

## АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ФУНДАМЕНТА

*Островский Артем Павлович, Пешко Серафим Иванович,  
студенты 2-го курса кафедры «Автоматизированный электропривод»  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
(Научный руководитель – Бадак Б.А., старший преподаватель)*

Фундамент — это подземная часть здания или сооружения, воспринимающая нагрузку от надземной части и передающая ее на грунтовое основание.

Фундаменты классифицируют по признакам. По форме: ленточные, столбчатые, свайные, сплошные(плитные). По виду материала: бетонные, железобетонные, бутовые, бутобетонные, кирпичные, деревянные.

Анализ устойчивости фундамента — очень важный этап при проектировании зданий. Он оценивает способность фундамента выдерживать нагрузку без разрушений. Этот процесс основывается на использовании математических способов, которые обеспечивают безопасность конструкции.

Фундамент должен быть устойчивым согласно следующим пунктам:

- 1.Прочность основания: анализ грунта под фундаментом
- 2.Стабильность всей системы: для предотвращения смещения конструкции
- 3.Ограничение осадок: контроль деформаций, чтобы избежать повреждений сооружения. (Рис. 1).



Рисунок 1 – Деформация грунта

Фундамент подвергается постоянным (вес сооружения, собственный вес фундамента) и временным нагрузкам (снег, ветер, погодные осадки). В особых случаях учитываются температурные воздействия на здание. (Рис. 2).

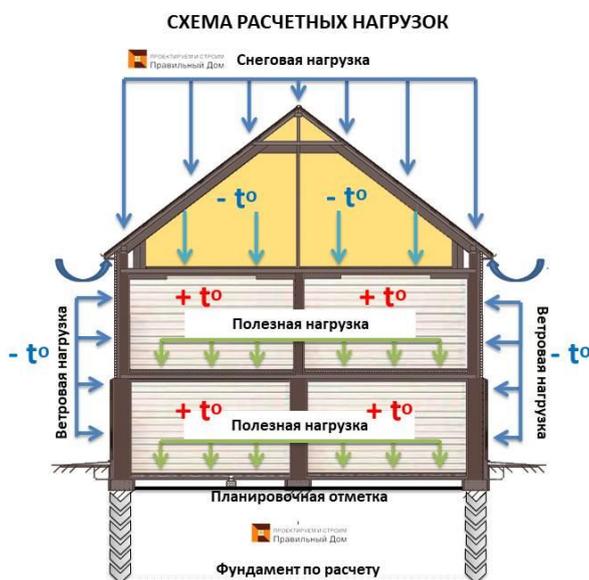


Рисунок 2 – Схема расчетных нагрузок

Для определения предельной нагрузки, которую может выдержать грунт, применяется метод предельного равновесия. МПР широко используется для анализа устойчивости фундамента, особенно в задачах оценки несущей способности грунта и проверки устойчивости к сдвигу под воздействием нагрузки. Этот метод основан на допущении, что фундамент находится в состоянии предельного равновесия перед разрушением. Расчет основывается на следующей формуле:  $Q_u = c \cdot N_c + \gamma \cdot D \cdot N_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$  (Формула Теренца), где:  $c$  — сцепление грунта,  $q$  — вертикальная нагрузка на поверхность грунта,  $\gamma$  — удельный вес грунта,  $B$  — ширина фундамента,  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$  — коэффициенты, зависящие от угла внутреннего трения грунта  $\phi$ ,  $Q_u$  — предельное давление,  $Q$  — действующая нагрузка,  $D$  — глубина заложения фундамента.

Пример расчета устойчивости фундамента: Прямоугольный фундамент шириной  $B = 2$  м, длиной  $L = 4$  м, нагружается вертикальной силой  $Q = 400$  кН. Грунт под основанием имеет: удельный вес  $\gamma = 18$  кН/м<sup>3</sup>, угол внутреннего трения:  $\phi = 30^\circ$ , сцепление:  $c = 20$  кПа.

Решение: Используем формулу Теренца для предельного давления:  $Q_u = c \cdot N_c + \gamma \cdot D \cdot N_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$ , где  $D = 1$  м, для  $\phi = 30^\circ$  коэффициенты  $N_c = 30.14$ ,  $N_q = 18.40$ ,  $N_\gamma = 15.1$ .

Подставим значения  $Q_u = 20 \cdot 30.14 + 18 \cdot 1 \cdot 18.40 + 0.5 \cdot 18 \cdot 2 \cdot 15.1 = 602.8 + 331.2 + 271.8 = 1205.8$  кПа. Далее определим среднее давление от фундамента на грунт  $q = \frac{Q}{B \cdot L} = \frac{400}{2 \cdot 4} = 50$  кПа. В результате наших вычислений, находим коэффициент запаса устойчивости  $K$ ,  $K = \frac{Q_u}{q} = \frac{1205.8}{50} = 24,12$ . Так как  $K \gg 1$ , фундамент обладает значительным запасом несущей способности и устойчив к разрушению.

Для предотвращения чрезмерных деформаций проводится расчет осадок с использованием модели упругого основания. Формула осадки в рамках линейной упругости имеет вид:  $s = \frac{q \cdot B}{E} \cdot (1 - \nu^2)$ , где:  $s$  — осадка фундамента,  $E$  — модуль упругости грунта,  $\nu$  — коэффициент Пуассона грунта,  $q$  — нагрузка на фундамент.

Горизонтальные нагрузки, такие как ветер или сейсмические воздействия, могут вызвать смещение фундамента. Устойчивость проверяется с помощью соотношения:  $F_f = \mu \cdot N > H$ , где  $F_f$  — сила трения,  $\mu$  — коэффициент трения,  $N$  — нормальная нагрузка,  $H$  — горизонтальная сила. Для предотвращения опрокидывания рассчитывается момент устойчивости с учетом расположения центра тяжести конструкции.

Для анализа распределения нагрузок применяется Модель Винклера, которая предполагает, что осадка  $w(x)$  в любой точке основания пропорциональна напряжению  $q(x)$ , приложенному к грунту. Это выражается через уравнение:  $q(x) = k \cdot w(x)$ , где  $q(x)$  — нагрузка на грунт в данной точке,  $w(x)$  — осадка грунта в данной точке,  $k$  — коэффициент, характеризующий жесткость грунта.

Таким образом, математические методы анализа устойчивости фундамента обеспечивают точность расчетов и безопасность конструкции, позволяя учитывать как свойства грунта, так и характеристики нагрузок.

#### Литература:

1. ASNinfo: расчетный комплекс [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://m.asninfo.ru> – Дата доступа : 25.11.2024.
2. Saucyintruder: расчетный комплекс [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://saucyintruder.org> – Дата доступа : 27.11.2024.