



Королев Константин Валерьевич после окончания СГУПС в 2000 г. поступил в аспирантуру при кафедре «Геология, основания и фундаменты». В 2003 г. защитил кандидатскую диссертацию. Работает доцентом кафедры. Возглавлял научно-исследовательскую работу студентов факультета «Мосты и тоннели». Сфера научных интересов — теория предельного равновесия, конечноэлементный анализ НДС грунтовых оснований с учетом реологических свойств грунтов. Опубликовал около 40 научных работ.

УДК 624.131

К.В. КОРОЛЕВ

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОСНОВАНИЙ БЛИЗЛЕЖАЩИХ ЛЕНТОЧНЫХ ФУНДАМЕНТОВ МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ

В статье изложена методика определения расчетного сопротивления и несущей способности оснований близкорасположенных фундаментов мелкого заложения с учетом их взаимовлияния. Методика базируется на строгих решениях теории линейно деформируемой среды и статическом методе теории предельного равновесия грунтов.

Одно из направлений совершенствования расчетов грунтовых оснований заключается в разработке способов учета взаимовлияния фундаментов. В основании близко расположенных сооружений или в пределах одного и того же сооружения зоны напряженного состояния, возникающие при работе отдельных фундаментов, накладываются друг на друга, формируя единое поле напряженно-деформированного состояния. Совместная работа близлежащих фундаментов с основанием имеет ряд особенностей, учет которых может быть полезен для получения обоснованной оценки деформаций и несущей способности оснований.

В данной статье дается усовершенствованная методика определения расчетного сопротивления грунта основания и его несущей способности для случая, когда взаимовлияние фундаментов существенно сказывается на напряженном состоянии основания. Основные положения методики основаны на результатах экспериментально-теоретических исследований, проведенных на кафедре «Геология, основания и фундаменты» СГУПС в последние годы [1, 2]. Настоящие рекомендации по расчету указанных величин предлагается использовать при проектировании оснований близлежащих ленточных фундаментов мелкого заложения промышленных и гражданских зданий и сооружений.

Экономическая эффективность предлагаемых методик определения расчетного сопротивления грунта основания и его несущей способности заключается в том, что указанные величины могут быть повышены, и в некоторых случаях существенно, в зависимости от близости расположения фундаментов. Для практических расчетов приводятся формулы, таблицы и графики, с помощью которых определяются расчетное сопротивление грунта и несущая способность основания для случая двух ленточных фундаментов одинаковой ширины. При этом фундаменты:

— сооружаются одновременно, т.е. нагрузка на оба фундамента передается одинаково;

— не имеют взаимного поворота подошв, т.е. погружаются строго вертикально;
 — связаны между собой, например, надфундаментными конструкциями, т.е. взаимное горизонтальное смещение не допускается.

Определение расчетного сопротивления грунта

За расчетное сопротивление грунта основания двух близлежащих ленточных фундаментов одинаковой ширины принимается такое среднее давление под подошвой фундамента, при котором зоны разрушения грунта в основании, определенные по теории линейно деформируемой среды, достигают глубины $b/4$ с внутренней стороны или $(2b + a)/4$ с внешней стороны фундаментов (b — ширина подошвы фундамента, a — расстояние между фундаментами). На рис. 1 показано развитие областей разрушения грунта в основании при действии на него расчетного сопротивления. Расчетное сопротивление грунта основания для двух ленточных фундаментов определяется в зависимости от относительной величины $\eta_1 = a/b$, характеризующей близость расположения фундаментов. При $\eta_1 > 2$ расчетное сопротивление определяется без учета взаимовлияния как для одиночного фундамента по формуле (7) СНиП 2.02.01–83*.

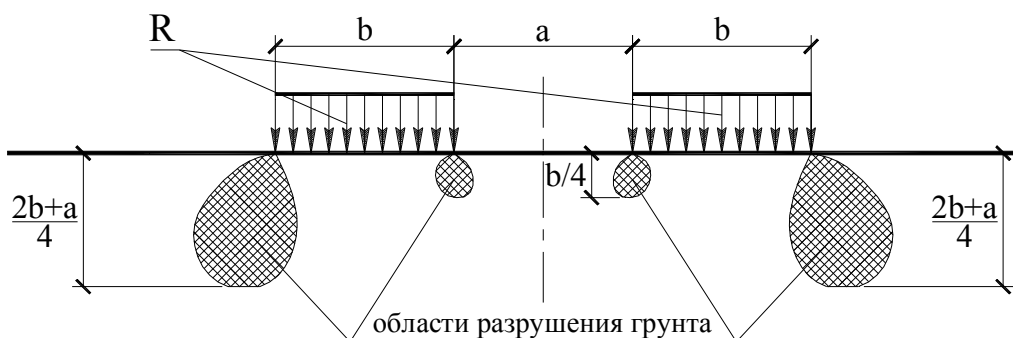


Рис. 1. Области разрушения в основании двух ленточных фундаментов, соответствующие расчетному сопротивлению грунта

