



НУЖДІН ЛЕОНІД ВІКТОРОВИЧ

Канд. техн. наук, професор, Новосибірський державний архітектурно-будівельний університет (Сибстрин), Пермський науково-дослідний політехнічний університет, Росія. Основні напрямки діяльності: дослідження, проектування і оптимізація конструктивних рішень пристрою основ і фундаментів; розробка нових методів підвищення їх несучої здатності та ефективності посилення аварійних об'єктів; динаміка основ і фундаментів; дослідження хвильових процесів системи "фундамент - палі - основа". За результатами робіт складено більше 500 технічних звітів і експертних висновків, проведено понад 1500 письмових консультацій.

Автор понад 320 наукових публікацій, з яких понад 75 робіт опубліковано за кордоном або переведено на іноземні мови, в тому числі співавтор 4 монографій, довідника геотехніка (2 видання) та 5 авторських свідоцтв і патентів на винаходи.

E-mail: nuzhdin_ml@mail.ru



НУЖДІН МАТВІЙ ЛЕОНІДОВИЧ

Директор ТОВ «Науково-проектне експертно-консультаційне підприємство «ОіФ», Новосибірськ, Росія.

Основні напрямки діяльності: оптимізація проектних рішень фундаментів, посилення і інженерна підготовка ґрунтової основи, інженерні вишукування.

Автор понад 75 наукових публікацій, в тому числі 1 монографії та 3 патентів на винаходи.

E-mail: 89139059520@mail.ru



ПАВЛЮК КСЕНІЯ В'ЯЧЕСЛАВІВНА

Аспірант, Новосибірський державний архітектурно-будівельний університет (Сибстрин), Росія

Основні напрямки діяльності: комп'ютерні розрахунки основ і фундаментів, польові дослідження деформаційних властивостей ґрунтів, дослідження напружено-деформованого стану ґрунтових основ.

Автор 15 наукових публікацій.

E-mail: xenia0822@mail.ru

УДК 624.131

ВРАХУВАННЯ ВПЛИВУ ДЕФОРМАЦІЙНОЇ АНІЗОТРОПІЇ ПРИ РОЗРАХУНКУ ОСІДАННЯ ФУНДАМЕНТІВ

Ключові слова: деформаційна анізотропія, напружено-деформований стан ґрунту, осідання фундаменту.

У статті наведено вдосконалений метод розрахунку деформацій ґрунтової основи, складеної анізотропними ґрунтами. В основу покладено стандартний метод розрахунку осідання фундаментів згідно з чинною нормативною документацією СП 22.13330.2011 «Основи будівель і споруд. Актуалізована редакція БНіП 2.02.01-83». Облік анізотропних властивостей здійснюється шляхом введення додаткового коефіцієнта α_a , який залежить від ступеня анізотропії ґрунтової основи k_a і геометричних розмірів фундаменту.*

В статье приведен усовершенствованный метод расчета деформаций грунтового основания, составленной анизотропными почвами. В основу положен стандартный метод расчета осадок фундаментов в соответствии с действующей нормативной документацией СП 22.13330.2011 «Основы зданий и

*сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83 * ». Учет анизотропных свойств осуществляется путем введения дополнительного коэффициента α_a , который зависит от степени анизотропии грунтового основания k_a и геометрических размеров фундамента.*

*The paper presents the improved calculation method of the deformations of soil basement folded by anisotropic soils. It is based on the standard calculation method of foundations settlements according to current regulatory documents SP 22.13330.2011 «Foundations of buildings and structures. Updated edition of SNiP 2.02.01-83 *». Accounting anisotropic properties is carried out by introducing in calculation an additional coefficient α_a , which depends on soil anisotropy index of the soil basement k_a and geometrical dimensions of the foundation.*

При проектуванні основ фундаментів рекомендується враховувати просторову роботу конструкцій, геометричну і фізичну нелінійність, анізотропію, пластичні і реологічні властивості матеріалів і ґрунтів, розвиток областей пластичних деформацій під фундаментом. Не зважаючи на те, що практично всі нескельні ґрунти в тій чи іншій мірі мають анізотропні властивості, чинні норми проектування не враховують деформаційну анізотропію ґрунтів. Оскільки існуючі методи прогнозування деформацій ґрунтових основ і осідання фундаментів не дозволяють в належній мірі оцінити поведінку масиву ґрунту, особливо при наявності в основі анізотропних ґрунтів, необхідно підвищувати точність розрахунку.

Враховуючи вищесказане, пропонується коригування методу розрахунку осідання фундаментів з урахуванням деформаційної анізотропії ґрунтової основи згідно зі схемою лінійно-деформованого півпростору за СП 22.13330.2011 «Основи будівель і споруд. Актуалізована редакція БНіП 2.02.01-83*».

