

Н.В.Васильева, инженер

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия

УДК 627.511

Расчет осадки сооружений на биогенных грунтах с учетом их фазового состава

Предложено компрессионные кривые рассчитывать для органической составляющей биогенных грунтов, а сжимаемостью их минеральной составляющей пренебрегать, так как она несопоставимо меньше, чем для органической составляющей. Полученная эмпирическая формула с учетом принятых положений дает значительно меньшее расхождение расчетных значений осадки, чем эмпирические формулы для расчета компрессионных кривых по показателям физических свойств биогенных грунтов.

Так как осадка сооружений на биогенных грунтах составляет значительную величину, то повышение точности расчета прогнозируемой осадки обеспечивает принятие более экономичных решений.

The article suggests calculating compression curves of organic parameters of the biogenic grounds and neglecting the compressibility of the mineral parameters, because the latter is incomparably smaller. Keeping in mind the proposals the empiric formula received has much less deviations. Because of the fact that the sagging of the construction on biogenic grounds has very considerable volume, the preciseness of the calculations ensure economically better solutions.

Линейные сооружения (дамбы обвалования, земляные плотины и др.) на мелиорированных объектах часто возводятся на биогенных грунтах. Биогенные грунты в отличие от минеральных характеризуются большой деформируемостью под нагрузкой. Несмотря на существенные отличия биогенных грунтов от минеральных, общие закономерности и характер процесса сжимаемости близкие, однако расчетные параметры для зависимостей изменяются сильно, иногда на порядок. Осадка насыпей или других сооружений зависит как от нагрузки, передаваемой на основание, так от мощности и физико-механических свойств биогенных грунтов, слагающих основание. Наиболее распространенным методом расчета осадок оснований из биогенных грунтов является метод, основанный на результатах компрессионных испытаний.

Так как ширина земляных насыпей по низу, как правило, значительно превышает мощность биогенных грунтов, то под действием нагрузки от массы насыпи эти грунты испытывают только сжатие без бокового расширения. Такого рода деформирование соответствует компрессионному сжатию грунта. Его конечная осадка определяется с использованием параметров, определяемых при компрессионных испытаниях грунтов. Осадку основания насыпи при наличии в основании слоев различных видов грунтов или грунтов одного вида, но с различными свойствами определяют как сумму вертикальных деформаций уплотнения отдельных слоев, слагающих основание, по формуле

$$S = \sum \frac{\varepsilon_o - \varepsilon_i}{1 + \varepsilon_o} \cdot h_i, \quad (1)$$

где: ε_o — начальный коэффициент пористости отдельного слоя;

ε_i — коэффициент пористости этого слоя, достигнутый в результате уплотнения от удельной нагрузки P_i ;

h_i — толщина слоя грунта в основании.

Процесс уплотнения биогенных грунтов является длительным и, чтобы получить в лабораторных условиях компрессионные зависимости, требуется несколько месяцев, а для некоторых видов этих грунтов, при большом количестве ступеней нагружения, этот процесс может достигать года. Поэтому практический интерес представляет построение компрессионной кривой без проведения длительных компрессионных испытаний, то есть расчетным путем.

Наиболее распространенным видом уравнения, которое используют при аппроксимации экспериментальных компрессионных кривых, является логарифмическое.

На основании обработки экспериментальных данных с биогенными грунтами получена эмпирическая зависимость для расчета компрессионной кривой

$$\varepsilon_i = 1,383 \cdot \varepsilon_o^{0,845} - 0,147(\varepsilon_o)^{0,483} \cdot \varepsilon_o \cdot \lg \frac{P_i}{P_o} \quad (2)$$

Биогенный грунт является сложной системой, твердая фаза которого состоит из минеральной и органической составляющих. Органическая составляющая является основой каркаса биогенного грунта, который несет

основную нагрузку от сооружений, строящихся на этих грунтах. Расчет фазового состава биогенных грунтов показывает, что минеральная составляющая занимает несопоставимо меньшую часть в единице объема, чем органическая, и сжимаемость ее намного меньше, чем у органической. Поэтому уплотнением минеральной составляющей можно пренебречь и принять ее несжимаемой. Кроме того, минеральная составляющая связывает и удерживает несопоставимо малое количество воды в сравнении с органической.

Таким образом, можно считать, что деформации уплотнения происходят в результате отжатия воды и уплотнения лишь органической составляющей, а характер процесса уплотнения органической составляющей будет аналогичным, как и для образца биогенного грунта.

Для определения параметров компрессионных зависимостей для органической составляющей экспериментальные данные компрессионных испытаний образцов всех видов биогенных грунтов были пересчитаны с учетом вычета из общего объема грунта минеральной составляющей.

