Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. ⟨XX, вып. 2, 1976 г.

МЕТОД РАСЧЕТА ОСАДОК ОТВАЛОВ ПОД ТЯЖЕЛЫМИ ЭКСКАВАТОРАМИ

Л.П.Загоруйко

В строительной практике наиболее часто применяется рекомендованный СНиПом расчет осадок фундаментов по методу послойного суммирования с учетом только максимальных осевых сжимающих напряжений по условию невозможности бокового расширения грунта. Сущность его состоит в том, что под центром загруженной площадки мысленно выделяют в грунте вертикальную призму сечением единица и высотой от уровня подошвы до глубины активной зоны сжатия до коренной скальной породы[x].

Для различных сечений призмы (горизонтальных площадок) определяют по теории линейно деформируемых тел максимальные сжимающие напряжения σ_z. Далее определяют осадки каждого элемента, составляющего призму (под действием соответствующих им значений σ_z), и суммированием их получают осадку всей толщи.

Данный метод, как и другие методы расчета осадок фундаментов сооружений, рассматриваемые в механике грунтов, основан на теории линейно деформируемых тел с определенным приближением. Такое допущение оправдывается сравнительно небольшим изменением давлений (1–3 кг/см^2), небольшими размерами фундаментов (около 2х5 м) и глубины активной зоны сжатия, а также небольшой просадочностью грунтов.

Современные шагающие экскаваторы обладают большими размерами опорных поверхностей (диаметры опорных рам 15–27 м, размеры лыж – до 4х40 м), значительными глубинами активной зоны сжатия (до 26 м) и опорными давлениями, достигающими (с учетом динамики) 7–10 кг/см^2. Отвалы, на которых работает около половины экскаваторов парка, слагаются сильно просадочными породами. Такие расчетные величины как модуль общей деформации, коэффици-

[x] Цытович Н.А. Механика грунтов. М. „Высшая школа", 1973.

ент относительной сжимаемости и модуль осадки значительно изменяются по глубине отвала в пределах активной зоны сжатия. Любому значению нагрузок отвечают разные показатели сжимаемости пород, поэтому при определении осадок каждого элементарного слоя необходимо учитывать не только нагрузки от веса оборудования (как принято в упомянутых методах), но и собственный вес пород, определяющий исходную плотность и сжимаемость каждого слоя отвала.

Учитывая это, автор предлагает рассчитывать осадки отвалов под тяжелыми драглайнами по упомянутому методу послойного суммирования с сохранением его основных принципов, но с учетом нелинейной деформируемости пород. Расчет осадок должен состоять из двух этапов: I) определения состояния грунта в отвале по плотности на разной глубине после уплотнения его под действием собственного веса; 2) расчета осадок экскаватора после установки его на спланированном отвале. На этих этапах повторяются такие расчетные операции как определение напряжений в элементарных слоях, относительной деформации (по компрессионному графику), абсолютных осадок слоев и суммирование этих осадок. Однако каждая из этих операций имеет свои особенности.

На первом этапе расчета сжимающие напряжения от веса пород в горизонтальных площадках слоев определяются произведением высоты столба пород на среднюю их плотность. Но решение задачи усложняется тем, что средняя плотность пород в различных по высоте призмах отвала не одинакова (увеличивается с ростом высоты призмы) и в свою очередь зависит от искомой величины сжимающих напряжений.

Для получения более строгого решения мы предлагаем расчетный прием, особенность которого состоит в следующем: в начале расчета допускаем, что в процессе отсыпки осадка породы под собственным весом в столбе не происходила, порода однородна, равномерно увлажнена и разрыхлена, поэтому плотность ее постоянна по высоте и равна плотности на поверхности свежеотсыпанного отвала. При таких условиях сжимающие напряжения от веса пород будут изменяться по глубине прямолинейно, а средние их значения в каждом слое

$$\sigma_n = \gamma_0 h_0 (n - 0{,}5),$$

где γ_0 – плотность породы на поверхности свежеотсыпанного отвала, т/м^3; h_0 – мощность слоя, м; n – порядковый номер слоя, считая от поверхности.

Величина относительной деформации грунта e_n в каждом слое, отвечающая найденным сжимающим напряжениям, определяется по компрессионному графику, построенному в координатах: относительные осадки e – сжимающие напряжения σ. Компрессионные испытания при этом проводят по общепринятой методике в одометрах на образцах нарушенной структуры с начальной плотностью γ_0.

Умножив последовательно значения относительных осадок на мощность элементарных слоев, получают абсолютные осадки каждого слоя, а величину полной осадки принятой призмы определяют как сумму осадок всех слоев. Далее, вычитая абсолютные осадки слоев из принятой их мощности, устанавливают мощность каждого слоя после уплотнения. Эти значения являются исходными

для второго этапа – расчета осадок экскаватора и могут быть определены непосредственно по формуле

$$h_y = h_0(1 - e_{ni}),$$

где e_{ni} – относительные осадки слоя при сжимающем напряжении σ_{ni}.

Глубину залегания каждого уплотненного слоя Z_{yi} определяют последовательным суммированием полученных значений h_y.

При определении осадок экскаватора сжимающие напряжения от его веса определяют методами, известными в механике грунтов и рекомендованными СНиПом для глубин, отвечающих найденным значениям Z_y, для которых уже известны сжимающие напряжения от веса пород.