Пропонований підхід заснований на результатах аналізу фактичних деформацій основи, складеної анізотропними ґрунтами, і чисельного експерименту напружено-деформованого стану (НДС) анізотропного ґрунту методом кінцевих елементів. НДС трансверсально-ізотропного півпростору детально проаналізовано за результатами розрахунку в програмному комплексі ANSYS з використанням моделі пружного лінійно-деформованого середовища. Деформаційні властивості ґрунтів визначені модулем деформації E і коефіцієнтом Пуассона μ . Ступінь деформаційної анізотропії оцінюється за даними розширених стандартних інженерно-геологічних вишукувань, виходячи зі співвідношення модулів деформації в вертикальному E_z і горизонтальному E_x напрямках. Враховуючи результати багаторічних експериментальних досліджень, що проводяться на кафедрі інженерної геології, основ і фундаментів Новосибірського державного архітектурно-будівельного університету (Сибстрин) [1] діапазон найбільш ймовірного показника анізотропії $k_a = E_z/E_x$ прийнятий від 0,5 до 2.

Модуль деформації ґрунту визначається відомими лабораторними і польовими методами, рекомендованими СП 22.13330.2011. Значення коефіцієнтів Пуассона прийняті відповідно до ДСТУ

202276-85 та є рівними для пісків – 0,27; супісків – 0,30; суглинків – 0,35 і глин – 0,40.

При проведенні чисельного експерименту (модельованні в програмному середовищі ANSYS) модуль зсуву G визначався за формулою:

$$G_{xz} = \frac{E_x E_z}{E_x (1 + \mu_z) + E_z (1 + \mu_x)}, \quad (1)$$

де E_z і E_x – модуль деформації в вертикальному і горизонтальному напрямках; μ_z і μ_x – коефіцієнт Пуассона аналогічно.

В результаті чисельного експерименту були проаналізовані трансверсально-ізотропні середовища з коефіцієнтами деформаційної анізотропії $k_a = 0.5; 0.75; 1.33$ і 2 . При цьому були отримані схеми розподілу напружень по глибині, як для стрічкових фундаментів, так і для квадратних, прямокутних і круглих в плані. Нижче наведені розподіли напружень для ізотропної і анізотропної ґрунтової основи стовпчастих фундаментів (рис.1).