Высота слоя, занимаемая минеральной составляющей в образце

$$h_{мин} = \frac{V_{мин}}{F}, \quad (3)$$

где: $V_{мин}$ — объем, занимаемый минеральной составляющей;

F — площадь гильзы компрессионного прибора.

Начальная высота органической составляющей

$$h_{орг} = h_{нач} - h_{мин}, \quad (4)$$

где: $h_{нач}$ — высота твердой фазы образца.

По достигнутой величине деформации образца на каждой ступени нагрузки P , рассчитывались соответствующие данной нагрузке коэффициенты пористости

$$\varepsilon_i^{орг} = \varepsilon_{орг} \cdot \left(1 - \frac{S_i}{h_o}\right), \quad (5)$$

где S_i — осадка под действием уплотняющей нагрузки P_i ;

h_o — начальная высота образца.

По результатам обработки экспериментальных данных получена эмпирическая зависимость для расчета компрессионной кривой для органической составляющей

$$\varepsilon_{орг_i} = 1,5 \cdot \varepsilon_{орг}^{0,816} - 0,158(\varepsilon_{орг})^{0,431} \cdot \varepsilon_{орг} \cdot \lg \frac{P_i}{P_o} \quad (6)$$

Полученная формула справедлива для всех видов биогенных грунтов и позволяет построить компрессионную кривую для органической составляющей в зависимости от параметра $\varepsilon_{орг}$ — коэффициента пористости органической составляющей при влажности и пористости грунта в естественном состоянии в диапазоне нагрузок, встречающихся в практике мелиоративного строительства.

Проверка полученных зависимостей осуществлена по результатам наблюдений за осадкой плотины на реке Щара.

Таблица 1. Физические свойства и фазовый состав биогенных грунтов в основании плотины на р. Щара

| Сечения | Вид грунта | Высота образца h , см | Влажность W , % | Плотность твердой фазы γ_s , г/см ³ | Зольность Z , % | Плотность скелета грунта γ_d , г/см ³ | Плотность грунта γ , г/см ³ | Коефициент пористости ϵ | Объем образца V , см ³ | Масса образца P , г | Объем твердых частиц в единице объема грунта, m |
|---------|------------|-------------------------|-------------------|---|-------------------|---|---|----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| ПК 2+75 | торф | 2,0 | 644,0 | 1,573 | 9,10 | 0,1413 | 1,051 | 10,15 | 51,0 | 53,601 | 0,090 |
| ПК 3+60 | торф | 2,0 | 535,0 | 1,678 | 21,77 | 0,1680 | 1,067 | 8,98 | 51,0 | 54,417 | 0,100 |
| ПК 3+60 | сапропель | 2,0 | 230,0 | 2,200 | 71,30 | 0,3630 | 1,198 | 5,06 | 51,0 | 61,098 | 0,165 |
| ПК 4+40 | торф | 2,0 | 478,0 | 1,765 | 32,80 | 0,1870 | 1,081 | 8,44 | 51,0 | 55,131 | 0,106 |
| ПК 4+40 | сапропель | 2,0 | 148,0 | 2,400 | 84,80 | 0,5274 | 1,308 | 3,55 | 51,0 | 66,708 | 0,220 |

| Объем пор в единице объема грунта, m | Масса в образце | | | | | | Объем минерал. составляющей $V_{мин}$, см ³ | Высота минерал. составляющей $h_{мин}$, см | Влажность органич. составляющей $W_{орг}$, % | Плотность скелета органич. составляющей $\gamma_{орг}$, г/см ³ | Коеф-нт порист. органич. составляющей $\epsilon_{орг}$ |
|--|-----------------|------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|--|---|---|---|--|--|
| | воды P_w , г | твердой фазы $P_{тв.ф.}$, г | минерал. составляющей $P_{мин}$, г | органич. составляющей $P_{орг}$, г | воды в минерал. составляющей $P_w^{мин}$, г | воды в органич. составляющей $P_w^{орг}$, г | | | | | |
| 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 0,910 | 46,410 | 7,191 | 0,654 | 6,537 | 0,131 | 46,279 | 0,385 | 0,015 | 707,95 | 0,129 | 10,63 |
| 0,900 | 45,900 | 8,517 | 1,854 | 6,663 | 0,371 | 45,529 | 1,091 | 0,043 | 683,31 | 0,133 | 10,28 |
| 0,835 | 42,585 | 18,513 | 13,199 | 5,314 | 2,640 | 39,945 | 7,764 | 0,304 | 751,69 | 0,122 | 11,30 |
| 0,894 | 45,594 | 9,537 | 3,128 | 6,409 | 0,626 | 44,968 | 1,840 | 0,072 | 701,64 | 0,130 | 10,54 |
| 0,780 | 39,780 | 26,928 | 22,835 | 4,093 | 4,567 | 35,213 | 13,432 | 0,526 | 860,32 | 0,108 | 12,89 |

Плотина построена на заболоченной пойме реки Щара в Ляховичском районе Брестской области. Биогенные грунты в шворе плотины характеризуются чрезвычайной пестротой как по составу, так и по физико-механическим свойствам и представлены торфами и сапропелями.

