tego zakresu omówiony jest w pracy [6], w związku z określaniem odchyłek współrzędnych charakterystycznych punktów budynku.

Niekiedy odchyłki kształtu muszą być określone bez znajomości danych projektowych w stosunku do kształtów teoretycznych uznanych za najbardziej prawidłowe. Ma to miejsce na przykład przy określaniu

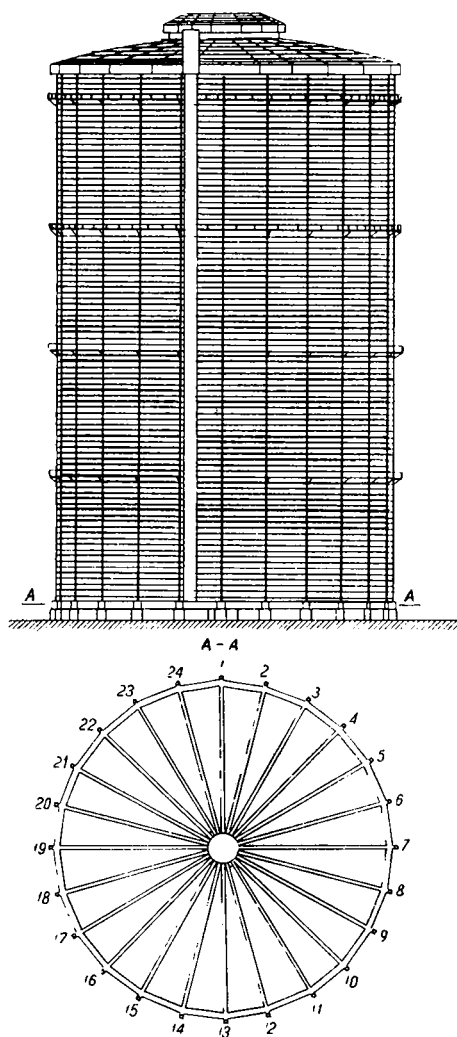
linii zwisu liny. Wówczas podstawą do obliczenia parametrów generalizujących jest rozwiązywanie układów równań, pozwalające na aproksymowanie krzywej lub powierzchni teoretycznej na podstawie zbioru wyznaczonych współrzędnych punktów. Przebieg takich prac omówiony jest w pracy [7]. Należy tu wymienić również pracę [10], w której podano uzasadnienia i przykłady wyrównywania układów obserwacyjnych prowadzących do wyznaczenia parametrów różnych tworów geometrycznych.

W niniejszej pracy zajmiemy się głównie zagadnieniem znaczenia właściwego doboru parametrów generalizujących, nie rozwodząc się szerzej nad matematycznymi aspektami zadań z zakresu generalizacji złożonej. Pragnę tu wyrazić (i poprzeć ilustracjami) pogląd, że o pełnym wykorzystaniu wyników wyznaczeń geodezyjnych do branżowej interpretacji odchyłek, przemieszczeń i odkształceń decyduje stopień generalizacji dokonanej przez wykonawcę pomiarów. Brak takiej generalizacji, uzupełnionej opisem wyjaśniającym szczegółowo znaczenie przedstawianych rezultatów jest często przyczyną bardzo pobieżnego i niepełnego wykorzystania wyników przez specjalistów innych branż technicznych. Oczywiście — jak już wcześniej wspomniałem — niewłaściwy sposób dokonania generalizacji może wprowadzić w błąd użytkownika wyników, wykonującego analizę branżową. Dlatego osoby opracowujące wyniki pomiarów odchyłek i przemieszczeń powinny posiadać odpowiedni zasób wiadomości o konstrukcji, zasadach pracy i właściwościach wytrzymałościowych badanego obiektu oraz o możliwych przyczynach powodujących jego przemieszczenia i odkształcenia.

Dalszy wywód ilustrujący znaczenie właściwej generalizacji i jej związku z analizą przemieszczeń i odkształceń przeprowadzony zostanie na przykładach, związanych z badaniem zbiorników gazu typu MAN. Nawiążemy tu na wstępie do bardzo interesującej pracy P. Marčaka [9], w której opisano urządzenia i prace pomiarowe, związane z badaniem zbiornika gazu w koksowni Ostrawsko-Karwińskiej w Czechosłowacji. We wspomnianej publikacji zostały podane w formie graficznej niektóre wyniki pomiarów, których generalizacja prowadzi do ciekawych wniosków, dotyczących sposobu osiadania filarów podpierających słupy nośne zbiornika. Podane w pracy [9] wielkości osiadań filarów zasługują na szczególnie wysokie zaufanie ze względu na to, że uzyskano je z pomiarów dokonanych metodą geometrycznej niwelacji precyzyjnej i skontrolowano w sposób niezależny za pomocą niwelacji hydrostatycznej.

Zbiornik ustawiony jest na 24 sztywnych belkach ułożonych promieniście i wspartych na filarach betonowych, zaopatrzonych w urządzenia służące do regulacji wysokości podparcia. Na każdym filarze znajduje się reper, którego przemieszczenia były wyznaczone za pomocą

wspomnianej wyżej niwelacji precyzyjnej. Rozmieszczenie filarów podpierających zbiornik pokazano w dolnej części rysunku 3. W górnej części tego rysunku pokazano zbiornik gazu typu MAN w widoku z boku.



Rys. 3

Zbiornik wykonany jest w kształcie graniastosłupa prostego o podstawie 24-boku. Konstrukcję nośną zbiornika stanowią 24 słupy stalowe ustawione na zewnętrznych końcach wspomnianych uprzednio belek wspartych na filarach betonowych. Słupy te są stężone promieniście na poziomie dna zbiornika i na poziomie dachu, a ponadto posiadają na wielu poziomach stężenia obwodowe. Płaszcz zbiornika wykonany jest

z płaskich arkuszy blachy przytwierdzonych do słupów i do belek stężenia obwodowego. Dno zbiornika wykonane jest również z arkuszy blachy przytwierdzonych do konstrukcji z belek stalowych.

Dla prawidłowej pracy konstrukcji i płaszcza zbiornika podstawowe znaczenie posiada utrzymanie w określonych granicach niezmienności wzajemnego położenia punktów podparcia słupów. Z tego względu filary betonowe zaopatrzone są w urządzenia umożliwiające w miarę ich osiadania, regulowanie wysokości podparcia belek, na których spoczywają podstawy słupów. Pozwala to na przeciwdziałanie odchyleniom osi geometrycznej zbiornika od pozycji pionowej pod wpływem zmian pochylenia powierzchni zawierającej punkty podparcia oraz pozwala na przeciwdziałanie lokalnym naprężeniom płaszcza zbiornika pod wpływem nierównomiernych osiadań poszczególnych filarów (odkształceń normalnych powierzchni podparcia zbiornika). Podstawą do analizy zmian położenia i odkształceń powierzchni podparcia zbiornika są wyniki pomiarów niwelacyjnych, pozwalających na wyznaczenie wielkości osiadań wszystkich filarów. W omawianej pracy [9] podano w formie graficznej wielkości osiadań reperów zastabilizowanych na filarach. Korzystając z tych danych autor niniejszej pracy zestawiał wyznaczone osiadania dz (tablica 2) i wykorzystał je do przeprowadzenia generalizacji złożonej. Podstawą do wykonania tej generalizacji są wzory podane w pracy [4] pozwalające na wyrównanie układu równań odkształceń, prowadzących do wyznaczenia najbardziej prawdopodobnych wielkości zmiany pochylenia powierzchni podparcia zbiornika i kierunku tej zmiany. Dla przypadku rozmieszczenia kontrolowanych reperów jak na rysunku 3 odpowiednikiem ogólnego równania (1) będzie równanie:

$$U \cdot \cos \beta + V \cdot \sin \beta = dz + v_{dz}. \quad (8)$$

Układ równań typu (8), w którym funkcje $\sin \beta$ i $\cos \beta$ stanowią współczynniki przy niewiadomych (gdzie β — kąt środkowy odłożony od kierunku wyjściowego do kierunku rozpatrywanego reperu) pozwala na obliczenie niewiadomych U , V . Wartości U , V służą do wyznaczenia kąta φ określającego kierunek zmiany pochylenia oraz wielkość zmiany pochylenia σ z wzorów:

$$\varphi = \arctg \frac{V}{U}, \quad (9)$$

$$\sigma = \arctg \frac{\sqrt{U^2 + V^2}}{R}, \quad (10)$$

gdzie R — promień okręgu, na którym rozmieszczone są kontrolowane repery.

Stosownie do wzoru (8) ułożono 24 równania odkształceń i wykonano obliczenia prowadzące do wyznaczenia parametrów generalizujących wyznaczone osiadania filarów zbiornika. Obliczenia te zawarte są w tablicy 2. Na rysunku 4 przedstawiono w postaci wykresów osiągnięte rezultaty generalizacji na tle osiadań reperów wyznaczonych z pomiarów. Rysunek ten pozwala zinterpretować osiągnięte wyniki i jest pomocny do wyciągnięcia wniosków oraz postawienia hipotez dotyczących zachowania się powierzchni podparcia zbiornika.

Na rysunku 4a pokazano wielkości względnych osiadań dz reperów, ustalone w wyniku wyrównania różnic obserwacji 1-2, 1-3, 1-4 wykonanych w odstępach co 1 rok poczynając od rozpoczęcia eksploatacji zbiornika. Osiadania względne mogą być wyrażone w stosunku do jednego z kontrolowanych reperów, dla którego przyjmuje się $dz = 0$ lub w inny sposób. W omawianym przykładzie osiadania względne zredukowano do wielkości średniej przy założeniu, że $[dz] = 0$. Wykazane na rysunku 4a osiadania względne dz poszczególnych reperów są równoznaczne z odległościami punktów załamania wykresów od poziomych osi odniesienia.

Jak wiadomo, w przypadku rozmieszczenia reperów kontrolowanych na okręgu koła, zmiana pochylenia powierzchni przechodzącej przez główki tych reperów uwidoczni się w postaci sinusoidalnego przebiegu wykresu osiadań względnych. Na rysunku 4a wykresy osiadań z obserwacji 1-2, 1-3 znacznie odbiegają od kształtu sinusoidy natomiast wykres osiadań z obserwacji 1-4 ma przebieg bardziej regularny, wskutek czego można sobie wyobrazić, że wykres ten oscyluje wokół sinusoidy o wyraźnie zaznaczonej amplitudzie i okresie odpowiadającym obwodowi zbiornika. Przeglądanie się wykresom osiadań względnych, pokazanym na rysunku 4a prowadzi do wniosków:

1. W okresie od pierwszej do trzeciej obserwacji nie występowały wyraźne tendencje do zmiany pochylenia powierzchni podparcia zbiornika, a nieregularność wykresów osiadań wywołana była nierównomiernością osiadań poszczególnych reperów, co powodowało lokalne odkształcenia powierzchni podparcia.