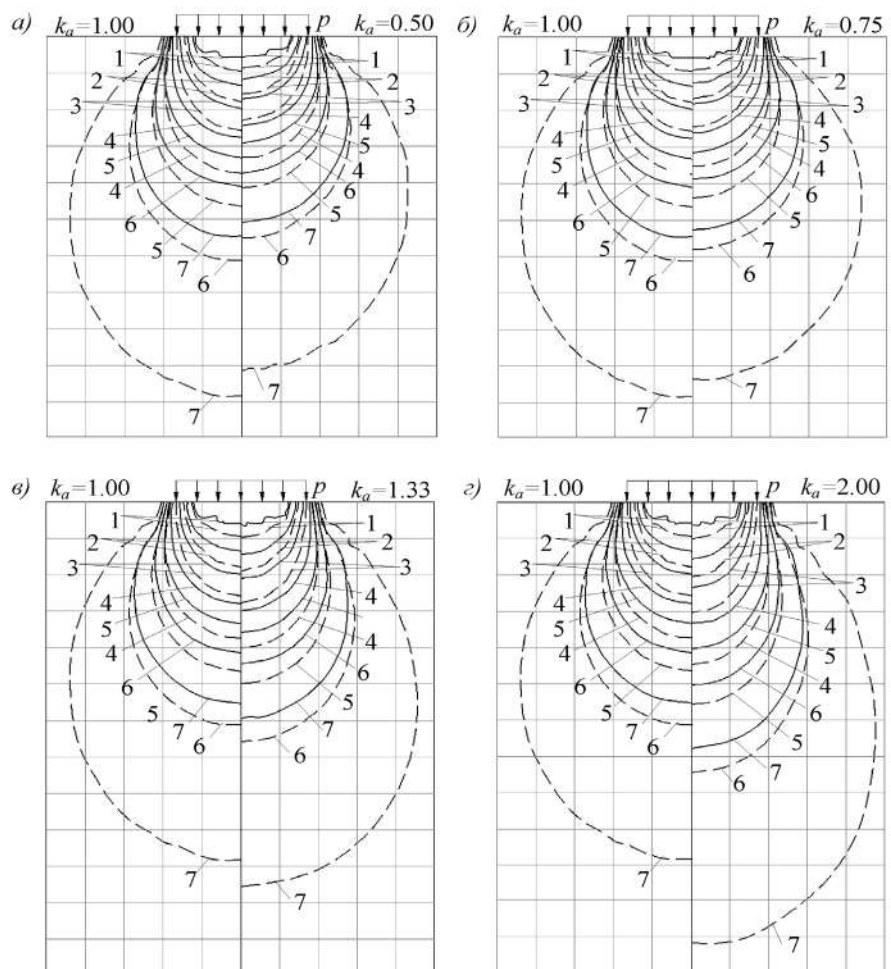


Рис 1. Розподіл додаткових напружень (σ_{zp} і σ_{zp} , а) під підшовою квадратного (3×3 м, суцільна лінія) і прямокутного (3×4.2 м, пунктирна лінія) фундаментів в ізотропному (зліва, $k_a = 1.00$) і анізотропному (праворуч) ґрунтах: а - при коефіцієнті анізотропії $k_a = 0.50$; б - при $k_a = 0.75$; в - при $k_a = 1.33$; г - при $k_a = 2.00$;
1 – 0.9р; 2 – 0.8р; 3 – 0.5р; 4 – 0.4р; 5 – 0.35р; 6 – 0.25р; 7 – 0.15.

Таблиця 1. Поправочні коефіцієнти α_a для коригування вертикальних напруг в ґрунтовому підставі від зовнішнього навантаження, що враховують анізотропні властивості ґрунту

$\xi=2z/b$	Поправочний коефіцієнт α_a при коефіцієнті анізотропії k_a , рівний							
	Для круглих фундаментів				Для прямокутних фундаментів з співвідношенням сторін $n=l/b=1$			
	0.5	0.75	1.33	2	0.5	0.75	1.33	2
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0.4	0,894	0,918	1,015	1,023	0,926	0,948	1,015	1,021
0.8	0,873	0,923	1,034	1,054	0,881	0,928	1,028	1,043
1.2	0,834	0,912	1,055	1,172	0,843	0,917	1,043	1,139
1.6	0,800	0,890	1,074	1,246	0,808	0,895	1,062	1,209
2.0	0,796	0,895	1,109	1,323	0,804	0,899	1,098	1,286
2.4	0,785	0,883	1,117	1,364	0,790	0,887	1,109	1,331
2.8	0,764	0,861	1,109	1,382	0,766	0,866	1,100	1,353
3.2	0,769	0,869	1,123	1,415	0,769	0,869	1,119	1,388
3.6	0,764	0,858	1,123	1,425	0,763	0,863	1,115	1,405
4.0	0,759	0,851	1,115	1,437	0,759	0,852	1,120	1,426
4.4	0,753	0,849	1,110	1,438	0,758	0,846	1,110	1,429
4.8	0,758	0,839	1,113	1,432	0,766	0,844	1,117	1,442
5.2	0,755	0,849	1,113	1,433	0,746	0,836	1,104	1,433
5.6	0,761	0,826	1,109	1,437	0,759	0,828	1,103	1,448
6.0	0,775	0,850	1,125	1,475	0,765	0,824	1,098	1,451
6.4	0,750	0,833	1,083	1,444	0,778	0,822	1,111	1,467
6.8	0,806	0,839	1,129	1,516	0,775	0,825	1,100	1,473
7.2	0,786	0,857	1,107	1,500	0,778	0,833	1,083	1,472
7.6	0,833	0,875	1,167	1,583	0,813	0,844	1,125	1,509
8.0	0,864	0,864	1,182	1,591	0,828	0,862	1,103	1,517
8.4	0,810	0,857	1,095	1,524	0,846	0,846	1,115	1,538
8.8	0,842	0,842	1,105	1,526	0,833	0,875	1,125	1,542
9.2	0,882	0,882	1,176	1,588	0,864	0,864	1,136	1,545
9.6	0,875	0,875	1,125	1,563	0,850	0,900	1,150	1,600
10.0	0,867	0,867	1,133	1,533	0,842	0,842	1,105	1,579
10.4	0,857	0,857	1,143	1,571	0,882	0,882	1,176	1,647
10.8	0,846	0,846	1,154	1,615	0,875	0,875	1,188	1,625
11.2	0,917	0,833	1,167	1,583	0,867	0,867	1,133	1,667
11.6	0,909	0,909	1,182	1,636	0,929	0,857	1,143	1,643
12.0	0,900	0,900	1,200	1,700	0,923	0,923	1,154	1,692