Расчетное сопротивление грунта основания с учетом взаимовлияния двух ленточных фундаментов определяется по формуле

$$R = \frac{\gamma_{c1}\gamma_{c2}}{k} [M_{\gamma}k_zk_1b\gamma_{II} + M_qd_1\gamma'_{II} + (M_q - 1)d_b\gamma'_{II} + M_c c_{II}], \quad (1)$$

где γ_{c1} , γ_{c2} — коэффициенты условий работы, принимаемые по табл. 3 СНиП 2.02.01-83* [3]; $k = 1$, если прочностные характеристики грунта определены непосредственно в испытаниях, $k = 1,1$ если они приняты по таблицам; d_1 — глубина заложения фундаментов от уровня планировки для безподвальных сооружений или приведенная глубина заложения от уровня пола подвала при его наличии; d_b — глубина подвала от уровня планировки, $d_b = 2$ м, если ширина подвала более 2,0 м; γ_{II} — расчетное значение удельного веса грунта несущего слоя основания; γ'_{II} — расчетное значение осредненного удельного веса грунтов, залегающих выше подошвы фундаментов; c_{II} — расчетное значение удельного сцепления грунта несущего слоя.

Коэффициенты M_{γ} , M_q , M_c , в отличие от их значений для одиночного фундамента [3], определяются по формулам

$$M_\gamma = \frac{\pi \sin \varphi_{II}}{4M}; \quad M_q = 1 + \frac{\pi \sin \varphi_{II}}{M}; \quad M_c = \frac{\pi \cos \varphi_{II}}{M}, \quad (2)$$

где φ_{II} — расчетное значение угла внутреннего трения грунта несущего слоя.

Расчетное сопротивление вычисляется по формуле (1) для двух случаев:

$$1) k_1 = 1, \quad M = M_1;$$

$$2) k_1 = 2 + \eta_1, \quad M = M_2.$$

Коэффициенты M_1 и M_2 принимаются по табл. 1 в зависимости от значений параметра η_1 и угла внутреннего трения грунта φ_{II} . В качестве расчетного сопротивления принимается меньшее из двух полученных значений R . Расчетные значения характеристик грунта — γ_{II} , γ'_{II} , c_{II} , φ_{II} определяются при доверительной вероятности 0,85.

Таблица 1

Коэффициенты M_1 и M_2 для определения расчетного сопротивления

η_1	$\varphi = 5^\circ$		$\varphi = 10^\circ$		$\varphi = 15^\circ$		$\varphi = 20^\circ$		$\varphi = 25^\circ$		$\varphi = 30^\circ$		$\varphi = 35^\circ$		$\varphi = 40^\circ$	
	M_1	M_2	M_1	M_2	M_1	M_2	M_1	M_2	M_1	M_2	M_1	M_2	M_1	M_2	M_1	M_2
0,2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,880	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,782
0,4	0,397	0,252	0,252	0,118	0,118	0,252	0,617	0,850	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,489	0,756
0,6	0,546	0,421	0,421	0,306	0,306	0,421	0,740	0,825	0,113	0,034	0,034	0,000	0,000	0,034	0,627	0,734
0,8	0,617	0,497	0,497	0,388	0,388	0,497	0,802	0,802	0,203	0,129	0,129	0,065	0,065	0,129	0,694	0,715
1,0	0,655	0,537	0,537	0,430	0,430	0,537	0,837	0,781	0,249	0,175	0,175	0,112	0,112	0,175	0,731	0,697
1,2	0,678	0,561	0,561	0,455	0,455	0,561	0,858	0,760	0,275	0,201	0,201	0,139	0,139	0,201	0,753	0,679
1,4	0,693	0,577	0,577	0,471	0,471	0,577	0,872	0,740	0,291	0,218	0,218	0,156	0,156	0,218	0,767	0,663
1,6	0,703	0,587	0,587	0,482	0,482	0,587	0,881	0,721	0,303	0,229	0,229	0,167	0,167	0,229	0,777	0,646
1,8	0,711	0,595	0,595	0,489	0,489	0,595	0,888	0,702	0,310	0,237	0,237	0,175	0,175	0,237	0,785	0,630
2,0	0,716	0,600	0,600	0,495	0,495	0,600	0,894	0,683	0,316	0,243	0,243	0,180	0,180	0,243	0,790	0,614