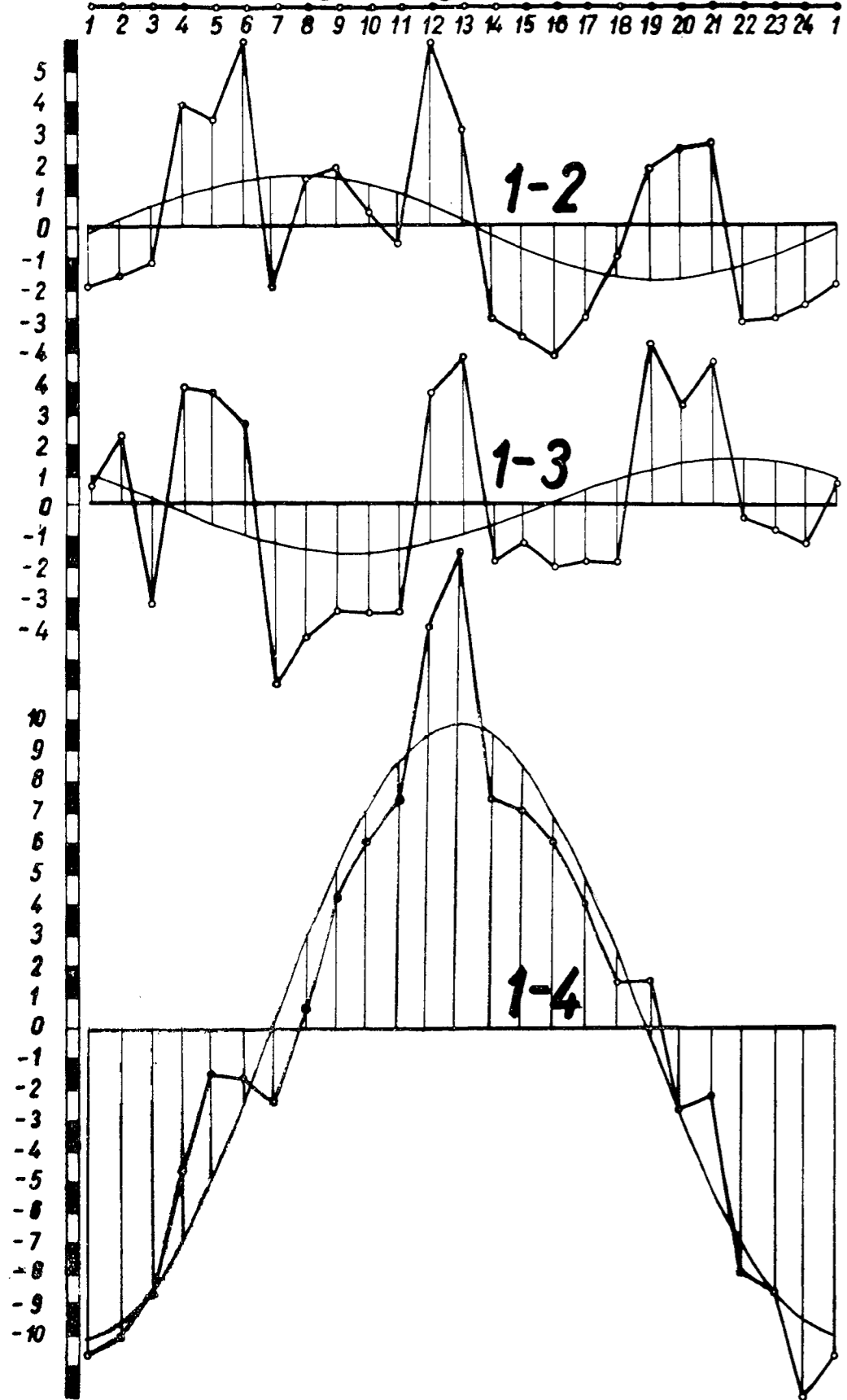
2. W okresie od trzeciej do czwartej obserwacji wystąpiła wyraźna zmiana pochylenia powierzchni podparcia zbiornika. Maksymalna różnica osiadań dwu reperów na przeciwległych końcach jednej średnicy (rep. 12-24) wyniosła 25 mm, natomiast maksymalna różnica osiadań równa 27,5 mm wystąpiła na odcinku między reperami 13-24, przechodzącym w pobliżu osi geometrycznej podstawy zbiornika.

Zazwyczaj przy braku generalizacji uzyskanych rezultatów, tego rodzaju maksymalne różnice osiadań traktuje się jako miarodajne dla scharakteryzowania wielkości zmiany pochylenia powierzchni podparcia zbior-

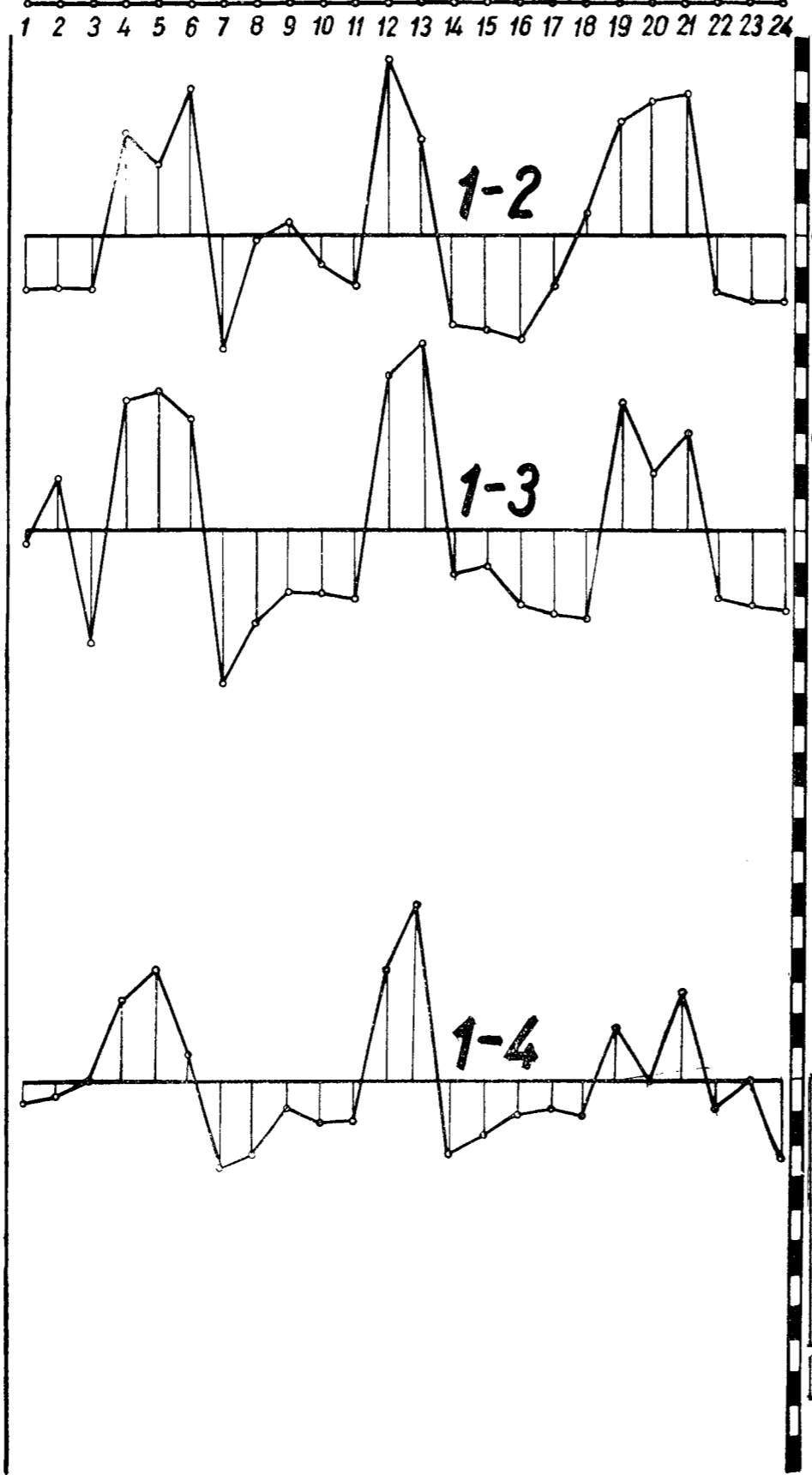
Tablica 2

Nr rep.	v	u	dz					v _{dz}										
			1-2	1-3	1-4	2-3	2-4	1-2	1-3	1-4	2-3	2-4						
1	0,00	1,00	-2,0	0,6	-10,6	2,6	-8,6	1,8	0,4	0,6	-1,4	-1,0						
2	0,26	0,97	-1,6	2,2	-10,0	3,8	-8,4	1,8	-1,6	0,4	-3,4	-1,4						
3	0,50	0,87	-1,2	-3,2	-8,6	-2,0	-7,4	1,8	3,4	0,0	1,6	-1,8						
4	0,71	0,71	4,0	3,8	-4,6	-0,2	-8,6	-3,0	-4,0	-2,4	-1,0	0,6						
5	0,87	0,50	3,4	3,6	-1,4	0,2	-4,8	-2,0	-4,2	-3,4	-2,0	-1,4						
6	0,97	0,26	6,0	2,6	-1,6	-3,4	-7,6	-4,4	-3,4	-0,8	1,0	3,6						
7	1,00	0,00	-2,0	-5,8	-2,4	-3,8	-0,4	3,6	4,6	2,6	1,0	-1,2						
8	0,97	-0,26	1,4	-4,2	0,6	-5,6	-0,8	0,2	2,8	2,2	2,6	1,8						
9	0,87	-0,50	1,8	-3,4	4,2	-5,2	2,4	-0,2	1,8	0,8	2,2	1,0						
10	0,71	-0,71	0,4	-3,4	6,0	-3,8	5,6	1,0	1,8	1,2	1,0	0,0						
11	0,50	-0,87	-0,6	-3,4	7,4	-2,8	8,0	1,6	2,0	1,2	0,4	-0,4						
12	0,26	-0,97	5,8	3,6	13,0	-2,2	7,2	-5,2	-4,8	-3,4	0,4	1,6						
13	0,00	-1,00	3,0	4,8	15,4	1,8	12,4	-2,8	-5,8	-5,4	-3,0	-2,8						
14	-0,26	-0,97	-3,0	-1,8	7,4	1,2	10,4	2,8	1,2	2,2	-1,6	-0,6						
15	-0,50	-0,87	-3,6	-1,2	7,0	2,4	10,6	3,0	1,0	1,6	-2,0	-1,4						
16	-0,71	-0,71	-4,2	-2,0	6,0	2,2	10,2	3,2	2,2	1,0	-1,0	-2,2						
17	-0,87	-0,50	-3,0	-1,8	4,0	1,2	7,0	1,6	2,4	0,8	0,6	-0,8						
18	-0,97	-0,26	-1,0	-1,8	1,4	-0,8	2,4	-0,6	2,6	1,0	3,2	1,6						
19	-1,00	0,00	1,8	5,2	1,4	3,4	-0,4	-3,4	-4,0	-1,6	-0,6	2,0						
20	-0,97	0,26	2,4	3,2	-2,6	0,8	-5,0	-4,0	-1,8	0,0	2,2	4,0						
21	-0,87	0,50	2,6	4,6	-2,2	2,0	-4,8	-4,2	-3,0	-2,8	1,0	1,4						
22	-0,71	0,71	-3,2	-0,4	-8,0	2,8	-4,8	1,8	2,0	0,8	0,0	-0,8						
23	-0,50	0,87	-3,0	-0,8	-8,6	2,2	-5,6	2,0	2,2	0,0	0,2	-2,0						
24	-0,26	0,97	-2,6	-1,2	-12,0	1,4	-9,4	2,0	2,4	2,4	0,4	0,6						
			12,08	0,00	20,2	-14,2	1,8	-34,4	-18,4									
				12,08	-2,8	11,5	-119,6	14,4	-116,7									
1-2	1,67	-0,24	V, U(niewiadome)					[v ² _{dz}]	180	218	101	70	75					
1-3	-1,17	0,96																
1-4	0,15	-9,90																
2-3	-2,85	1,19																
2-4	-1,52	-9,67																
							m	2,9	3,1	2,1	1,8	1,8						