Таблиця 2. Поправочні коефіцієнти α_a для коригування вертикальних напруг в ґрунтовому підставі від зовнішнього навантаження, що враховують анізотропні властивості ґрунту

$\xi=2z/b$	Поправочний коефіцієнт α_a при коефіцієнті анізотропії k_a , рівний							
	Для прямокутних фундаментів з співвідношенням сторін $n=l/b=1,4$				Для прямокутних фундаментів з співвідношенням сторін $n=l/b=1,8$			
	0.5	0.75	1.33	2	0.5	0.75	1.33	2
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0.4	0,938	0,953	0,972	1,009	0,954	0,964	1,005	1,008
0.8	0,908	0,940	0,988	1,020	0,924	0,948	1,010	1,015
1.2	0,877	0,931	1,022	1,088	0,901	0,943	1,015	1,068
1.6	0,842	0,910	1,039	1,145	0,869	0,924	1,028	1,111
2.0	0,831	0,908	1,070	1,208	0,857	0,920	1,052	1,162
2.4	0,812	0,898	1,086	1,258	0,834	0,906	1,064	1,201
2.8	0,788	0,877	1,081	1,285	0,809	0,888	1,066	1,234
3.2	0,786	0,876	1,100	1,329	0,801	0,884	1,076	1,267
3.6	0,780	0,873	1,104	1,353	0,794	0,876	1,086	1,297
4.0	0,772	0,862	1,097	1,366	0,784	0,869	1,091	1,318
4.4	0,764	0,846	1,098	1,374	0,780	0,860	1,087	1,340
4.8	0,762	0,848	1,105	1,400	0,777	0,854	1,085	1,354
5.2	0,758	0,835	1,099	1,407	0,770	0,841	1,080	1,363
5.6	0,772	0,835	1,101	1,418	0,768	0,838	1,081	1,374
6.0	0,771	0,829	1,086	1,414	0,782	0,839	1,092	1,391
6.4	0,774	0,839	1,097	1,435	0,792	0,844	1,091	1,416
6.8	0,782	0,836	1,091	1,436	0,783	0,841	1,087	1,420
7.2	0,796	0,837	1,102	1,469	0,790	0,839	1,097	1,435
7.6	0,818	0,841	1,114	1,477	0,804	0,839	1,089	1,446
8.0	0,825	0,850	1,100	1,500	0,824	0,843	1,098	1,451
8.4	0,811	0,838	1,081	1,486	0,826	0,848	1,109	1,478
8.8	0,848	0,879	1,121	1,545	0,857	0,857	1,119	1,500
9.2	0,839	0,839	1,097	1,516	0,846	0,846	1,103	1,513
9.6	0,857	0,857	1,143	1,571	0,861	0,861	1,111	1,528
10.0	0,885	0,885	1,115	1,577	0,879	0,879	1,121	1,545
10.4	0,875	0,875	1,167	1,583	0,871	0,871	1,129	1,548
10.8	0,909	0,909	1,182	1,636	0,862	0,862	1,138	1,586
11.2	0,905	0,857	1,143	1,619	0,889	0,852	1,148	1,593
11.6	0,900	0,850	1,150	1,600	0,880	0,880	1,160	1,640
12.0	0,944	0,889	1,167	1,722	0,913	0,913	1,174	1,696

На основі опрацьованих результатів отримані поправочні коефіцієнти α_a для визначення нормальних напружень від зовнішнього навантаження в анізотропній ґрунтовій основі з урахуванням різної

деформованості ґрунту в вертикальному і горизонтальному напрямках.

Коефіцієнти α_a визначені в залежності від глибини ξ , яка дорівнює $2z/b$, з урахуванням розбиття стиснутої товщини основи на розрахункові шари не більше $0,4b$. Значення поправочних коефіцієнтів α_a для визначення вертикальних напружень отримані в результаті чисельного експерименту в програмі ANSYS шляхом співвідношення напруг при коефіцієнтах анізотропії $k_a=1$ і $k_a \neq 1$. Проміжні значення рекомендується визначати інтерполяцією.

Значення поправочних коефіцієнтів, рекомендованих для визначення напружень, наведені в таблицях 1 – 4.

Розрахунки деформацій анізотропної ґрунтової основи фундаменту (осідань) при середньому тиску під подошвою фундаменту p , що не перевищує розрахунковий опір ґрунту R , рекомендується виконувати з використанням розрахункової схеми у вигляді лінійно-деформованого півпростору з умовним обмеженням глибини стискуваної товщі ґрунту H_c . Нижню межу стискуваної товщі основи призначають виходячи з певного співвідношення між середніми значеннями вертикальних напружень від зовнішнього навантаження σ_p під центром подошви фундаменту і від власної ваги ґрунту σ_g . В якості межі стискуваної товщі H_c розглядається глибина z , де виконується умова рівності $\sigma_p = 0,5\sigma_g$ або для слабких ґрунтів (при $E \leq 7$ МПа) $\sigma_p = 0,2\sigma_g$.

