

УДК 624.15.078.32.001.5

В. П. Дыба, Г. М. Скибин

**РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ПРЕДЕЛЬНОГО АНАЛИЗА
ДЛЯ ОЦЕНКИ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ
СИСТЕМЫ «ФУНДАМЕНТ — ГРУНТОВОЕ ОСНОВАНИЕ»**

Обобщаются результаты исследований, направленных на разработку моделей функционирования инженерной инфраструктуры современного города на примере города Новочеркасска с применением методов моделирования больших систем.

К л ю ч е в ы е с л о в а: фундамент, грунтовое основание, надежность.

The authors summarize the results of the researches focused on the development of models of functioning of engineering infrastructure of a modern city on the example of the city of Novocherkassk with the use of methods of modeling of big systems.

К e y w o r d s: foundation, ground base, durability.

Надежность строительного объекта — это свойство объекта сохранять свои эксплуатационные качества и параметры функционирования в определенных пределах, соответствующих требованиям СНиП.

Применительно к основаниям и фундаментам критериями надежности являются критерий надежности по устойчивости (прочности) основания и критерий надежности по деформациям основания. Основным критерием надежности оснований является его несущая способность.

Теоретически предельная (критическая) нагрузка может быть определена численными методами, в частности методом конечных элементов, с помощью которых можно реализовать современные модели грунтовой среды. Однако оценка точности полученного численного решения является серьезной проблемой, следовательно, актуальным является контроль результатов. Для этого впервые в работах [1, 2] предлагается «разработать методики для получения достаточно простых аналитических верхних и нижних оценок несущей способности основания». Иначе говоря, определяется «коридор», в который должно вписываться оцениваемое численное решение. Заметим, чем точнее оценки, тем уже этот «коридор».

Теоретической основой получения оценок несущей способности являются экстремальные свойства предельных состояний текучести, описываемые двумя теоремами А. А. Гвоздева. Вывод теорем основан на утверждении о том, что для истинного предельного напряженного состояния мощность диссипации в каждой точке не меньше, чем для любого допустимого состояния σ_{ij}^* , т. е. такого, что в каждой точке тела $F(\sigma_{ij}^*) \leq 0$, где F — функция текучести. При этом сама функция F может быть в общем случае различной для различных точек тела (единственное требование — не вогнутость). Это позволяет отнести теоремы к обобщенному «телу», представляющему собой фундамент на грунтовом основании.

Теоремы о определении оценок несущей способности (нижней N^* и верхней N^*) сформулированы в [2] для системы «основание — фундамент» следующим образом.

Если в грунтовом основании и фундаменте построено поле напряжений, удовлетворяющее уравнениям равновесия (в общем, не удовлетворяющее каким-либо условиям совместности), причем функции текучести и для грунта, и для фундамента не положительны, то нагрузка на фундамент N_* , соответствующая построенным полям напряжений, не будет превышать несущей способности, т. е. $N_* \leq N$.

Пусть $v_i, \dot{\varepsilon}_{ij}$ — произвольное кинематически допустимое поле скоростей и скоростей деформаций. По заданным скоростям деформаций $\dot{\varepsilon}_{ij}$ напряжения σ_{ij} определяются либо единственным образом, если поверхность текучести строго выпукла, либо с известной степенью произвола. Если на систему «фундамент — основание» действуют внешние силы N, q, γ , справедливо неравенство

$$N \leq N^* = \frac{1}{v^0} \left(\int_V \sigma_{ij} \dot{\varepsilon}_{ij} dV - \int_V \gamma v_1 dV - \int_{S_q} q v_1 dS \right),$$

где V — область, занимаемая телом фундамента и грунтовым основанием; v^0 — скорость точки приложения силы N ; поверхность S_q , к которой приложена пригрузка q . Для жесткого невесомого штампа область V совпадает с грунтовым основанием.

Применение первой теоремы, т. е. статического метода оценки несущей способности, дает нижнюю оценку несущей способности, а применение второй теоремы, т. е. кинематического метода, дает верхнюю оценку. Если верхняя и нижняя оценки совпадают, то это означает, что найдено точное значение несущей способности.

Согласно первой теореме Гвоздева, величина предельной нагрузки, определяемая по решению [3], является нижней оценкой несущей способности основания, поскольку построенные поля напряжений в областях I, II, III и IV (рис. 1) являются статически допустимыми и существует статически допустимое продолжение полей на остальную часть основания.