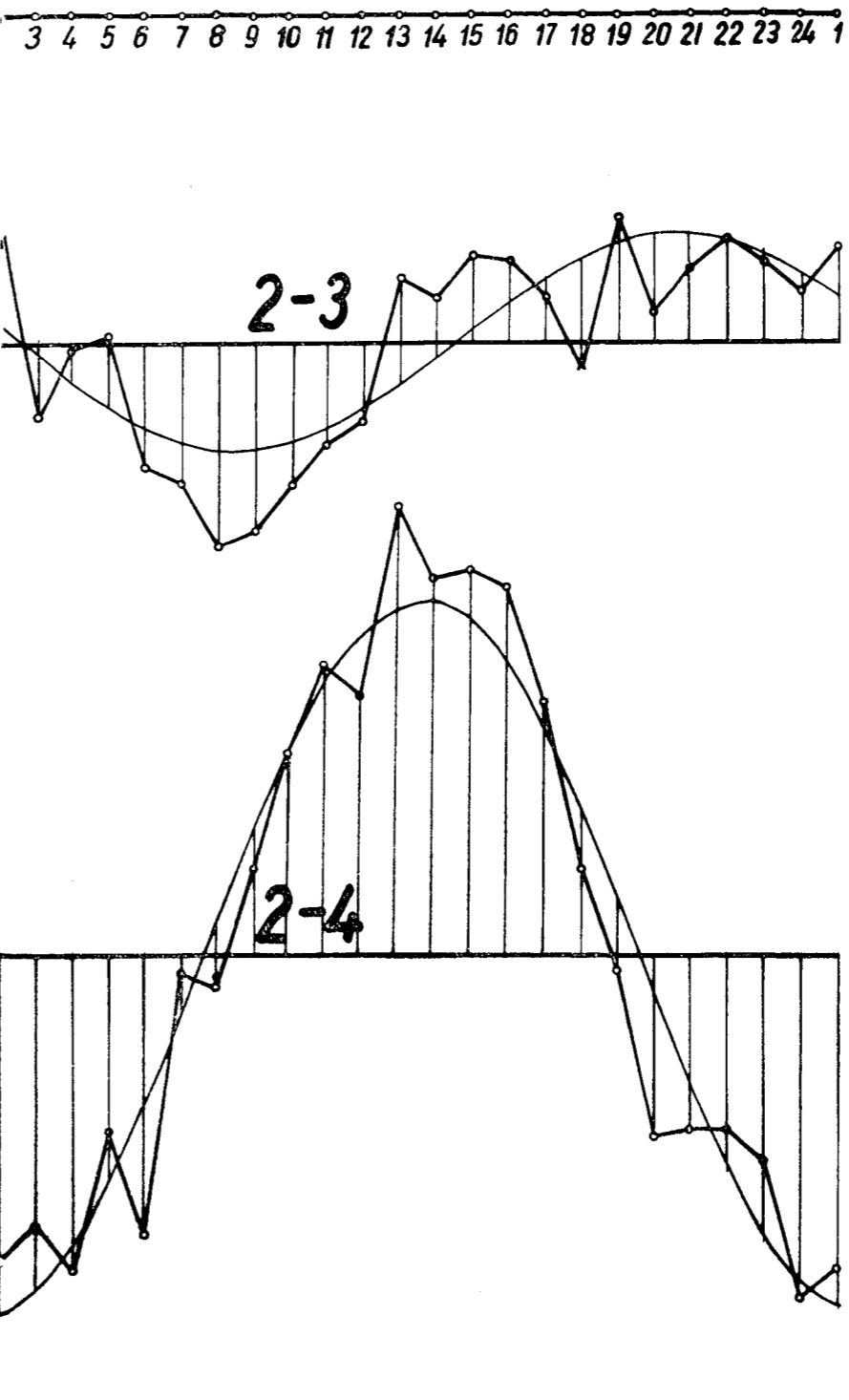
a.) wykresy dz, dz'



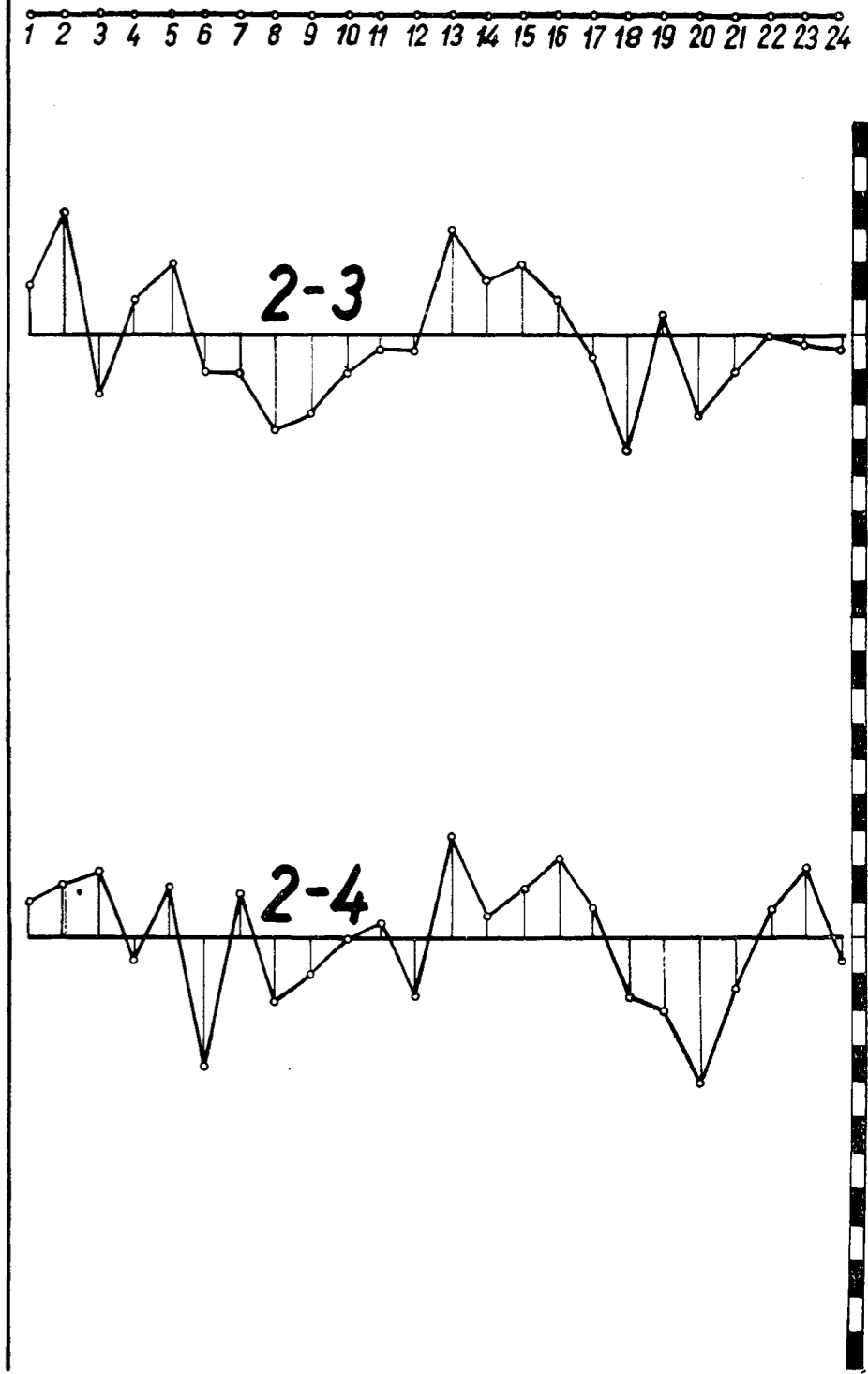
b.) wykresy v_{dz}



c.) wykresy dz, dz'



d.) wykresy v_{dz}



nika. Kierunek linii łączącej repery o maksymalnej różnicy osiadań przyjmuje się jako kierunek zmiany pochylenia.

Poza wyżej podanymi wnioskami niewiele więcej można powiedzieć o charakterze zmian podparcia zbiornika bez dokonania generalizacji wyznaczonych osiadań.

W wyniku obliczeń zawartych w tabelicy 2 możliwe było wykreślenie odpowiednich sinusoid generalizujących osiadania podane na rysunku 4a. Dla wykreślenia tych sinusoid należało od punktów załamania wykresów osiadań odłożyć odpowiednie, obliczone w tabelicy 2 poprawki v_{dz} czyli pionowe składowe odkształceń powierzchni podparcia zbiornika. W rezultacie uzyskano zbiory punktów leżących na sinusoidach, co pozwoliło na wykreślenie tych sinusoid. Sinusoidy pokazane na rysunku 4a zostały wypośrodkowane pomiędzy punktami odpowiednich wykresów względnych osiadań na drodze wyrównania tych osiadań przy spełnieniu warunków (2), (3).

Na rysunku 4b podano wykresy pionowych odkształceń powierzchni podparcia zbiornika po uwzględnieniu najbardziej prawdopodobnych wielkości zmiany pochylenia tej powierzchni. W celu utworzenia wykresów na rysunku 4b odłożono od osi poziomych odpowiednie wartości v_{dz} obliczone w tabelicy 2.

Znaczne podobieństwo wykresów odkształceń określonych z różnic obserwacji 1-2, 1-3, 1-4 wskazuje wyraźnie, że dominujące wielkości odkształceń powierzchni podparcia zbiornika występowały w okresie pomiędzy pierwszą i drugą obserwacją, zaś w późniejszym okresie nierównomierności osiadania poszczególnych reperów znacznie zmniejszyły się. Dotyczy to również okresu pomiędzy trzecią i czwartą obserwacją, kiedy to nastąpiła poważna zmiana pochylenia powierzchni podparcia. Autor nie posiada informacji o okolicznościach i warunkach towarzyszących badaniom zbiornika, wykraczających poza dane zawarte w publikacji [9], jednak same wyniki zestawione na rysunkach 4a, 4b mogłyby posłużyć do postawienia następujących hipotez:

1. W początkowym okresie badania zbiornika (pomiędzy pierwszą i drugą obserwacją) występowały znaczne nierównomierności osiadań filarów betonowych o przeciętnej wielkości ± 3 mm i maksymalnej wielkości 9 mm, które w następnych okresach zmniejszyły się do przeciętnej wielkości $\pm 1,8$ mm (przy maksymalnej 7 mm). Może to świadczyć o tym, że w początkowym okresie bezpośrednio po rozpoczęciu eksploatacji zbiornika, nie nastąpiła jeszcze konsolidacja filarów z podłożem gruntowym i że następował proces znacznego co do wielkości nierównomiernego zagęszczania gruntu pod wpływem obciążeń.