Осідання основи фундаменту S , складеного анізотропними ґрунтами, з використанням розрахункової схеми лінійно-деформованого півпростору пропонується визначати методом пошарового підсумовування за формулою:

$$S = \beta \sum_{i=1}^n \frac{(\sigma_{pzi,i} - \sigma_{zgi,i}) h_i}{E_i} + \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zgi,i} h_i}{E_{e,i}}, (2)$$

де:

β – безрозмірний коефіцієнт, що дорівнює 0,8;

$\sigma_{pzi,i}$ – середнє значення вертикального нормального напруження від зовнішнього навантаження в i -тому шарі анізотропного ґрунту по вертикалі, що проходить через центр подошви фундаменту;

h_i – товщина i -го шару ґрунту, яка приймається не більше $0,4$ ширини подошви

фундаменту;

E_i – модуль деформації i -го шару ґрунту по гілці первинного завантаження;

$\sigma_{zgi,i}$ – середнє значення вертикальної напруги в

Таблиця 3. Поправочні коефіцієнти α_a для коригування вертикальних напружень в ґрунтовому підставі від зовнішнього навантаження, що враховують анізотропні властивості ґрунту

$\xi=2z/b$	Поправочний коефіцієнт α_a , при коефіцієнті анізотропії k_a , рівний							
	Для прямокутних фундаментів з соотношением сторон $\eta=l/b=2.4$				Для прямокутних фундаментів з соотношением сторон $\eta=l/b=3.2$			
	0.5	0.75	1.33	2	0.5	0.75	1.33	2
0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.4	0.955	0.964	0.978	0.987	0.961	0.969	1.002	1.006
0.8	0.933	0.952	0.985	1.009	0.942	0.958	1.005	1.011
1.2	0.922	0.950	1.009	1.055	0.933	0.956	1.008	1.051
1.6	0.897	0.936	1.018	1.085	0.917	0.944	1.014	1.073
2.0	0.885	0.933	1.036	1.123	0.908	0.942	1.023	1.098
2.4	0.864	0.921	1.043	1.150	0.891	0.931	1.029	1.119
2.8	0.842	0.903	1.046	1.175	0.869	0.916	1.029	1.133
3.2	0.830	0.898	1.058	1.204	0.857	0.909	1.036	1.155
3.6	0.816	0.888	1.060	1.232	0.846	0.898	1.039	1.172
4.0	0.804	0.874	1.065	1.252	0.831	0.887	1.040	1.190
4.4	0.795	0.865	1.065	1.270	0.821	0.876	1.037	1.202
4.8	0.789	0.857	1.068	1.292	0.813	0.870	1.042	1.224
5.2	0.787	0.851	1.071	1.305	0.812	0.865	1.047	1.241
5.6	0.790	0.847	1.073	1.323	0.803	0.855	1.039	1.250
6.0	0.791	0.845	1.073	1.345	0.809	0.855	1.044	1.272
6.4	0.788	0.838	1.071	1.354	0.811	0.852	1.049	1.295
6.8	0.807	0.841	1.080	1.375	0.818	0.845	1.055	1.309
7.2	0.800	0.838	1.075	1.375	0.820	0.850	1.060	1.330
7.6	0.819	0.847	1.081	1.403	0.824	0.846	1.066	1.352
8.0	0.818	0.848	1.076	1.409	0.821	0.845	1.060	1.357
8.4	0.833	0.850	1.083	1.433	0.831	0.844	1.065	1.377
8.8	0.836	0.855	1.091	1.455	0.845	0.845	1.070	1.394
9.2	0.843	0.863	1.098	1.471	0.862	0.862	1.077	1.431
9.6	0.851	0.851	1.106	1.489	0.867	0.867	1.100	1.450
10.0	0.884	0.884	1.116	1.535	0.875	0.857	1.089	1.464
10.4	0.875	0.875	1.125	1.550	0.885	0.865	1.096	1.500
10.8	0.892	0.892	1.135	1.595	0.878	0.857	1.102	1.510
11.2	0.886	0.886	1.143	1.571	0.889	0.867	1.133	1.556
11.6	0.879	0.879	1.121	1.606	0.905	0.881	1.143	1.571
12.0	0.903	0.871	1.129	1.613	0.900	0.875	1.125	1.575