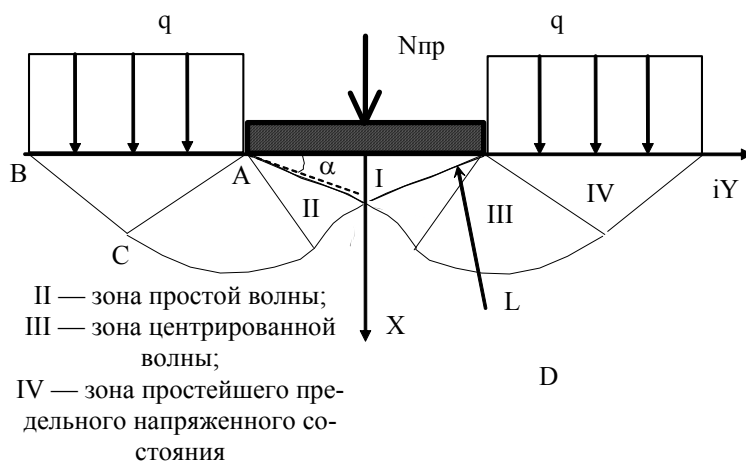


Рис. 1. Расчетная схема к определению нижней оценки несущей способности

Поскольку, согласно указанного решения, предельная нагрузка N_* зависит от многих параметров: ширины фундамента $2b$, пригрузки q , сцепления c_1 , угла внутреннего трения φ_1 , коэффициента Пуассона ν , в [4] указан способ определения предельной нагрузки, являющейся нижней оценкой несущей способности в привычном для инженерных расчетов виде $N_* = N_u = 4b^2 N_\gamma \gamma_1 + 2b(N_q q + N_c c_1)$, а также метод нахождения безразмерных коэффициентов N'_q и N'_c .

В работе [5] предложено кинематически допустимое поле скоростей в грунтовом основании, разбитом на мягкие блоки типа B , C , и D , и теле фундамента (рис. 2), а также аналитическое решение нахождения верхней оценки несущей способности в виде

$$N^* = \frac{1}{v^0} (M_B + \sum M_C + \sum M_D - \sum M_\gamma - \sum M_q), \quad (1)$$

где M_γ — мощность, затрачиваемая на преодоление внешних гравитационных сил в блоке; M_q — мощность внешних сил пригрузки.

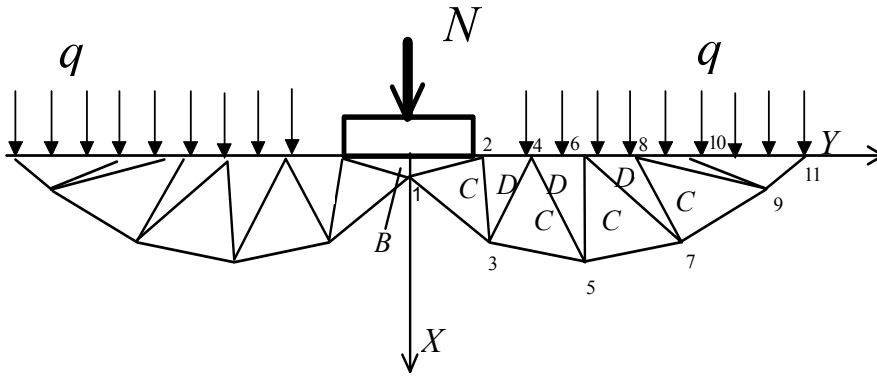


Рис. 2. Схема области пластического течения основания под жестким штампом

Рассмотренная методика позволила определить верхнюю оценку несущей способности системы «гибкий железобетонный фундамент — грунтовое основание», в этом случае блок B располагаем под жесткой частью (рис. 3) и к полученной суммарной мощности (1) прибавляем мощность пластического деформирования арматуры, которую определяем по формуле

$$M_f = 2R_a f_a x_a \frac{u_1 - u_b}{l_b}, \quad (2)$$

где R_a — расчетное сопротивление арматуры; f_a — площадь арматуры; x_a — расстояние от центра арматурных стержней до центра сжатой зоны бетона; u_1 — вертикальная составляющая скорости под краем жесткой части фундамента; u_b — вертикальная составляющая скорости движения в крайней точке контакта гибкого фундамента с основанием; l_b — расстояние от края жесткой части фундамента до этой точки.