2. W okresie między trzecią i czwartą obserwacją nastąpiła zmiana pochylenia powierzchni podparcia zbiornika o kierunku zgodnym z kie-

runkiem średnicy 13-1 i wielkości charakteryzującej się różnicą osiadań reperów 13-1 (20 mm). Całkowita stwierdzona różnica osiadań tych reperów (26,5 mm) spowodowana została częściowo ich ruchami lokalnymi, co wskazuje, że byłoby rzeczą niebezpieczną określanie zmian pochylenia na podstawie różnic między osiadaniem poszczególnych par reperów, zamiast wykorzystywania do tych celów rezultatów uzyskanych na wszystkich badanych reperach. Może to świadczyć o tym, że w okresie między trzecią i czwartą obserwacją nastąpiła znaczna zmiana pochylenia grubej warstwy podłoża, wywołana zapewne powstaniem niecki odkształceń podłoża pod wpływem eksploatacji górniczej. Do postawienia takiej hipotezy upoważnia fakt, że odkształcenia powierzchni podparcia zbiornika w okresie między trzecią i czwartą obserwacją nie uległy zwiększeniu w stosunku do odkształceń w okresie między drugą i trzecią obserwacją, zaś stosunek zmiany wysokości przeciwnych punktów na jednej średnicy powierzchni podparcia (20 mm) do przeciętnej wielkości odkształcenia tej powierzchni (1,8 mm) jest dostatecznie duży aby można było stwierdzić, że dominujący wpływ na wielkość względnych osiadań posiadała zmiana pochylenia podłoża.

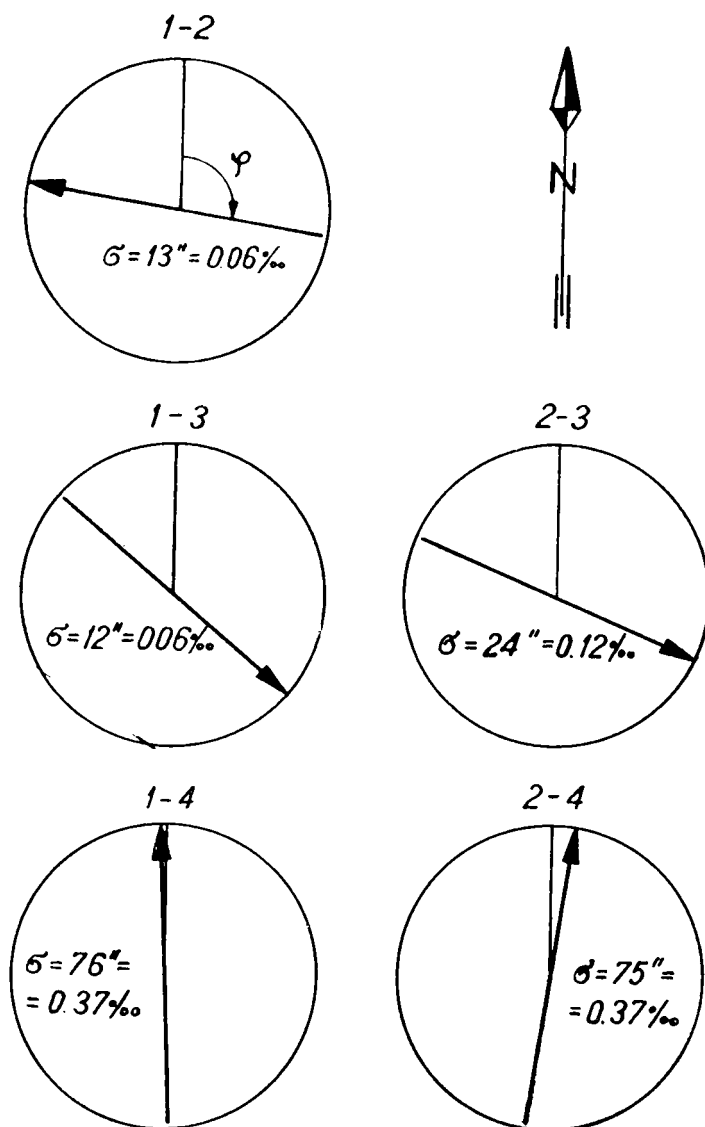
W celu sprawdzenia słuszności wniosku o zmniejszeniu się odkształceń powierzchni podparcia wraz z upływem czasu, wykonane zostały dodatkowe obliczenia, którym poddano wyznaczone osiadania względne, odniesione do wyników drugiej obserwacji (osiadania z różnic obserwacji 2-3, 2-4). Wyniki tych obliczeń uwidocznione zostały w tablicy 2 i na rysunkach 4c, 4d. Wielkości odkształceń pokazane na rysunku 4d okazały się mniejsze aniżeli odpowiednie wielkości z rysunku 4b, co potwierdza słuszność wspomnianego wniosku.

Wielkości współczynników U , V uzyskane z wyrównań pokazanych w tablicy 2 zostały wykorzystane do obliczenia kątów zmiany pochylenia powierzchni podparcia zbiornika oraz kierunków zmian pochylenia. Stało się to podstawą do przedstawienia zmian pochylenia na rysunku 5. Na rysunku tym podano wielkości zmian nachylenia powierzchni podparcia w postaci liczbowej, wyrażając je za pomocą kąta σ oraz jednostkowej zmiany pochylenia. Kierunki zmian pochylenia oznaczono strzałkami na tle schematycznych rysunków obrysu podstawy zbiornika.

Dane wykazane na rysunku 5 mogą posłużyć do konfrontacji z wynikami pomiarów niwelacyjnych, mających na celu określenie niecki odkształceń na obszarze podlegającym wpływom eksploatacji górniczej. Przyjęcie, że powierzchnia podparcia zbiornika uległa zmianie pochylenia bez zmiany kształtu, wydaje się przy takiej konfrontacji usprawiedliwione, bowiem jest ona nieznaczna w stosunku do powierzchni całej niecki.

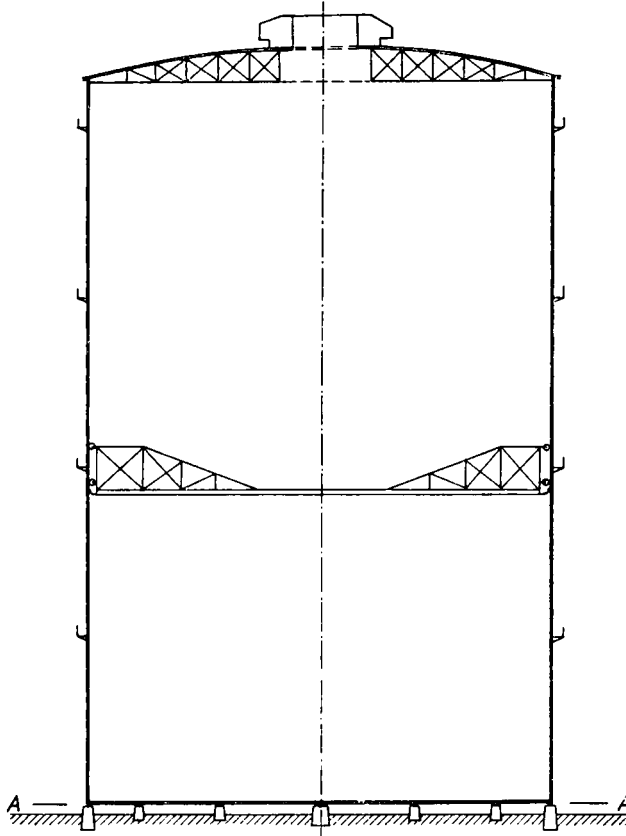
Kontrola osiadań filarów podpierających zbiorniki gazu typu MAN

i fundamentów innych budowli wysokościowych (kominy, wieże chłodnicze, wieże wyciągowe itp.) stanowi fragment szerzej zakrojonych ba-

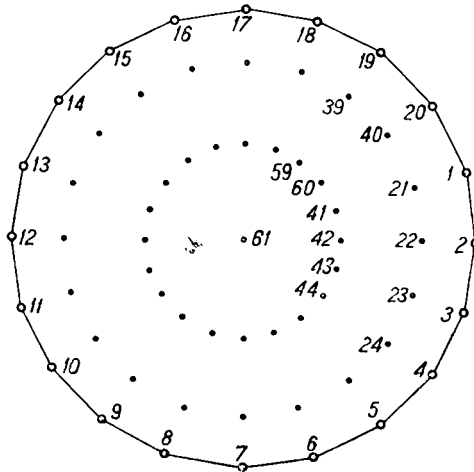


Rys. 5

dań dotyczących odkształceń i odchyleń tych budowli od prawidłowych pozycji. Rolę generalizacji osiągniętych rezultatów przy szerzej zakrojonym programie badań wyjaśnimy na innym przykładzie badań zbiornika



A - A



Rys. 6

gazu typu MAN. Przykład ten opiera się częściowo na wynikach pomiarów odchyłek i odkształceń kilku zbiorników w kraju.

Eksploatowane w kraju zbiorniki gazu typu MAN mają pojemność rzędu 100 000 m³ i charakteryzują się wymiarami rzędu: średnica podstawy — 45 m, wysokość — 80 m. Posiadają one kształt graniastosłupa prostego o podstawie 20-boku i są ustawiane na 61 niezależnych filarach betonowych, rozmieszczonych zgodnie ze schematycznym rysunkiem 6.

Dla utrzymania prawidłowej pozycji zbiornika decydujące znaczenie ma zachowanie równomierności osiadań filarów 1-20, na których wspiera się 20 słupów nośnych. Nierównomierności osiadań pozostałych filarów wywierają wpływ na odkształcanie się poziomej konstrukcji stężącej z belek stalowych i na odkształcenia przytwierdzonego do niej poszycia dna zbiornika, wykonanego z płaskich arkuszy blachy.