Таблиця 4. Поправочні коефіцієнти α_a для коригування вертикальних напружень в ґрунтовому підставі від зовнішнього навантаження, що враховують анізотропні властивості ґрунту

$\xi=2z/b$	Поправочний коефіцієнт α_a , при коефіцієнті анізотропії k_a , рівний							
	Для прямоугольных фундаментов с соотношением сторон $\eta=l/b=5$				Для ленточных фундаментов			
	0.5	0.75	1.33	2	0.5	0.75	1.33	2
0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.4	0.962	0.969	1.001	1.004	0.962	0.969	1.002	1.006
0.8	0.944	0.958	1.003	1.010	0.947	0.959	1.004	1.010
1.2	0.939	0.958	1.005	1.046	0.942	0.959	1.005	1.046
1.6	0.930	0.948	1.009	1.064	0.933	0.950	1.008	1.064
2.0	0.927	0.947	1.017	1.084	0.935	0.951	1.016	1.080
2.4	0.917	0.938	1.017	1.094	0.931	0.945	1.015	1.088
2.8	0.900	0.924	1.010	1.095	0.919	0.933	1.007	1.086
3.2	0.894	0.919	1.011	1.106	0.914	0.928	1.005	1.088
3.6	0.884	0.909	1.009	1.113	0.905	0.920	1.000	1.089
4.0	0.870	0.898	1.004	1.116	0.895	0.908	0.990	1.085
4.4	0.863	0.886	1.004	1.125	0.886	0.896	0.982	1.082
4.8	0.852	0.878	1.004	1.135	0.876	0.888	0.977	1.081
5.2	0.846	0.870	1.000	1.144	0.866	0.879	0.971	1.079
5.6	0.841	0.862	1.000	1.153	0.857	0.865	0.960	1.072
6.0	0.832	0.855	0.994	1.162	0.846	0.856	0.952	1.077
6.4	0.835	0.848	1.000	1.177	0.837	0.842	0.944	1.071
6.8	0.834	0.841	1.000	1.186	0.822	0.832	0.935	1.065
7.2	0.835	0.842	1.000	1.203	0.811	0.817	0.926	1.069
7.6	0.837	0.837	1.000	1.220	0.807	0.807	0.922	1.066
8.0	0.841	0.841	1.018	1.248	0.791	0.797	0.911	1.063
8.4	0.838	0.838	1.010	1.257	0.787	0.787	0.907	1.073
8.8	0.837	0.837	1.010	1.276	0.776	0.783	0.902	1.077
9.2	0.846	0.835	1.022	1.297	0.766	0.774	0.898	1.073
9.6	0.847	0.835	1.024	1.318	0.758	0.758	0.886	1.076
10.0	0.848	0.835	1.038	1.342	0.754	0.746	0.889	1.079
10.4	0.851	0.838	1.041	1.365	0.738	0.738	0.877	1.082
10.8	0.870	0.841	1.058	1.406	0.735	0.726	0.872	1.085
11.2	0.862	0.831	1.062	1.415	0.726	0.717	0.867	1.088
11.6	0.869	0.836	1.066	1.443	0.716	0.706	0.862	1.092
12.0	0.862	0.828	1.069	1.466	0.698	0.689	0.849	1.094

i-тому шарі ґрунту по вертикалі, що проходить через центр підшови фундаменту, від власної ваги обраного при відриві котловану фундаменту;

E_{ei} - модуль деформації i-го шару ґрунту по гілці вторинного завантаження.

враховує деформаційну анізотропію ґрунтової основи, наведений в таблицях 1 – 4;

p - середній тиск під підшоною фундаменту.

Вертикальне напруження від власної ваги ґрунту на позначці підшови фундаменту, на глибині z від