Определение несущей способности основания

Оценка несущей способности основания двух близкорасположенных ленточных фундаментов одинаковой ширины производится по величине вертикальной составляющей p_u предельного давления. Предельное давление определяется статическим методом теории предельного равновесия грунтов. На рис. 2 показано очертание области предельного напряженного состояния грунта в основании двух фундаментов при действии на них предельного давления.

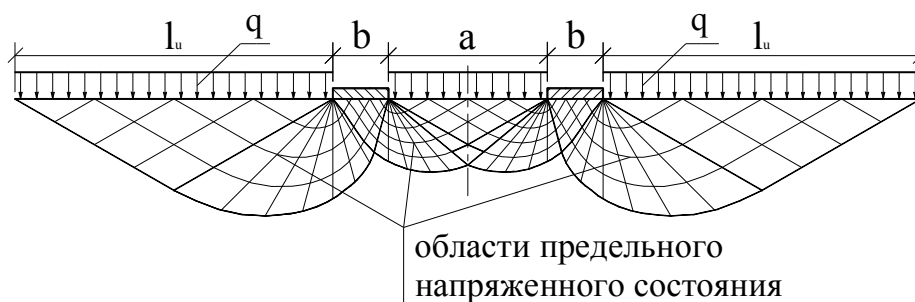


Рис. 2. Области предельного напряженного состояния в основании двух ленточных фундаментов (q — боковая пригрузка)

Предельное давление на основание p_u двух ленточных фундаментов определяется в зависимости от относительной величины, характеризующей близость их расположения (b — ширина подошвы фундамента, a — расстояние между фундаментами):

$$\eta_2 = \frac{a}{bl_u}. \quad (3)$$

Значение относительной ширины призмы выпирания одиночного штампа l_u принимается по табл. 2 в зависимости от угла внутреннего трения грунта φ_1 и относительной величины приведенной пригрузки q' , определяемой по формуле

$$q' = \frac{\gamma'_1 d_1 + c_1 \operatorname{ctg} \varphi_1}{\gamma_1 b}, \quad (4)$$

где γ_1, γ'_1 — расчетные значения удельного веса грунтов несущего слоя и залегающих выше подошвы фундаментов; c_1, φ_1 — расчетные значения характеристик прочности грунта несущего слоя — удельного сцепления и угла внутреннего трения; d_1 — глубина заложения фундаментов от уровня планировки.

При $\eta_2 > 1$ предельное давление p_u определяется без учета взаимовлияния как для одиночного фундамента по формуле (16) СНиП 2.02.01–83* [3].

Таблица 2

Относительная ширина призмы выпирания l_u

$\varphi = 5^\circ$		$\varphi = 10^\circ$		$\varphi = 15^\circ$		$\varphi = 20^\circ$		$\varphi = 25^\circ$		$\varphi = 30^\circ$		$\varphi = 35^\circ$		$\varphi = 40^\circ$	
q'	l_u	q'	l_u	q'	l_u	q'	l_u	q'	l_u	q'	l_u	q'	l_u	q'	l_u
—	—	—	—	—	—	—	—	0,2	1,762	0,2	2,390	0,2	3,272	0,2	4,562
0,5	—	0,5	—	0,5	1,182	0,5	1,562	0,5	2,058	0,5	2,732	0,5	3,678	0,5	5,062
1	0,810	1	1,058	1	1,376	1	1,782	1	2,318	1	3,044	1	4,066	1	5,554
2	0,950	2	1,218	2	1,558	2	1,998	2	2,580	2	3,372	2	4,484	2	6,114
3	1,020	3	1,298	3	1,654	3	2,112	3	2,722	3	3,556	3	4,722	3	6,448
5	1,092	5	1,384	5	1,754	5	2,236	5	2,878	5	3,760	5	5,004	5	6,836
10	1,162	10	1,464	10	1,852	10	2,360	10	3,040	10	3,972	10	5,308	10	7,282
15	1,190	15	1,498	15	1,892	15	2,412	15	3,104	15	4,066	15	5,438	15	7,480

Предельное давление на основание p_u с учетом взаимовлияния двух ленточных фундаментов (см. рис. 2) определяется по формуле

$$p_u = (1 + k_2)(\gamma_1 b N_\gamma + \gamma'_1 d_1 N_q + c_1 N_c) + k_2 c \operatorname{ctg} \varphi, \quad (5)$$

где N_γ, N_q, N_c — коэффициенты несущей способности, принимаемые по табл. 3.