Przy realizacji szerszego programu badań interesują nas dodatkowe dane dotyczące własności konstrukcyjnych i zasad pracy zbiornika. W górnej części rysunku 6 pokazany jest schematycznie przekrój pionowy zbiornika, pozwalający zorientować się w tych problemach. Słupy nośne płaszcza i konstrukcji wspierającej dach zbiornika stanowią jednocześnie elementy nośne pionowych prowadnic, przytwierdzonych do nich po wewnętrznej stronie płaszcza zbiornika. Wewnątrz zbiornika znajduje się tłok stalowy w kształcie poziomej płyty, usztywnionej ażurową konstrukcją z belek stalowych. Do konstrukcji tłoka przytwierdzone są rolki przylegające na dwu poziomach do 20 pionowych prowadnic. W dolnej części zbiornika pod tłokiem znajduje się gaz pod ciśnieniem wywieranym przez ciężar tłoka i umieszczonego na nim balastu z elementów betonowych. W miarę napełniania zbiornika gazem lub usuwania gazu za pomocą odpowiednich rurociągów doprowadzonych do jego dna, następuje przemieszczanie się tłoka w górę lub w dół. Ruch ten umożliwiają wspomniane uprzednio zespoły rolek toczących się po pionowych prowadnicach. Na obwodzie płyty tłoka znajdują się urządzenia uszczelniające, które zabezpieczają przed przedostawaniem się gazu ponad tłok w miejscach styku z wewnętrzną powierzchnią płaszcza zbiornika. Urządzenia te wykonane są w postaci korytek napełnionych olejem. Korytka przytwierdzone do krawędzi tłoka posiadają elastyczne zewnętrzne ścianki, dociskane specjalnymi dźwigniami do wewnętrznej powierzchni płaszcza zbiornika.

Dla prawidłowej pracy zbiornika niezbędne jest:

- 1) utrzymanie pionowości słupów nośnych i ich prostoliniowości na całej wysokości zbiornika,
- 2) utrzymanie poziomości płyty tłoka niezależnie od wysokości jego położenia,

3) utrzymanie niezmienności kształtu powierzchni podparcia słupów zbiornika,

4) utrzymanie niezmienności kształtu powierzchni podparcia dna zbiornika.

Oczywiście, pod wpływem różnorodnych czynników, w praktyce występują odchylenia stanu geometrycznego elementów zbiornika, które powinny być określane co do wielkości, oceniane w porównaniu z wielkościami granicznymi i ewentualnie usuwane drogą dokonywania odpowiednich regulacji. Dotychczas wykonywane były przy użyciu metod geodezyjnych pomiary pozwalające na określanie odchyłeń od stanów zalecanych w punktach 1, 3, 4. Istnieją również możliwości wyznaczania odchyłeń płyty tłoka od położenia poziomego przy jednoczesnym określaniu odchyłeń powierzchni tłoka od płaskości. Trzeba jednak dodać, że pomimo wykonywania tych wszystkich pomiarów wyniki ich nie były na ogół przedstawiane w formie umożliwiającej dokonywanie pełnej konfrontacji zmian geometrycznych, zachodzących w poszczególnych elementach zbiorników.

Przedstawione dalej i omówione w przykładzie dane pomiarowe zostały dobrane w taki sposób, aby uwydatnić pewne charakterystyczne cechy prac pomiarowych i generalizacji ich rezultatów. Jednocześnie dla opracowania przykładu dobrane dane nie odbiegające pod względem charakteru i wielkości od spotykanych w praktyce odchyłeń i odkształceń zbiorników gazu typu MAN.

Przykład generalizacji złożonej przy kompleksowym badaniu odchyłek i odkształceń zbiornika typu MAN.

Pomiary objęły:

- 1) wyznaczenie osiadań filarów podpierających zbiornik,
- 2) wyznaczenie odchyłeń słupów od pozycji pionowej,
- 3) wyznaczenie odchyłeń tłoka od pozycji poziomej.

Wyjściowy pomiar niwelacji reperów na filarach wykonany został w okresie budowy, natomiast pomiar aktualny był wykonany wspólnie z pomiarami odchyłeń słupów od pionu i odchyłeń tłoka od poziomowi.

Pomiary odchyłeń słupów od pozycji pionowej bywają wykonywane różnymi metodami, z których najbardziej uniwersalna opiera się na metodzie trygonometrycznej, stosowanej do wyznaczania poziomych przemieszczeń punktów. W rozpatrywanym przypadku nie są wprawdzie wyznaczane przemieszczenia na podstawie różnic między pierwotnymi i aktualnymi wartościami kierunków (pomiarowi podlegają różnice kierunków przy nacelowaniach na słup na różnych jego poziomach), lecz sposób wykonania prac pomiarowych i opracowania wyników jest podobny. Dla wykonania omawianej pracy niezbędne jest założenie wokół

zbiornika takiej sieci stanowisk teodolitu, aby każdy słup mógł być obserwowany z 3 stanowisk a kierunki celowych przecinały się pod kątami zbliżonymi do 60° . Wzajemne rozmieszczenie stanowisk i obserwowanych słupów powinno być wyznaczone z dokładnością względną rzędu 1:100, natomiast różnice kątowe odpowiadające nacelowaniom na jeden słup na różnych poziomach powinny być mierzone z błędem średnim rzędu $2''$. Teodolit może być ustawiany na stanowisku za pomocą pionu sznurkowego. W rezultacie możliwe jest wyznaczanie poziomych składowych odchyleń słupa od pionu o wielkościach do 50 mm z dokładnością rzędu 2 mm.

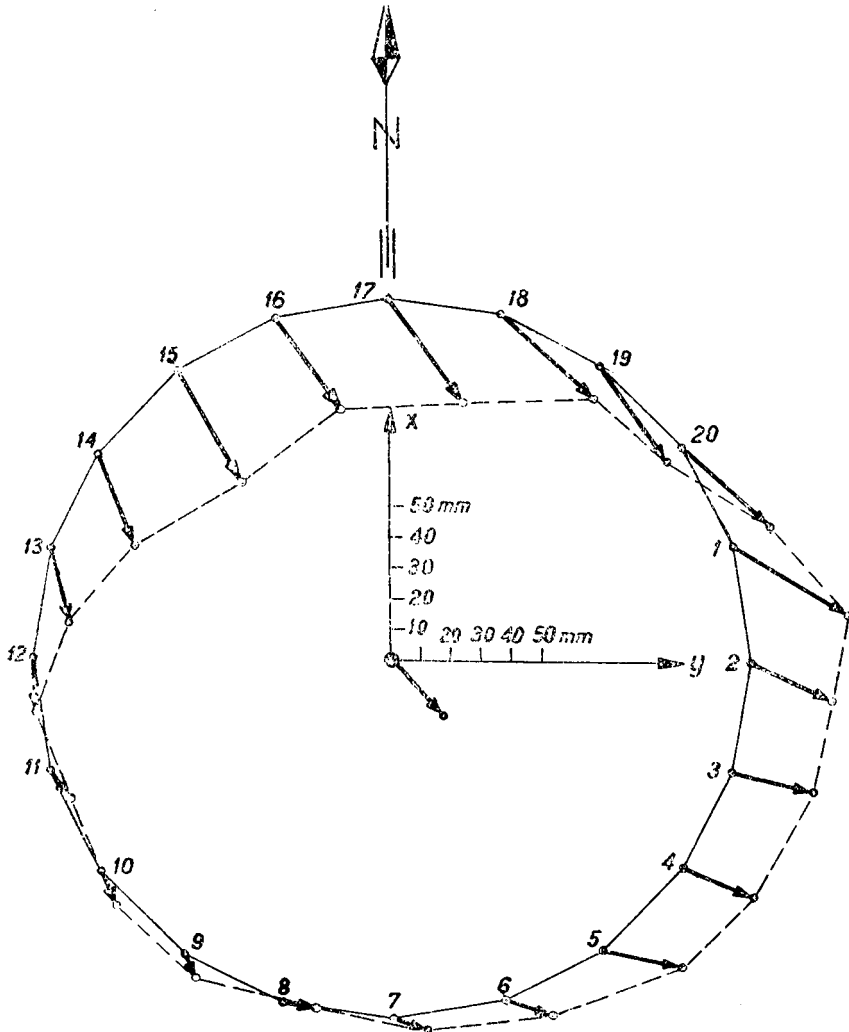
Wyznaczone z pomiaru różnice kątów wraz z wyznaczonymi przybliżonymi długościami celowych służą do wyznaczenia metodą rachunkowo-graficzną Langa (opisaną w [8]) poziomych wektorów odchyleń słupów od pozycji pionowej. Wyznaczone w ten sposób wektory odpowiadające nacelowaniom na słupy przy ich podstawie i na poziomie wyższym o 75 m przedstawione zostały na rysunku 7, na tle schematycznego obrysu zbiornika, w układzie zorientowanym wg stron świata. Takie wyrażanie osiągniętych rezultatów (w układzie zorientowanym) jest bardzo ważne dla analizy branżowej, bowiem jedną z poważniejszych przyczyn odkształceń płaszcza zbiornika mogą być siły wywierane przez parcie wiatru, którego kierunek i szybkość jest notowana.

W tablicy 3 zestawiono odczytane z rysunku 7 składowe Δx , Δy omawianych wektorów. Dla oceny ogólnej tendencji odchyleń wszystkich słupów obliczono średnie wartości składowych Δx_{sr} , Δy_{sr} , którym przypisano znaczenie zgeneralizowanych parametrów, określających poziomy wektor odchylenia osi geometrycznej zbiornika od pozycji pionowej. Wielkość tego wektora podzielona przez różnicę wysokości punktów nacelowań na słupach określa jednostkową wartość odchylenia osi geometrycznej zbiornika od pozycji pionowej, wyrażoną w promille. Obliczone w tablicy 3 wielkości $\Delta x_r = \Delta x - \Delta x_{\text{sr}}$ oraz $\Delta y_r = \Delta y - \Delta y_{\text{sr}}$ stanowią składowe wektorów odchyleń poszczególnych słupów wywołane niedokładnościami montażu, lokalnymi odkształceniami i błędami pomiarów.

Pomiary odchyleń tłoka od pozycji poziomej można wykonać metodą niwelacji geometrycznej niwelatorem samopoziomującym ustawionym na stanowisku na środku tłoka. Obserwacji podlega 20 punktów na krawędziach korytek uszczelniających, w pobliżu prowadnic. W rezultacie tych pomiarów uzyskuje się możliwość określenia rzędnych z badanych punktów w dowolnym układzie. Dla obliczenia wielkości i kierunku odchylenia powierzchni przechodzącej przez rozpatrywane punkty od poziomu, korzystnie jest wyrazić je w układzie zredukowanym, w którym $[z_r] = 0$. Ponieważ wg projektu powierzchnia przechodząca przez rozpatrywane punkty powinna być płaska, wyznaczeniu najbardziej praw-

dopodobnej wielkości i kierunku pochylenia łoka towarzyszyć będzie wyznaczenie odchyłek v_{z_r} łoka od płaskości w miejscach rozpatrywanych punktów. W tym celu rozwiązujemy w przykładzie układ równań typu:

$$U \cdot \cos \beta + V \cdot \sin \beta = z_r + v_{z_r} \quad (11)$$



Rys. 7

Ponieważ równania tego typu posiadają współczynniki przy niewiadomych identyczne ze współczynnikami równań typu (8) służących do generalizowania wyznaczonych zmian pochylenia powierzchni podparcia

zbiornika, przeto obydwie obliczenia wykonane zostały łącznie i zestawione w tablicy 4.