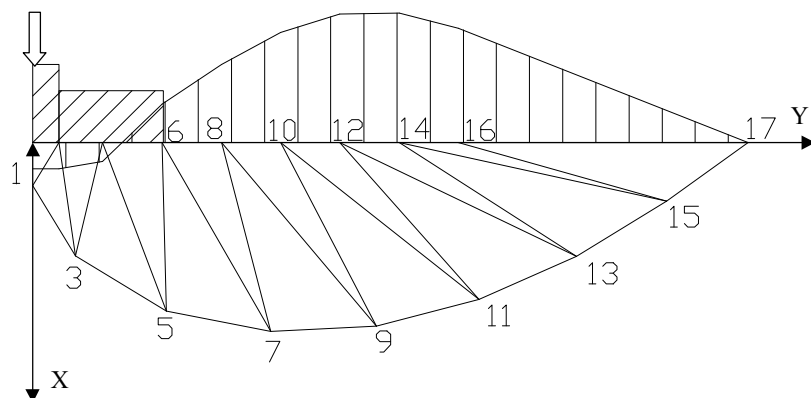


Рис. 3. Схема области пластического течения основания железобетонного фундамента

Приведенные аналитические решения, а также решения, приведенные в [1—5], являются либо нижней, либо верхней оценкой несущей способности системы «основание — фундамент». Эти решения легли в основу расчетных модулей программного комплекса «Предельные состояния систем» (ПК «ПРЕСС»). Данный комплекс позволяет определить интервал, в пределах которого находится значение предельной нагрузки, как для жестких ленточных фундаментов (штампов), так и для гибких, например железобетонных. Таким образом, он может быть использован для контроля численных решений, а также самостоятельно для расчета предельной разрушающей нагрузки, при этом с целью запаса прочности за предельную нагрузку следует принимать значение нижней оценки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дыба В. П. Оценки несущей способности гибких железобетонных фундаментов // Исследования и компьютерное проектирование фундаментов и оснований : сб. науч. тр. Новочеркасск, 1996. С. 10—25.
2. Dyba V. P., Shmatkov S. B., Solomin V. I. Deformations and strength of flexible foundations. Deformations et solidite des fondations flexibles // Comptesrendus du quatorzieme congres international de mecanique des solset des travaux de fondations. Hambourg, 6—12 september 1997. P. 975—978.
3. Дыба В. П. Аналитическое решение задачи о предельном напряженном состоянии основания, нагруженного жестким ленточным фундаментом // Экспериментально-теоретические исследования процессов упругопластического деформирования оснований и фундаментов : сб. науч. тр. Новочеркасск, 1980. С. 17—28.
4. Скибин Г. М. Инженерный метод расчета по несущей способности ленточных фундаментов с учетом коэффициента бокового расширения // Информационные технологии проектирования и исследование оснований и фундаментов : сб. науч. тр. Новочеркасск, 1999. С. 106—109.
5. Дыба В. П., Скибин Г. М. Верхние оценки несущей способности оснований ленточных фундаментов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1997. № 6. С. 2—6.
1. Dyba V. P. Otsenki nesushchei sposobnosti gibkikh zhelezobetonnykh fundamentov // Issledovaniya i komp'yuternoe proektirovanie fundamentov i osnovanii : sb. nauch. tr. Novocherkassk, 1996. S. 10—25.
2. Dyba V. P., Shmatkov S. B., Solomin V. I. Deformations and strength of flexible foundations. Deformations et solidite des fondations flexibles // Comptesrendus du quatorzieme congres international de mecanique des solset des travaux de fondations. Hambourg, 6—12 september 1997. P. 975—978.

3. Dyba V. P. Analiticheskoe reshenie zadachi o predel'nom napryazhennom sostoyanii osnovaniya, nagruzhennogo zhestkim lentochnym fundamentom // Eksperimental'no-teoreticheskie issledovaniya protsessov uprugoplasticheskogo deformirovaniya osnovanii i fundamentov : sb. nauch. tr. Novocherkassk, 1980. S. 17—28.

4. Skibin G. M. Inzhenernyi metod rascheta po nesushchei sposobnosti lentochnykh fundamentov s uchetom koeffitsienta bokovogo rasshireniya // Informatsionnye tekhnologii proektirovaniya i issledovanie osnovanii i fundamentov : sb. nauch. tr. Novocherkassk, 1999. S. 106—109.

5. Dyba V. P., Skibin G. M. Verkhnie otsenki nesushchei sposobnosti osnovanii lentochnykh fundamentov // Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov. 1997. № 6. S. 2—6.

© Дыба В. П., Скибин Г. М., 2014

*Поступила в редакцию
в марте 2014 г.*

Ссылка для цитирования:

Дыба В. П., Скибин Г. М. Развитие методов предельного анализа для оценки несущей способности системы «фундамент — грунтовое основание» // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2014. Вып. 3(34). Ст. 14. Режим доступа: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>

For citation:

Dyba V. P., Skibin G. M. [Development of limit analysis methods for the assessment of bearing capacity of “base — soil foundation” system]. *Internet-Vestnik VolgGASU*, 2014, no. 3(34), paper 14. (In Russ.). Available at: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>