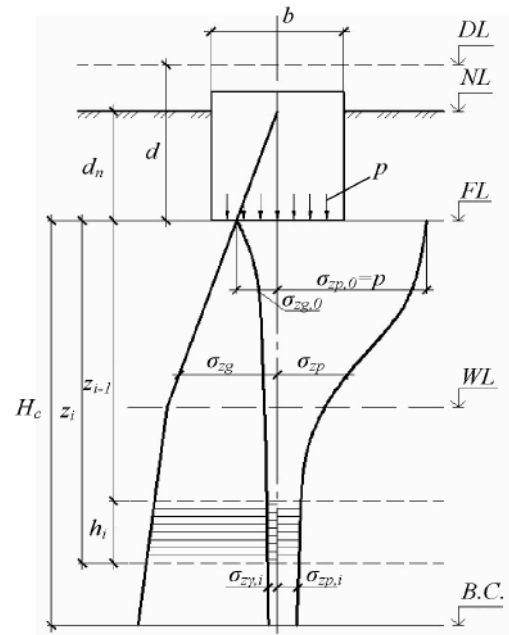


Рис 2. Розподіл вертикальних напружень в лінійно-деформованому півпросторі: DL - відмітка планування; NL - відмітка поверхні природного рельєфу; FL - відмітка підшови фундаменту; WL - рівень підземних вод; B.C. - нижня межа стисливої товщі; d і d_n - глибина закладення фундаменту відповідно від рівня планування і поверхні природного рельєфу; b - ширина фундаменту; p - середній тиск під підшоною фундаменту; σ_{zp} і $\sigma_{zp,0}$ - вертикальне напруження від зовнішнього навантаження на глибині z від підшови фундаменту і на рівні підшови; σ_{zg} і $\sigma_{zg,0}$ - вертикальне напруження від власної ваги ґрунту на глибині z від підшови фундаменту і на рівні підшови; $\sigma_{zp,i}$ - вертикальне напруження від власної ваги виїнятого в котловані ґрунту в середині i-го шару на глибині z від підшови фундаменту; H_c - глибина стисливої товщі.

При цьому розподіл вертикальних напружень по глибині основи приймають у відповідності зі схемою (рис.2).

Вертикальні напруження від зовнішнього навантаження $\sigma_{zpa,i}$ залежать від розмірів, форми і глибини закладення фундаменту, розподілу тиску на ґрунт по його підшові і анізотропним властивостям ґрунтів основи. Для прямокутних, круглих та стрічкових фундаментів значення $\sigma_{zpa,i}$ на глибині z від підшови фундаменту по вертикалі, що проходить через центр підшови, визначається за формулою:

$$\sigma_{zpa,i} = \alpha \times \alpha_a \times p, \tag{3}$$

де:

α - коефіцієнт, що приймається за таблицею 5.8 СП 22.13330.2011;

α_a - поправочний коефіцієнт, що

Таблиця 5. Значення осад квадратного і стрічкового фундаментів з урахуванням деформаційної анізотропії ґрунтової основи

Тип фундаменту	Осадка S , см (глибина сжимаемой товщі H_c , м) при ступені анізотропії k_a рівній		
	$k_a = 0,5$	$k_a = 1$	$k_a = 2$
квадратний	3,86 (4,00)	4,58 (4,40)	5,47 (5,10)
лінійний	6,7 (6,60)	7,48 (7,20)	8,05 (7,50)

підшви прямокутних, круглих і стрічкових фундаментів визначається за формулою:

$$\sigma_{zy,i} = \alpha \times \sigma_{zg,0}, \quad (4)$$

де:

α – те саме, що у формулі 3;

$\sigma_{zg,0}$ – вертикальне напруження від власної ваги ґрунту на позначці підшви фундаменту.

Дана методика застосовувалася при розрахунку осідання стовпчастих фундаментів з розмірами в плані $b \times l = 3 \times 3$ м і стрічкових з шириною підшви $b = 3$ м. Середній тиск під підшвою фундаменту $p = 303$ кПа. При цьому розглянуті однорідні ґрунтові умови з заляганням в основі супісї пилуватої твердої з вертикальним модулем деформації $E_z = 11,5$ МПа і заданим ступенем деформаційної анізотропії $k_a = 0,5; 1$ і 2 (горизонтальний модуль деформації відповідно дорівнює $E_x = 23$ МПа, $11,5$ МПа і $5,75$ МПа. Товщина розрахункових шарів прийнята $h_i = 0,4b = 1,2$ м.

В результаті розрахунків отримані значення деформацій ізотропних і анізотропних ґрунтових основ (табл. 5).

Нижче наведена схема розподілу напружень від зовнішнього додаткового навантаження для стовпчастого фундаменту з заляганням в основі ізотропного і анізотропного ґрунтів з коефіцієнтом деформаційної анізотропії $k_a = 0,5$ і $k_a = 2$ (рис.3).