Rezultaty obliczeń zestawionych w tablicy 4 przedstawione są na rysunku 8a. Na rysunku tym kółkami oznaczono osiadania względne reperów na filarach 1—20. Sinusoida wykreślona linią ciągłą stanowi rezultat obliczenia wielkości i kierunku zmiany pochylenia powierzchni przechodzącej przez główki tych reperów (wypośrodkowane jest między punktami oznaczonymi kółkami). Na rysunku 8 oznaczono kropkami punkty uzyskane w wyniku odłożenia od osi poziomej rzędnych z_r punktów na krawędzi korytka tłoka. Sinusoida wykreślona linią przerywaną stanowi rezultat obliczenia wielkości i kierunku pochylenia płaszczyzny wypośrodkowanej między wspomnianymi punktami na powierzchni tłoka.

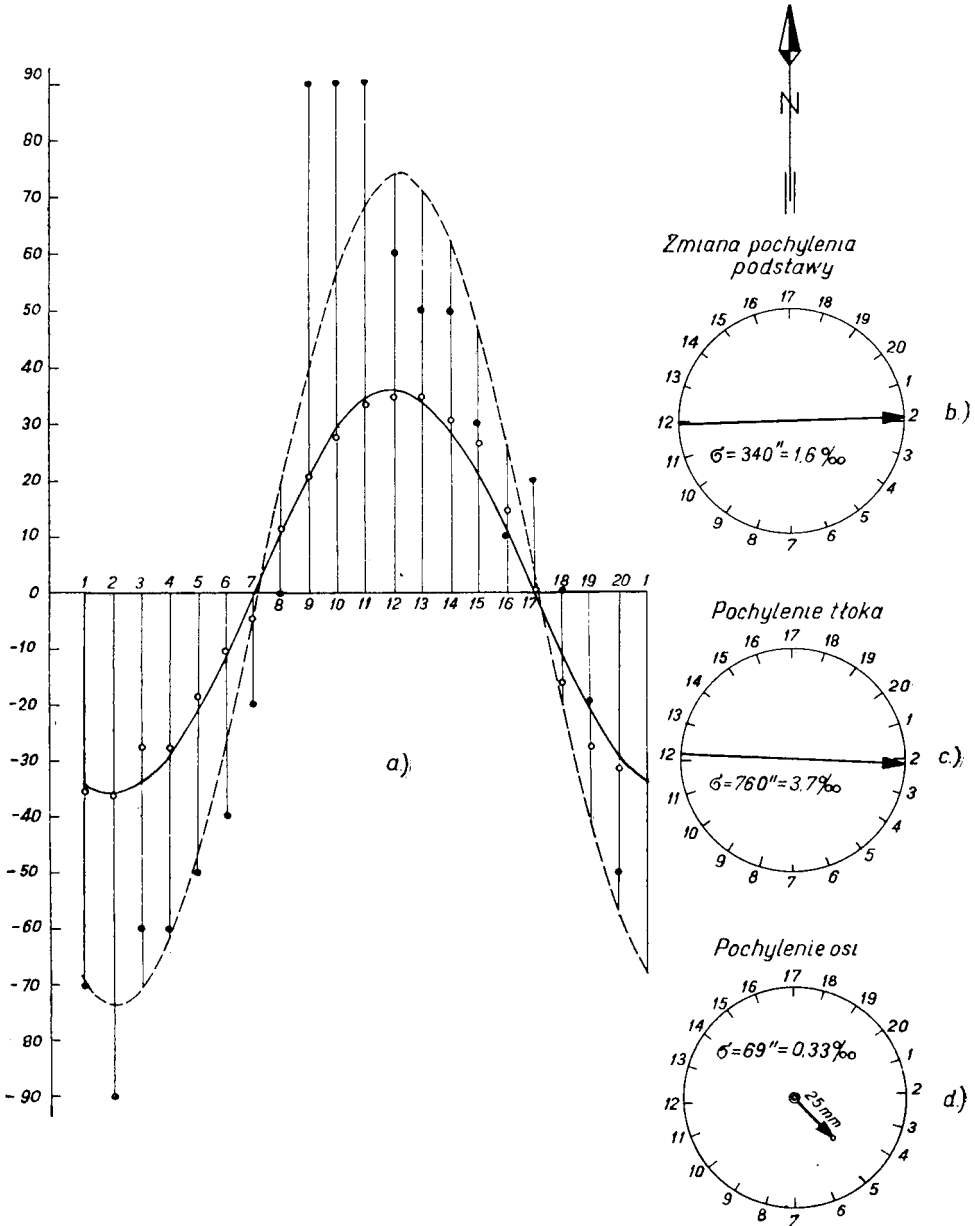
Sinusoidy pokazane na rysunku 8a stanowią graficzny obraz generalizacji złożonej, pozwalający na łatwe zorientowanie się co do wielkości i kierunku zmiany pochylenia powierzchni podparcia zbiornika i pochylenia powierzchni tłoka, przy jednoczesnym określeniu wielkości odkształceń powierzchni podparcia i odchyłeń tłoka od płaskości.

Innym graficznym wyrazem dokonanych generalizacji są rysunki 8b, 8c, na których oznaczono kierunki zmiany pochylenia powierzchni podparcia (rys. 8b) i pochylenia powierzchni tłoka (rys. 8c). Na rysunkach tych wielkości zmiany pochylenia i pochylenia podano w formie liczbowej, wyrażając je za pomocą kąta σ w sekundach i w postaci nachyleń jednostkowych w promille.

Rysunek 8d zawiera graficzny obraz wyniku generalizacji wyznaczonych odchyłeń słupów zbiornika od pozycji pionowej. Na rysunku tym pokazano poziomy wektor odchylenia osi geometrycznej zbiornika od pionu, którego składowe $\Delta x_{\varepsilon r}, \Delta y_{\varepsilon r}$ określono w tablicy 3. Wielkość odchylenia osi geometrycznej zbiornika od pionu podano też na rysunku 8d w formie liczbowej.

Zgromadzone na rysunku 8 rezultaty pomiarów i ich generalizacji pozwalają porównać charakterystyczne tendencje dotyczące odchyłeń poszczególnych zespołów zbiornika od prawidłowych pozycji.

Przed wszystkim interesujący jest wynik porównania rysunków 8b i 8d. Przyjmując, że zbiornik został zmontowany w pozycji pionowej (jakkolwiek lepiej byłoby to wiedzieć na podstawie pomiarów wykonanych bezpośrednio po dokonaniu montażu) można spodziewać się, że wynik określenia zmiany pochylenia powierzchni podparcia będzie równoznaczny z wynikiem pomiaru odchylenia osi geometrycznej zbiornika od pozycji pionowej. W rzeczywistości rysunek 8d wskazuje na niezgodność odchylenia osi geometrycznej zbiornika od pionu w stosunku do zmiany pochylenia powierzchni podparcia, co może wskazywać na to,



Rys. 8

że bezpośrednio po dokonaniu montażu oś ta nie była pionowa i że powierzchnia płaszczka zbiornika podlega odkształceniom wywołanym przez dodatkowe czynniki, jak na przykład parcie wiatru, nierównomierność nagrzewania promieniami słonecznymi itp.

Informacja dostarczona na rysunku 8c, dotycząca kierunku i wielkości pochylenia tłka jest szczególnie ważna ze względu na możliwość wywierania przez tłok nierównomiernie rozłożonych sił poziomych na prowadnice, co również może być przyczyną odkształcania się konstrukcji i poszycia płaszcza zbiornika. Trzeba tu wspomnieć, że ciężar tłka wynosi około 600 ton i jest w przybliżeniu równy ciężarowi wszystkich pozostałych elementów zbiornika, w związku z tym jakakolwiek nie-

Tablica 3

Nr słupa	Δx	Δy	Δx_r	Δy_r
1	-22	37	- 4	19,5
2	-13	27	5	9,5
3	- 8	25	10	7,5
4	-10	22	8	4,5
5	- 6	25	12	7,5
6	- 5	15	13	- 2,5
7	- 5	10	13	- 7,5
8	- 2	10	16	- 7,5
9	- 8	4	10	-13,5
10	-10	5	8	-12,5
11	-10	8	8	- 9,5
12	-18	0	0	-17,5
13	-25	6	- 7	-11,5
14	-30	10	-12	- 7,5
15	-38	20	-20	2,5
16	-37	20	-12	2,5
17	-34	23	-16	5,5
18	-27	31	- 9	13,5
19	-31	22	-13	4,5
20	-25	29	- 7	11,5
śr.	-18	17,5		

prawidłowość pracy tłka może wywierać znaczny wpływ na kształt i pozycję płaszcza. Ponadto trzeba wspomnieć, że w przypadku podjęcia decyzji o dokonaniu regulacji położenia zbiornika na filarach niezbędne jest przeanalizowanie możliwych zmian położenia tłka wywołanych zmianą pochylenia osi geometrycznej zbiornika.

Podkreślę tu, że dokonywanie generalizacji wyników pomiarów odkształceń i odchyłek nie jest podyktowane względami czystej „ciekawości” naukowej, bowiem poza dostarczeniem danych do prac badawczych wiąże się ściśle z praktycznymi aspektami dotyczącymi prac re-

Tablica 4

Nr rep.	V	U	dz	v_{dz}	z_r	v_{z_r}
1	0,95	0,31	-35,5	-1,1	-70	-1
2	1,00	0,00	-36,5	-0,4	-90	-16
3	0,55	-0,31	-27,5	6,7	-60	11
4	0,81	-0,59	-27,5	1,6	-60	2
5	0,59	-0,81	-18,5	2,6	-50	-4
6	0,31	-0,95	-10,5	0,4	-40	-14
7	0,00	-1,00	-4,5	-4,8	20	-17
8	-0,31	-0,95	11,5	0,0	0	-20
9	-0,59	-0,81	20,5	-1,0	90	49
10	-0,81	-0,59	27,5	-1,9	90	32
11	-0,95	-0,31	33,5	-0,9	90	21
12	-1,00	0,00	34,5	-1,6	60	-14
13	-0,95	0,31	34,5	0,3	50	-21
14	-0,81	0,59	30,5	1,4	50	-12
15	-0,59	0,81	26,5	5,4	30	-16
16	-0,31	0,95	14,5	3,6	10	-16
17	0,00	1,00	0,5	0,8	20	17
18	0,31	0,95	-16,5	-5,0	0	20
19	0,59	0,81	-27,5	-6,0	-20	21
20	0,81	0,59	-31,5	-2,1	-50	8
	10,01	0,00 10,01	-361,5 - 3,0		-737 30	
	36,1 74	-0,3 3	niewiadome			

gulacyjnych. Dlatego prześledzimy obecnie związki między generalizacją wyników pomiarów a sposobami dokonywania regulacji.

W przypadku zbiorników gazu typu MAN regulacji mogą podlegać wysokości podparcia poszczególnych słupów na filarach. Ponadto możliwe jest regulowanie pochylenia tłoka przez zmianę położenia elementów betonowych stanowiących balast.