Таблица 3

Значения коэффициентов N_γ, N_q, N_c

φ	N_γ	N_q	N_c
5°	0,2	1,57	6,49
10°	0,6	2,47	8,34
15°	1,35	3,94	10,98
20°	2,88	6,40	14,84
25°	5,87	10,66	20,72
30°	12,39	18,40	30,14
35°	27,50	33,30	46,12
40°	66,01	64,19	75,31

Коэффициент k_2 определяется по номограммам (рис. 3–6) в зависимости от угла внутреннего трения грунта φ_1 , параметра η_2 и относительной приведенной пригрузки q' (расчетные значения характеристик грунта — $\gamma_1, \gamma'_1, c_1, \varphi_1$ определяются при доверительной вероятности 0,95).

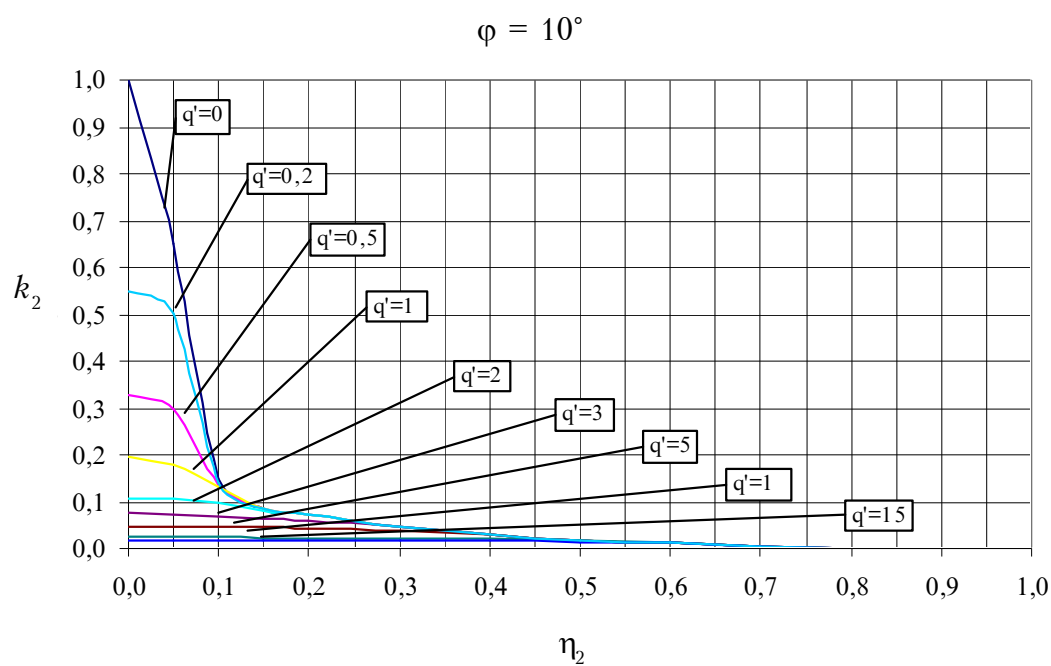
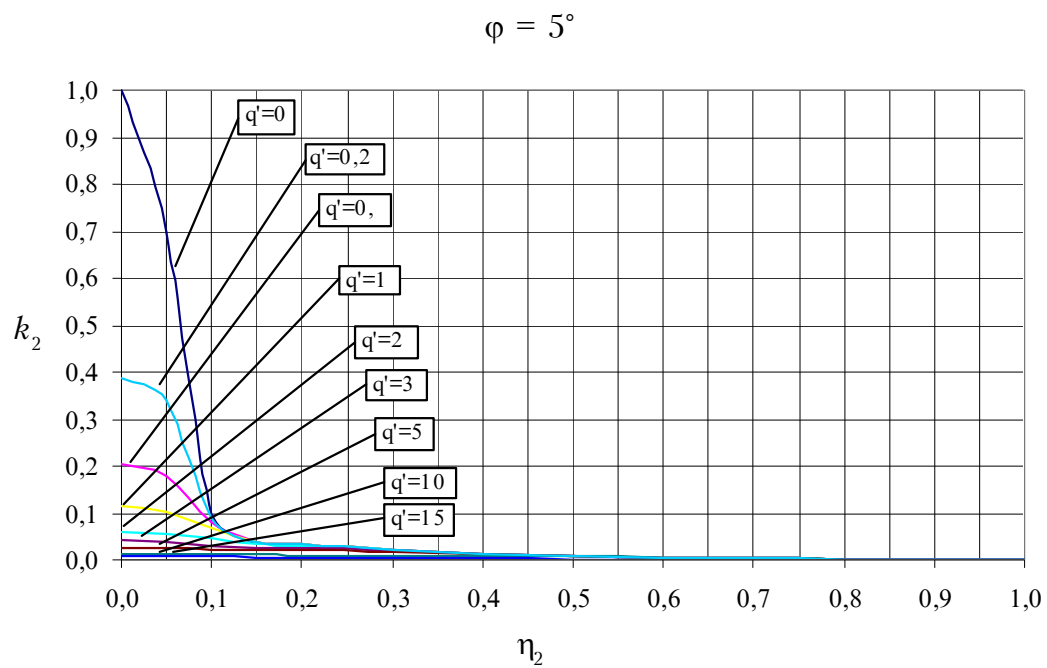
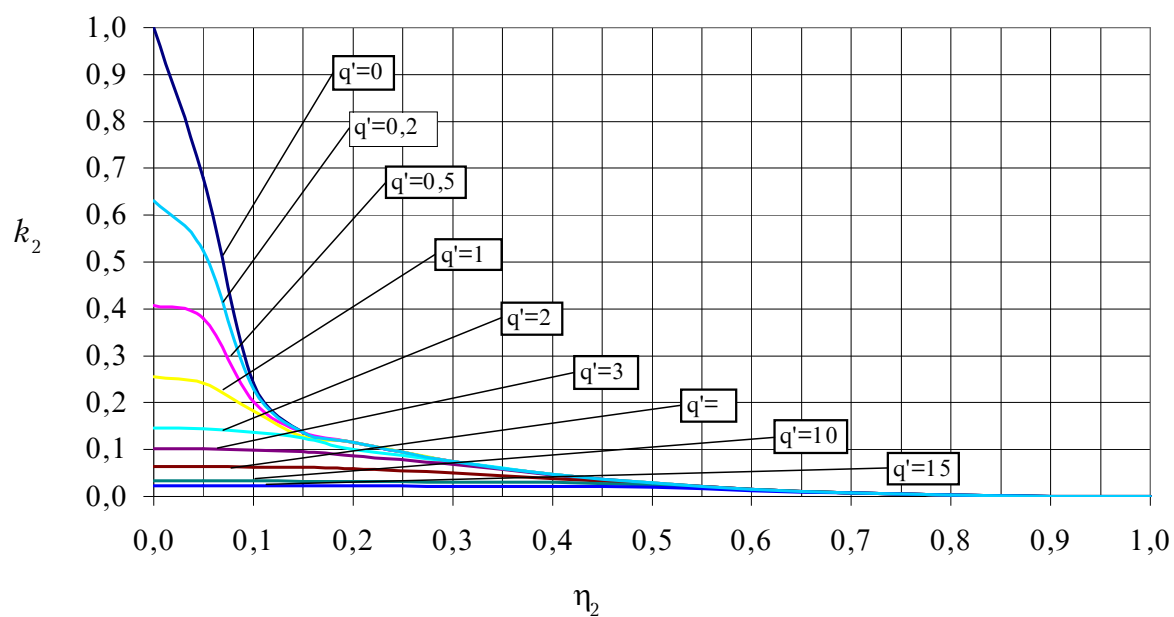
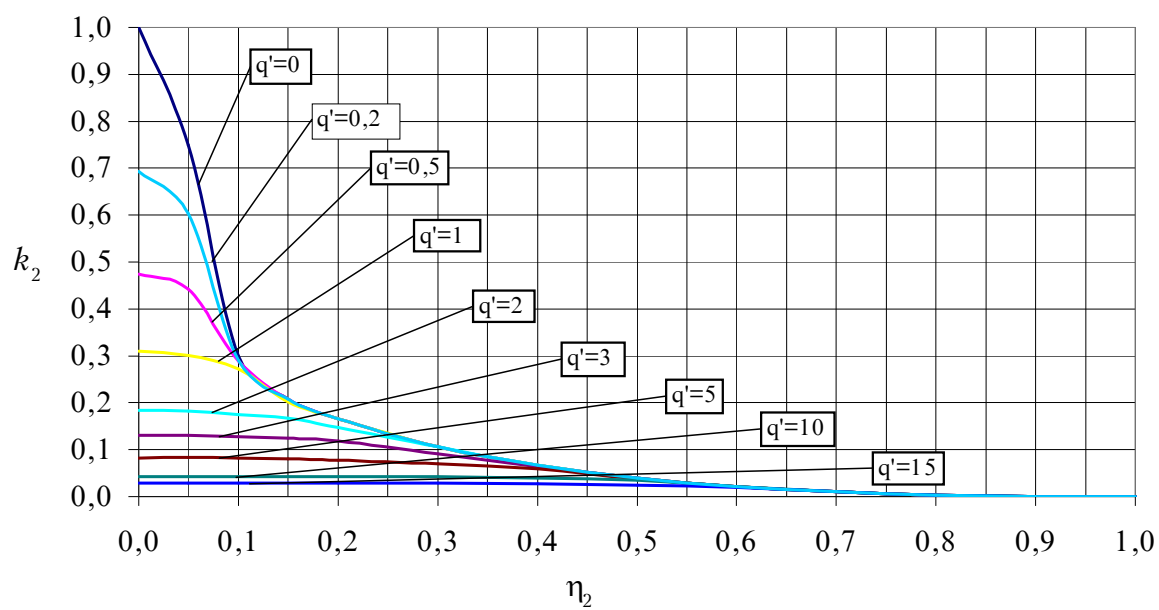