Просуммировав значения сжимающих напряжений от веса машины $\sigma_з$ и веса породы $\sigma_п$ на уровне каждого слоя, определяют для найденных сумм $\sigma_{пэ}$ по компрессионной кривой соответствующие значения относительных осадок $e_{пэ}$, а затем вычитают их из полученных ранее значений относительных осадок $e_п$.

Полученная разность представляет собой относительные осадки каждого слоя от веса экскаватора. Абсолютные осадки каждого слоя

$$S_i = e_э h_0 .$$

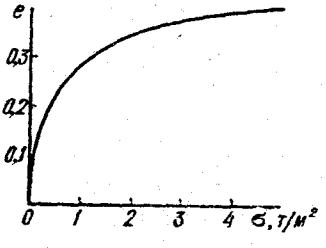
Полная осадка отвалов под опорными поверхностями экскаватора

$$S_z = \Sigma e_э h_0 .$$

Мощность активной зоны сжатия находят после определения $\sigma_п$ и $\sigma_з$ для всех слоев принятой в расчете призмы путем отыскания слоя, в котором удовлетворяется равенство $0{,}2\,\sigma_п \approx \sigma_з$, (согласно СНиП-II-Б-I-62).

На первом этапе расчета может быть также учтено уплотнение поверхностного слоя бульдозером при планировании площадки. Для этого необходимо определить сжимающие напряжения от веса бульдозера в двух-трех поверхностных слоях и прибавить их к напряжениям от веса грунта.

Для наглядности изложенного метода приведем пример определения осадок грунта под базой шагающего экскаватора ЭШ-15/90 при следующих условиях: диаметр базы – 16 м; удельное давление под базой – 8 т/м^2; порода – отвальная смесь суглинков и песчаников с плотностью на поверхности отвала $\gamma_0 = 1{,}2$ т/м^3; график компрессионной кривой представлен на рисунке.



Компрессионная кривая породной смеси суглинков и песчаников

Мощность расчетного уплотняющегося слоя в отвальном уступе принимаем равной диаметру базы экскаватора плюс 3–5 м (с запасом на осадку породы), учитывая, что этот размер примерно равен глубине активной зоны сжатия (после уплотнения), где давление от веса машины составляет не менее 20% от бытового (согласно СНиП-II Б-I-62).

Пример расчета уплотнения отвала под базой экскаватора

n	Напряжения и осадки											
	под весом пород					под весом экскаватора						
	Z_0, м	$\sigma_n = \gamma_0 h_0 (n-0,5)$, т/м²	e_n	$h_y = h_0(1-e_n)$, м	$Z_y = \sum h_y$, м	α	$\sigma_э = \alpha \sigma_0$, т/м²	$\sigma_{nэ} = \sigma_n + \sigma_э$, т/м²	$e_{nэ}$	$e_э = e_{nэ} - e_n$	$S_i = e_э h_0$, м	$S_z = \sum e_э h_0$, м
1	2	1,19	0,135	1,730	1,730	0,993	7,95	9,14	0,285	0,150	0,300	0,300
2	4	3,56	0,210	1,580	3,310	0,963	7,70	11,26	0,304	0,094	0,188	0,488
3	6	5,94	0,250	1,500	4,810	0,907	7,25	13,19	0,317	0,067	0,134	0,622
4	8	8,32	0,277	1,446	6,256	0,806	6,45	14,77	0,329	0,052	0,104	0,726
5	10	10,7	0,299	1,402	7,658	0,706	5,65	16,35	0,336	0,037	0,074	0,800
6	12	13,08	0,317	1,366	9,024	0,625	5,00	18,08	0,343	0,026	0,052	0,852
7	14	15,46	0,332	1,336	10,360	0,549	4,40	19,86	0,351	0,019	0,038	0,890
8	16	17,84	0,342	1,316	11,676	0,482	3,85	21,69	0,356	0,014	0,028	0,918
9	18	20,21	0,352	1,296	12,972	0,424	3,40	-	-	-	-	-

Примечание. Осадки отвала под базой экскаватора в пределах зоны активного сжатия 0,918.

Z_0 и Z_y – глубина залегания подошвы элементарных слоев соответственно до и после уплотнения породы, м; h_0 и h_y – мощность элементарных слоев, соответственно до и после уплотнения, м; α – коэффициент, зависящий от формы опорной поверхности и глубины залегания слоя (принимается по таблице 8, СНиП-П-Б-1-62); σ_0 – удельное давление под опорными поверхностями, т/м².

Поскольку вычисления по каждому слою повторяются, результаты расчетов сведены в таблицу, из которой видна последовательность расчетов.

При определении проходимости тяжелых горных машин (в том числе отвалообразователей), оборудованных шагающим ходом, аналогичные расчеты повторяют для определения осадок грунта под базой и под лыжами.

Представленный метод расчета осадок основан на некоторых допущениях, значимость которых необходимо устанавливать в дальнейших исследованиях. Во-первых, необходимы более точные показатели сжимаемости, получаемые при моделировании условий работы грунта под машинами и учитывающие формирование плотности породы в зависимости от технологии отвалообразования. Во-вторых, необходимы методы учета характера распределения статических и динамических напряжений под работающими машинами. Поэтому при прогнозировании проходимости тяжелых машин по отвалам получаемые данным методом осадки грунта могут использоваться лишь в первом приближении.