Przypuśćmy, że dysponujemy wyłącznie nie zgeneralizowanymi wielkościami wyznaczonych bezwzględnych osiadań filarów. W przypadku, gdy różnice osiadań poszczególnych filarów przekroczą wielkości dopuszczalne, należy zmienić wzajemne wysokości położenia stóp poszczególnych słupów. W tym celu najprościej byłoby zwiększyć wysokość położenia stopy każdego słupa o wyznaczoną wielkość osiadania filara, na którym ten słup jest ustawiony. Jednak niekiedy bezwzględna wielkość osiadań jest znacznie większa aniżeli różnice osiadań poszczególnych słupów. W tej sytuacji należałoby zwiększyć wysokość położenia

stopy każdego słupa i o różnicę wyznaczonych osiadań $dz_{\min} - dz_i$ gdzie dz_{\min} — najmniejsza stwierdzona wielkość osiadania filara. Wówczas słup ustawiony na filarze który najmniej osiadł, nie wymaga podniesienia, zaś pozostałe słupy podlegają uniesieniu o mniejsze wartości.

Wykonując regulację wysokości położenia stóp wszystkich słupów o tak ustalone wartości powodujemy w praktyce doprowadzenie podstaw słupów do pierwotnych wzajemnych wysokości, czemu towarzyszy likwidacja powstałych odkształceń powierzchni podparcia i likwidacja powstałej zmiany pochylenia tej powierzchni. W rezultacie powodujemy odpowiednią zmianę pochylenia osi geometrycznej zbiornika (przy założeniu, że czynności regulacyjne nie powodują odkształceń całego zbiornika a jedynie zmianę jego pozycji). Oczywiście nie zawsze taka zmiana pochylenia osi geometrycznej zbiornika jest równoznaczna z doprowadzeniem tej osi do położenia pionowego.

W przypadku, gdy poza wspomnianymi danymi z niwelacji reperów na filarach zbiornika dysponujemy wyznaczonymi wielkościami odchyłek słupów od pozycji pionowej, możemy dokonywać regulacji wysokości położenia stóp słupów na filarach w taki sposób, aby wywołać doprowadzenie osi geometrycznej zbiornika do pozycji pionowej. W tym celu, znając kierunek i wielkość odchylenia osi geometrycznej od pionu, obliczamy wielkości zmian wysokości stóp poszczególnych słupów, jakie należałoby wywołać dla doprowadzenia osi geometrycznej zbiornika do pozycji pionowej. Wielkości tych zmian możemy obliczyć z wzoru:

$$\Delta z = -\rho \cdot \sigma \cdot R \cdot \cos(\beta - \varphi), \quad (12)$$

gdzie $\beta - \varphi + \pi$ — kąt środkowy między kierunkiem wektora odchylenia osi geometrycznej zbiornika od pozycji pionowej a kierunkiem do rozpatrywanego słupa, σ — wielkość odchylenia osi geometrycznej zbiornika od pozycji pionowej.

Jednak czynności regulacyjne powinny mieć na względzie nie tylko zlikwidowanie odchylenia osi geometrycznej zbiornika od pozycji pionowej, lecz również zlikwidowanie źródeł lokalnych naprężeń konstrukcji zbiornika, wywołanych odkształceniami powierzchni podparcia. Z tego względu zmianę wysokości stopy każdego słupa, jaką należałoby wywołać w wyniku regulacji, określimy z wzoru:

$$\underline{\Delta z} = -\rho \cdot \sigma \cdot R \cdot \cos(\beta - \varphi) - v_{dz}. \quad (13)$$

Zmiany wysokości obliczone z wzoru (13) mogą osiągać wartości dodatnie i ujemne. Ponieważ regulację wysokości położenia stóp słupów możemy w praktyce wykonywać drogą wsuwania między stopę słupa a filar podkładek o obliczonej grubości, należy w praktyce poprawić wielkości $\underline{\Delta z}$ obliczone z wzoru (13) o Δz_{\min} tak, aby wszystkie zmiany wysokości podstaw osiągnęły wielkości dodatnie.

Tablica 5

Nr słupa	$\beta - \varphi + \pi$	$-\cos(\beta - \varphi)$	Δz	$-v_{dz}$	Δz	Δz_r
1	294°	0,41	3,0	1,1	4,1	16,8
2	312	0,67	5,0	0,4	5,4	18,1
3	330	0,87	6,5	-6,7	0,2	12,5
4	348	0,98	7,2	-1,6	5,6	18,3
5	6	0,99	7,3	-2,6	4,7	17,4
6	24	0,91	6,7	-0,4	6,3	19,0
7	42	0,74	5,5	4,8	10,3	23,0
8	60	0,50	3,7	0,0	3,7	16,4
9	78	0,21	1,6	1,0	2,6	15,3
10	96	-0,10	-0,7	1,9	1,2	13,9
11	114	-0,41	-3,0	0,0	-2,1	10,6
12	132	-0,67	-5,0	1,6	-3,4	9,3
13	150	-0,87	-6,5	-0,3	-6,8	5,9
14	168	-0,98	-7,2	-1,4	-8,6	4,1
15	186	-0,99	-7,3	-5,4	-12,7	0,0
16	204	-0,91	-6,7	-3,6	-10,3	2,4
17	222	-0,74	-5,5	-0,8	-6,3	6,4
18	240	-0,50	-3,7	5,0	1,3	14,0
19	258	-0,21	-1,6	6,0	4,4	17,1
20	276	0,10	0,7	2,1	2,8	15,5

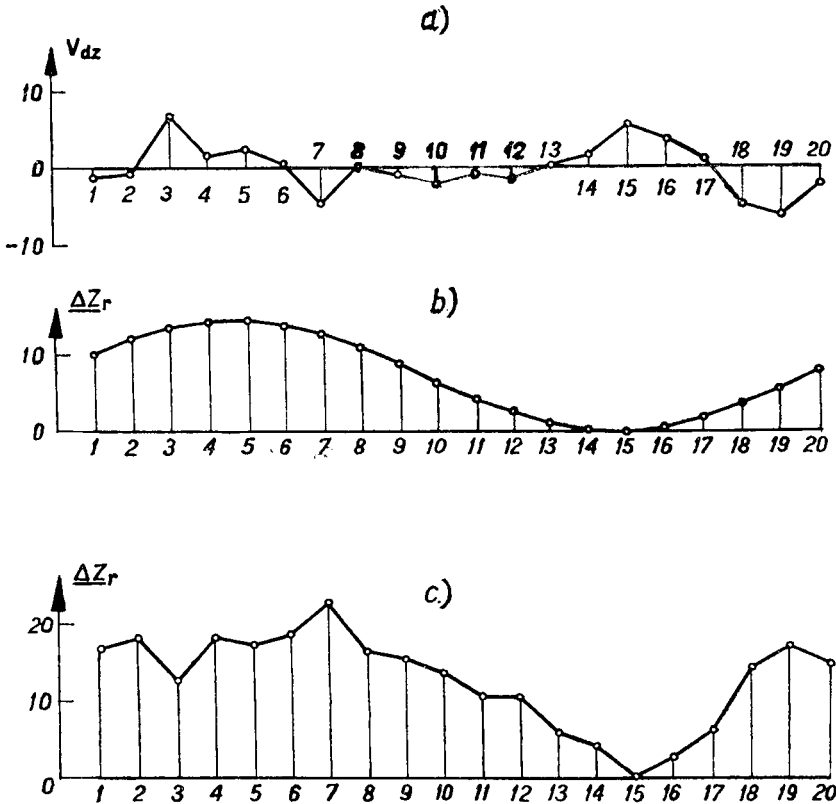
Stosownie do wyników pomiarów i obliczeń zawartych w tablicach 3, 4 obliczymy obecnie wielkości poprawek regulacyjnych, mających na celu zlikwidowanie odchylenia osi geometrycznej zbiornika od pozycji pionowej i zlikwidowanie powstałych odkształceń powierzchni podparcia zbiornika na filarach. Obliczenie tych poprawek zawarte jest w tablicy 5.

Na rysunku 9 pokazano wykresy wielkości poprawek regulacyjnych. Rysunek 9a zawiera wykres odkształceń powierzchni podparcia słupów zbiornika, opracowany na podstawie wielkości v_{dz} obliczonych w tablicy 4. Rysunek 9b zawiera wykres poprawek wysokości stóp słupów służących do doprowadzenia osi geometrycznej zbiornika do pozycji pionowej. Rysunek 9c zawiera wykres poprawek wysokości stóp słupów prowadzących do doprowadzenia osi geometrycznej zbiornika do pozycji pionowej, przy jednoczesnej likwidacji odkształceń powierzchni podparcia zbiornika w miejscach podparcia słupów. W omówionym przykładzie nie wskazano sposobu obliczenia poprawek, jakie należałoby wprowadzić w wysokości podparcia konstrukcji stężającej na filarach 21—61. Wielkości tych poprawek należy obliczać jako funkcje poprawek wprowadzonych na filarach 1—20. W związku z tym poprawki v_{dz} na fila-

rach 21—61 należy obliczyć jako funkcje z wykorzystaniem wielkości U , V obliczonych z wyrównania, posługując się w tym celu wzorem:

$$\frac{R_1}{R} (U \cdot \cos \beta + V \cdot \sin \beta) - dz = v_{dz}, \quad (14)$$

gdzie R_1 promień okręgu, na którym znajdują się rozpatrywane filary, R — promień okręgu na którym znajdują się filary, w oparciu o których osiadania wyznaczono współczynniki U , V .



Rys. 9

Poprawki Δz dla filarów 21—61 należy obliczać z wzoru (12) podstawiając do niego odpowiednie promienie R_1 .

Jak wynika z podanych ilustracji problemu regulacji zbiorników, czynności generalizacyjne pozwalają określić poprawki wysokości ustawienia słupów, których wprowadzenie powinno wywołać likwidację szkodliwych naprężeń wywołanych odkształceniami powierzchni podparcia przy jednoczesnym doprowadzeniu osi geometrycznej zbiornika do

pozycji pionowej. W przypadku braku generalizacji wyznaczonych osiadań filarów, likwidacje nierównomierności osiadań przez regulację wysokości stóp słupów o wyznaczone wielkości powodowałyby w wielu przypadkach niewłaściwe usytuowanie osi geometrycznej zbiornika.

Na zakończenie trzeba wspomnieć, że faktyczne efekty wynikające z regulowania wysokości podparcia słupów mogą się różnić od efektów oczekiwanych ze względu na sposób wykonania czynności regulacyjnych. Wynika to z faktu, że zmiana pozycji całego zbiornika pod wpływem regulacji przeprowadzanej na poszczególnych filarach połączona jest z lokalnymi odkształceniami chwilowymi, które prawdopodobnie nie zanikają całkowicie po osiągnięciu przez wszystkie słupy nowych, wyregulowanych pozycji. Dlatego program wykonywania czynności regulacyjnych powinien być opracowany szczegółowo pod kątem stopniowego wprowadzania zmian pozycji poszczególnych słupów bez wywoływania znacznych naprężeń w czasie regulacji.