Рис. 3. Номограммы для определения k_2 ($\varphi = 5^\circ, 10^\circ$)

$\varphi = 15^\circ$  $\varphi = 20^\circ$ Рис. 4. Номограммы для определения k_2 ($\varphi = 15^\circ, 20^\circ$)

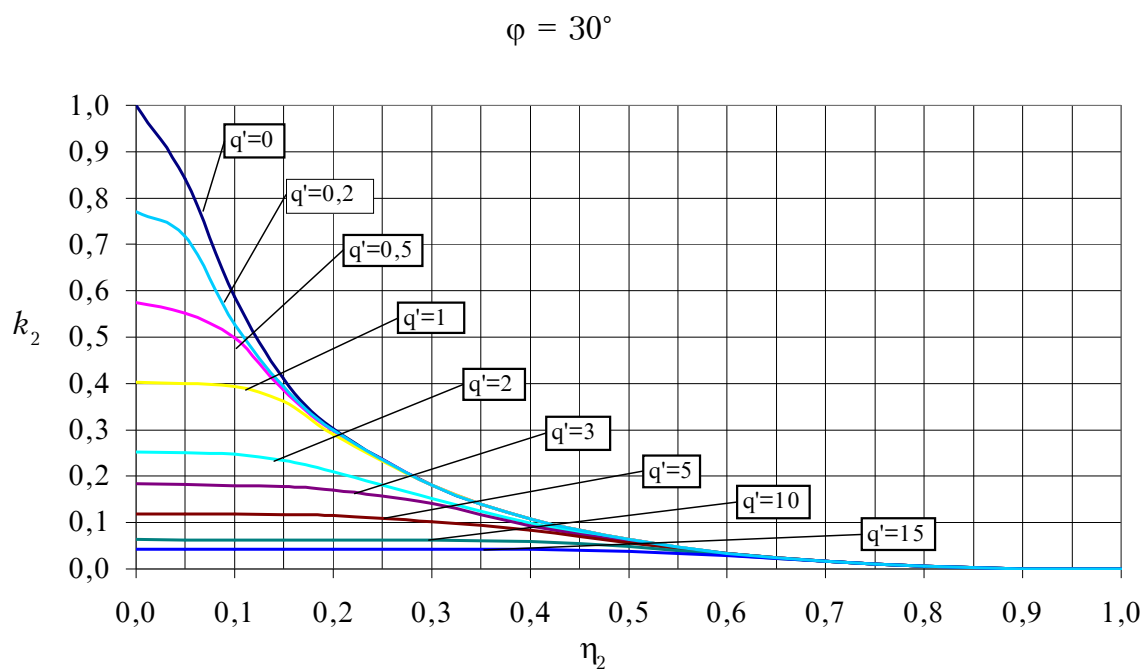
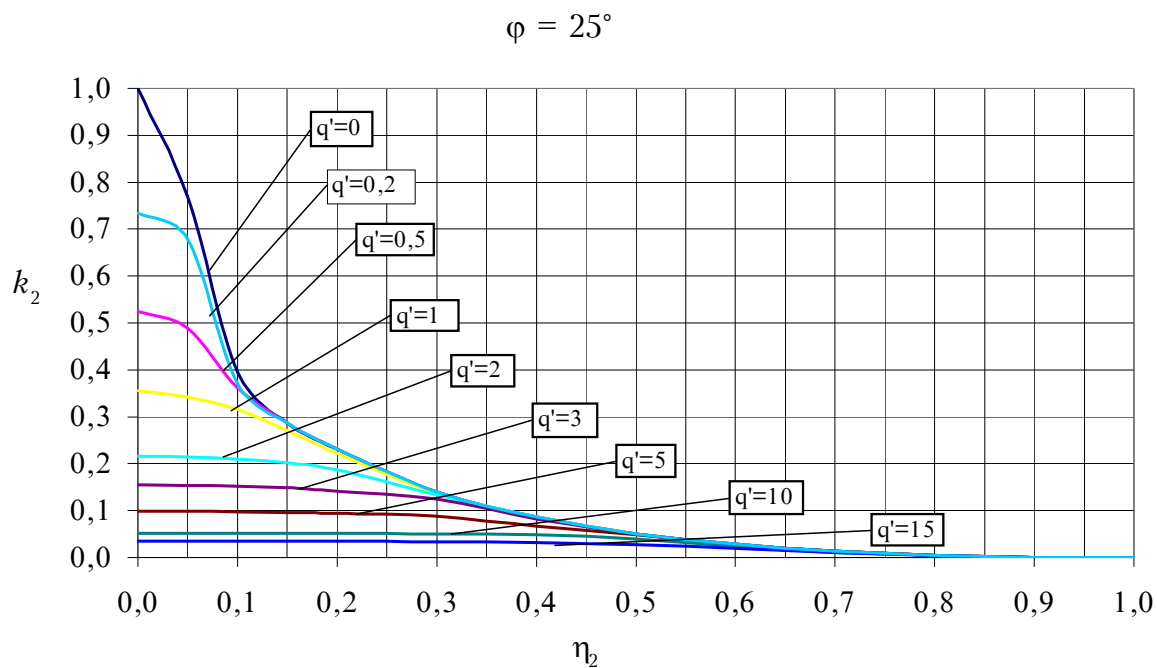


Рис. 5. Номограммы для определения k_2 ($\varphi = 25^\circ, 30^\circ$)