Аналіз отриманих даних свідчить про значний вплив анізотропних властивостей ґрунтової основи на результати розрахунку деформацій ґрунтової основи. Для стовпчастих фундаментів деформаційна анізотропія може впливати до 19% на значення осідання фундаментів у

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Нуждін, Л.В. Практичний метод розрахунку осідання фундаментів з урахуванням анізотропії ґрунтової підстави [Текст] / Л.В. Нуждін, О.А. Коробова, М.Л. Нуждін // Фундаменти глибокого закладання і проблеми освоєння підземного простору: зб. тр. Всерос. конф. з міжнар. уч. Ч.4. – Перм: ПНДПУ, 2014. – с. 154 – 162.
2. Амбарцумян, С.А. Різномодульна теорія пружності – М.: Наука. Головна редакція фізико-математичної літератури, 1982. – 320 с.
3. Nuzhdin, L.V. Analysis of stress-strain state of anisotropic soil basement [Text] / L.V. Nuzhdin, K.V. Pavlyuk // Proceeding of the 8th Asian young geotechnical engineers conference. – Astana, 2016 – 277 P. – 312.
4. Nuzhdin, L. Evaluation of deformation properties of soils using a wedge dilatometer and improvement of forecast accuracy of buildings settlement [Text] / L. Nuzhdin, M. Nuzhdin, X. Kozminykh, et al. // Challenges and innovations in Geotechnics: Proc. of ATC7 Workshop, 18ICSMGE. – Paris: Presses des Ponts, 2013. – P.68-75.
5. Нуждін, Л.В. Підвищення точності прогнозування осідань фундаментів на основі польових досліджень деформованості ґрунтів розклинювальним дилатометром [Текст] / Л.В. Нуждін, М.Л. Нуждін, К.В. Козьмініх // Збірник наукових праць: серія – галузеве машинобудування, будівництво. Вип.3 (38). Т. 2. – Полтава: ПолтНТУ, 2013. – С.258-273.
6. Нуждін Л.В. Методика польових досліджень деформованості ґрунтів розклинюючим дилатометром і розрахунку осідань фундаменту по СП 22.13330.2011 [Текст] / Л.В. Нуждін, М.Л. Нуждін, К.В. Козьмініх // Сучасні геотехнології в будівництві та їх науково-технічний супровід: Збірник праць міжнародної науково-технічної конференції. Ч.2. – СПб.: СПбДАБУ, 2014. – С.122-130.
7. Nuzhdin, L. The calculation of foundation sediments on the result of field soil test by WD-100 relaxation method [Text] / L. Nuzhdin, M. Nuzhdin, X. Kozminykh // Geo-Environmental issues and sustainable urban development. – Allahabad, 2014.
8. Nujdin, L. Pazdan parçalan dilatometrlə çöl şəraitində qruntların tədqiqat üsulu və bünovrələrin çökməsinin hesablanması [Text] / L. Nujdin, M. Nujdin, X. Kozminih // İnşaat və Memarlıqda elmi-texniki tərəqqi: Beynəlxalq elmi-texniki konfransin materialları. – Bakı: Şarq-Qərb, 2014. – P.182-188.

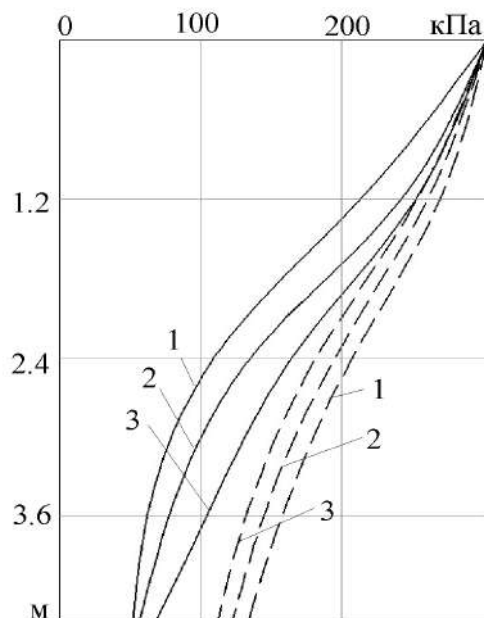


Рис 3. Розподіл додаткових напружень ($\sigma_{zp, a}$) під підшвою квадратного (3×3 м, суцільна лінія) і стрічкового (3×30 м, пунктирна лінія) фундаментів в анізотропних ґрунтах: 1 – $k_a = 0,50$; 2 – $k_a = 1,00$; 3 – $k_a = 2,00$.

порівнянні з ізотропним середовищем, для стрічкових фундаментів – до 11,6%. Поряд з чисельними розрахунками були виконані натурні спостереження за осадками фундаментів, які свідчать про досить гарні збіжності отриманих результатів з реальними деформаціями ґрунтової основи.

ВИСНОВКИ:

Отримані результати досліджень показують, що врахування анізотропних властивостей ґрунтів значно впливає на напружено-деформований стан ґрунтової основи і дозволяє найбільш обґрунтовано підходити до прогнозування осідання фундаментів. При коефіцієнті деформаційної анізотропії $k_a < 1$ спостерігається зменшення осідання фундаментів, а при $k_a > 1$ значення деформацій ґрунтової основи зростають.