L I T E R A T U R A

- [1] Anders Z.: Wyznaczenie odchyłeń zewnętrznej powierzchni zbiornika kulistego. Materiały z XXXII Konferencji Nauk. Techn. SGP pt. „Pomiary odkształceń obiektów przemysłowych”. Katowice 1965.
- [2] Brait P.I. Miedwieckij E.N.: Izmierenie osadok i deformacij sooruzenij geodeziczeskimi metodami. Moskwa 1959.
- [3] Hausbrandt St.: Rachunki geodezyjne. Warszawa 1953.
- [4] Janusz W.: Pomiar odkształceń zbiornika gazowego. Przegląd Geodezyjny 2/1966.
- [5] Janusz W.: Pomiary odchyłek wykonania i montażu obrotowych zespołów wirujących. Prace IGiK T. XIV Z. 3(33) 1967.
- [6] Janusz W.: Wytyczne do prowadzenia pomiaru odchyłek montażu budynków. Biuletyn PP „Geoprojekt”. Warszawa 1967.
- [7] Koronowski R.: Metoda określenia najprawdopodobniejszej krzywej aproksymującej wyniki szeregu obserwacji. Geodezja i Kartografia, T. XIII Z. 4, 1964.
- [8] Lazzarini T.: Geodezyjne pomiary odkształceń i ich zastosowanie w budownictwie. Warszawa 1961.
- [9] Marcak P.: Metody pomiarowe i przyrządy do kontroli wysokich budowli zaopatrzonych w urządzenia mechaniczne do korygowania położenie fundamentów. Przegląd Geodezyjny 11/1966.
- [10] Skórczyński A.: Wyrównanie układów obserwacyjnych prowadzących do wyznaczenia parametrów niektórych tworów geometrycznych płaskich i trójwymiarowych. Praca doktorska na Politechnice Warszawskiej. Nie publikowana.
- [11] Zak M.: Metody przedstawiania wyników pomiarów odkształceń. Materiały z XXXII Konferencji Nauk. Techn., SGP pt. „Pomiary odkształceń obiektów przemysłowych”. Katowice 1965.
- [12] Montaż konstrukcji stalowych. Poradnik. Arkady. Warszawa 1963.

Recenzował: Prof. Jan Ponikowski

Rękopis złożono w Redakcji w styczniu 1968 r.

ВОИЦЕХ ЯНУШ

ВСТУПЛЕНИЕ К ОБОБЩЕНИЮ ИЗМЕРЕНИЙ ПРОЕКТНЫХ ОТКЛОНЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Резюме

В работе обсуждено и проиллюстрировано примерами вопросы связанные с обработкой результатов измерений отклонений от установленного положения и перемещений точек находящихся на поверхности проверяемого объекта или технического устройства. Для уяснения сущности обсуждаемого в работе вопроса необходимо пользоваться следующими рабочими дефинициями:

1. Перемещение поверхности — изменение положения поверхности без изменений ее формы и размеров.

2. Деформация поверхности — изменение формы и размеров поверхности без ее перемещения в пространстве.

3. Установленное перемещение точки находящейся на поверхности — вектор \overline{dp} изменения положения точки, которое может быть результатом перемещения или деформации поверхности, или же результатом совместного влияния перемещения и деформации поверхности (причина этого перемещения не является определенной а priori).

4. Перемещение поверхности в окрестности проверяемой точки — вектор $\overline{dp'}$ перемещения точки под влиянием перемещения поверхности.

5. Деформация поверхности в окрестности проверяемой точки — вектор $\overline{v_{dp}}$ перемещения точки под влиянием деформации поверхности.

6. Между векторами \overline{dp} , $\overline{dp'}$, $\overline{v_{dp}}$ существует зависимость:

$$\overline{dp} + \overline{v_{dp}} = \overline{dp'}$$

7. Отклонение положения точки — вектор разности между определенной и проектированной позицией точки.

Сущность геодезических измерений составляют определения по пунктам, позволяющие на установление отклонений положения или определяемых и натуральных перемещений выбранных характеристических точек на поверхности исследуемого объекта. Выбор точек на поверхности исследуемого объекта, перемещения или отклонения положения которых определяются, производится таким образом, чтобы полученные значения перемещений или отклонений относящиеся ко всей системе точек были наиболее представительны при определении перемещений, деформаций и отклонений поверхности целого объекта. Таким образом в результате померений перемещений определяется лишь величины векторов \overline{dp} .

Система определенных векторов \overline{dp} может быть подвергнута простому обобщению, которое позволяет создать приближенное представление о поведении поверхности, на которой находятся рассматриваемые точки. Например, согласно рисунку 2а определенное оседание девяти реперов, находящихся на железобетонной плите фундамента, было обобщено путем проведения изолиний оседаний методом интерполяции между реперами. Этого рода обобщение усиливает коммуникативность (наглядность и читаемость) результатов определений, но имеет приближенный характер, по поводу принятого предположения, что на отрезках между соседними реперами наблюдается непрерывность и равномерность разностей оседаний.

С целью обогащения содержания определений является целесообразным произвести сложное обобщение, которое сводится к вычислению наиболее вероятных значений $\overline{dp'}$, $\overline{v_{dp}}$ на основе полученных из измерений векторов \overline{dp} и представления полученных результатов вычислений с помощью соответствующих методов простого обобщения. На рисунке 2в и 2с показываются значения dz' и v_{dz} вычисленные на основе оседаний представленных на рисунке 2а. Чтобы их получить решено в таблице 1 систему уравнений „деформаций” вида определенного формулой (7) с учетом условий:

$$[v_{dz}^2] = \text{мин.}, \quad [v_{dz}] = 0.$$

На рисунке 2в и 2с увеличено коммуникативность полученных результатов вычисления путем вычерчения изолиний перемещения поверхности плиты фундамента (рис. 2в), а также изолиний деформации поверхности плиты (рис. 2с). Таким образом графические методы простого обобщения примененные на упомянутых рисунках служат для более коммуникативного представления содержания, отличающихся между собой истинным образом, в зависимости от значения обобщаемых вертикальных слагаемых, векторов перемещений реперов.

Сложное обобщение является необходимым элементов обработки результатов измерений, решающим о возможности более обоснованного заключения о состоянии безопасности исследуемого объекта и о необходимых мерах повышения этой безопасности. Возможность выделения, на основе применения сложного обобщения, в результатах измерений составных частей определенных перемещений точек, вызванных перемещением поверхности и ее деформацией имеют громадное значение теоретическое и практическое.

В дальнейшей части работы проиллюстрировано практическое значение исполненного обобщения на примерах обработки результатов измерений, связанных с контролем газгольдеров типа MAN. Благодаря произведенному обобщению становится возможным в таких исследованиях определение взаимозависимостей между отклонениями положения, перемещениями и деформациями отдельных узлов конструкции газгольдеров, что позволяет на выбор наиболее соответственного метода осуществления регулировки газсема. Опираясь на результаты обобщения можно найти наиболее подходящие величины поправок регулировки, учет которых должен привести к улучшению геометрического положения рассматриваемых объектов.

INTRODUCTION TO GENERALIZATION OF RESULTS OF
SURVEYS OF DEVIATIONS FROM PLANS AND OF
DEFORMATIONS OF TECHNICAL EQUIPMENT

S u m m a r y

The author discusses, and illustrates by examples, problems arising when it comes to establish the results of surveys of deviations in position and of displacements of points situated on the surface of an object or of some technical equipment to be checked. In order to throw light on essential facts of the problems discussed in this paper it is indispensable to make use of the following working expressions:

1) displacement of surface -- a change of its position without changes of its dimensions or shape,

2) deformation of surface -- a change of dimensions and shape of a surface without its displacement in space.

3) determination of the displacement of a point on a surface -- vector \overline{dp} indicating the change of the point's position which might have been caused by either displacement or deformation of the surface, or by the joint effect of surface displacement and deformation (where the cause of this displacement is not indicated beforehand).

4) displacement of surface at point to be checked -- vector $\overline{dp'}$ indicating the point's displacement due to surface displacement.

5) deformation of surface at point to be checked -- vector $\overline{v_{dp}}$ indicating the point's displacement due to surface deformation.

6) between vectors \overline{dp} , $\overline{dp'}$ and $\overline{v_{dp}}$ there exists the relation:

$$\overline{dp} + \overline{v_{dp}} = \overline{dp'}$$

7) deviation of the point's position -- the vector of the difference between the determined and the plans position of the point.

The essence of geodetic surveying is representation of points, i.e. the faculty of determining accurately deviations of position and displacements of characteristic points, specially marked or existing in nature, on the surface of an examined object. On the surface of the object to be checked one selects points for which the displacement or the deviation from the plans position is to be determined, -- choosing them in such a way that the values referring to the group of points

should properly indicate the dislocation, the deformation and the deviations of the surface of the entire object. Thus, as the result of surveying the changes, one establishes only the values of the vectors \overline{dp} .

The assemblage of the determined vectors \overline{dp} can be subject to a simple generalization which gives the opportunity of illustrating approximately the behaviour of the surface on which the points to be checked are located. To give an example: as shown in Fig. 2^a, the determined settling dz of nine bench marks on a reinforced concrete foundation plate has been generalized by the interpolation of isolines showing the settling of this plate surface. A generalization of this type makes it easier to understand the results of the survey made, but it is of a rather approximative character, because a continuity and uniformity of the differences in the settling of the surface has been presupposed in reference to the space between neighbouring bench marks.

For enriching the range of our determinations it may be advisable to apply a complex generalization involving the calculation of the most probable values \overline{dp}' $\overline{v_{dp}}$ on the basis of vectors dp determined by surveys, and presentation of the results obtained by means of suitable methods of simple generalization. Figs. 2^b, 2^c show values for dz' , v_{dz} calculated from data for the settling dz given in Fig. 2^a. In order to do these calculations, in Table 1 the system of „Deformation Equations” of the type described by Equation (7) was solved whereby the condition was satisfied that

$$[v_{dz}^2] = \text{minimum, and } [v_{dz}] = 0.$$

In Figs. 2^b, 2^c the clarity of the results obtained in these calculations has been enhanced by plotting isolines of displacement of foundation plate surface (Fig. 2^b) and isolines of deformation of foundation plate surface (Fig. 2^c). In this manner graphical methods of simple generalization are used for illustrating in the figures mentioned basically different matters, depending on the significance of the generalized vertical components of vectors referring to the displacement of bench marks.

The complex generalization constitutes an indispensable element in the calculation of surveys; it is of decisive influence upon the chance of drawing profound conclusions in matters of safety of the examined object and of the necessity of further steps towards increasing this safety. It is of great theoretical and practical importance that the complex generalization enables us to distinguish in the results of our surveys of the component parts of the determined displacements of points, whether these displacements are due to the displacement of the surface or to its deformation.

In a further chapter the author illustrates the practical advantage of the generalization made, using as example the calculations of surveys connected with checking gas tanks of the MAN type. Generalization made it possible in instances of this kind to determine the interrelation between deviations of position and cases of displacement and deformation of the individual sectional parts of the gas tanks; this in turn disclosed the most appropriate way how to correct the position of the tanks. Thus one can use the results of generalization as basis for the most suitable values of control corrections by which the geometric position of the examined objects should be set right.