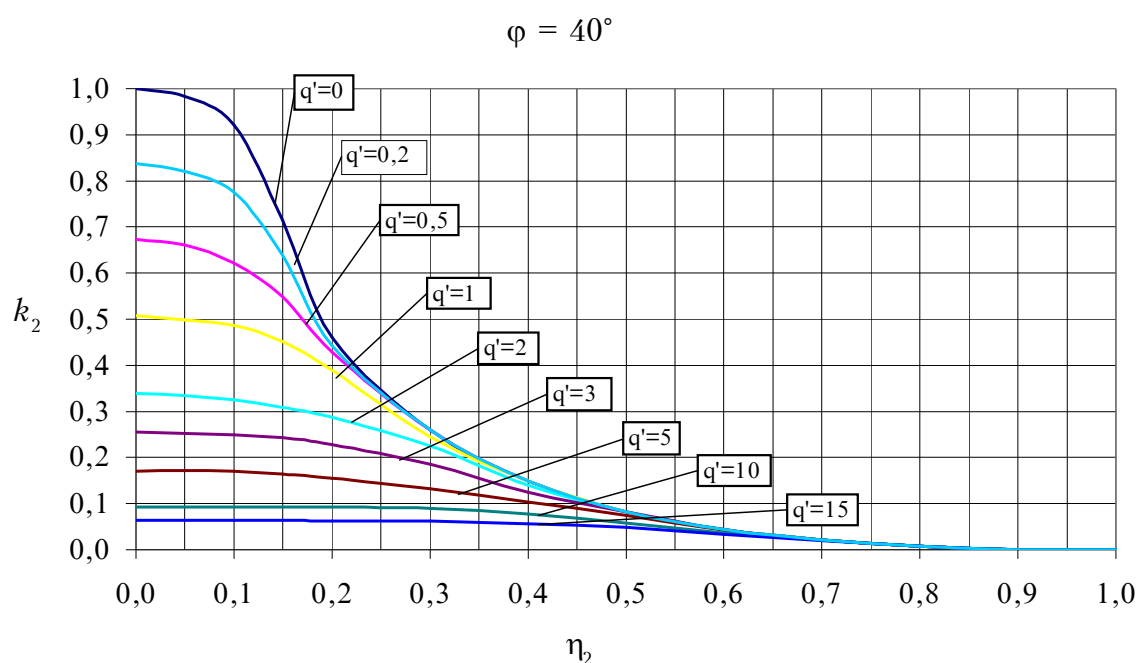
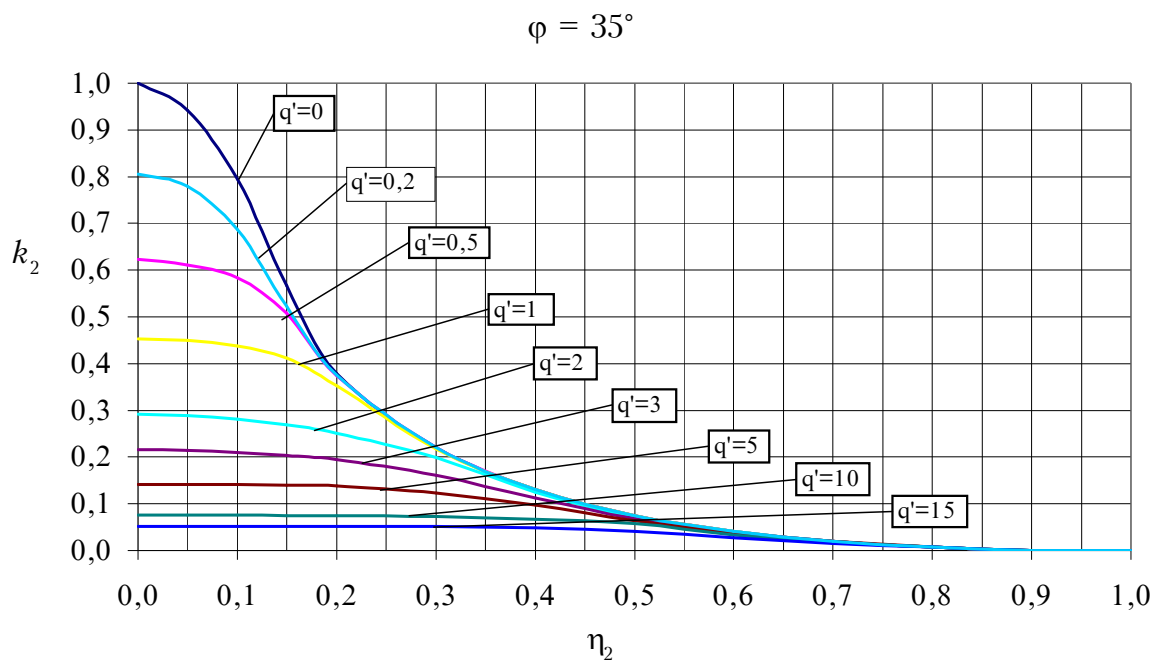


Рис. 6. Номограммы для определения k_2 ($\varphi = 35^\circ, 40^\circ$)

Литература

1. Королев К.В. Предельное давление близлежащих фундаментов на грунтовое основание // Современные проблемы фундаментостроения: Сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф. В 4 ч. Ч. 3, 4 / ВолгГАСА. Волгоград, 2001. С. 49–50.
2. Королев К.В. К оптимальному проектированию составных фундаментов // Диагностика в строительстве: Сб. науч. тр. Вып. 18. Днепропетровск: ПГАСиА, 2002. С. 99–102.
3. СНиП 2.02.01–83*. Основания зданий и сооружений. М.: Стройиздат, 2004. 50 с.