Плотина отсыпана из среднезернистого песка с плотностью в теле насыпи 1,6 г/см³, высотой 5,8 м над поверхностью земли, с коэффициентом заложения верхового откоса 3, низового — 2,5. Наблюдения за осадкой осуществлялись в трех сечениях на ПК 2+75, ПК 3+60 и ПК 4+40. Так как мощность биогенных грунтов в сечениях неодинакова, то расчет осуществляется для различных вертикалей, на которых были установлены осадочные марки. До начала строительства в каждом сечении были определены показатели физических свойств биогенных грунтов и их мощность, которые приведены в таблице 1.

Удельную нагрузку на основание определяли по формуле от массы насыпи с учетом замеренной осадки

$$P = (h_n + S) \cdot \gamma, \quad (7)$$

где h_n — превышение насыпи над поверхностью земли;

S — осадка насыпи;

γ — плотность грунта насыпи.

Результаты расчетов представлены в таблице 2.

При расчете осадки по формуле (6) высота слоя органической составляющей определялась по результатам расчета фазового состава (табл. 1). В таблице приведены значения высоты слоя минеральной составляющей в компрессионном кольце высотой 2,0 см.

Высота слоя минеральной составляющей $h_{мин}^{зал}$ каждого вида биогенного грунта в залежи равна

$$h_{мин}^{зал} = \frac{h_{мин}^{обр}}{2} \cdot h_{zp}, \quad (8)$$

где: $h_{мин}^{обр}$ — высота слоя минеральной составляющей в образце высотой 2,0 см (табл. 1);

h_{zp} — высота рассматриваемого слоя биогенного грунта в залежи, см.

Высота слоя органической составляющей в залежи $h_{орг}^{зал}$ равна

$$h_{орг}^{зал} = h_{zp} - h_{мин}^{зал}. \quad (9)$$

Результаты расчетов сведены в таблице 2. Как следует

Таблица 2. Расчет осадки земляной плотины на р. Щара

| Сечения | Вертикали | Вид грунта | Толщина слоя, м | | Удельная нагрузка P , кг/см ² | Кoeffициент пористости | | Кoeff. порист., достигн. в результате уплотнен. от расчетн. нагрузки по ф-лам | | Расчет. осадка, получен. с использован. ф-ул S_p , м | | Фактическая осадка $S_{факт.}$, м | Отклонения в % $S_{факт.}$ от S_p | |
|---------|-----------|------------|------------------|----------------------------|--|------------------------|-----------------------------------|---|------|--|----------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------|
| | | | грунта, $h_{гр}$ | орган. составл., $h_{орг}$ | | грунта, ϵ_0 | орган. составл., $\epsilon_{орг}$ | 2 | 6 | 2 | 6 | | 2 | 6 |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| ПК 2+75 | МП 1 | торф | 2,0 | 1,99 | 1,079 | 10,15 | 10,63 | 5,08 | 5,52 | 0,999 | 0,957 | 0,946 | +5,60 | +1,16 |
| ПК 2+75 | МП 2 | торф | 2,0 | 1,99 | 1,077 | 10,15 | 10,63 | 5,08 | 5,52 | 0,999 | 0,957 | 0,932 | +7,18 | +2,68 |
| ПК 3+60 | МП 1 | торф | 2,7 | 2,64 | 1,21 | 8,98 | 10,28 | 4,71 | 5,24 | 1,284 | 1,294 | | | |
| | МП 1 | сапропель | 1,0 | 0,85 | 1,21 | 5,06 | 11,30 | 3,68 | 5,35 | 0,273 | 0,447 | | | |
| | | | | | | | | | | $\Sigma 1,557$ | $\Sigma 1,741$ | $\Sigma 1,750$ | -11,03 | -0,51 |
| ПК 3+60 | МП 2 | торф | 2,8 | 2,74 | 1,20 | 8,98 | 10,28 | 4,72 | 5,26 | 1,328 | 1,338 | | | |
| | МП 2 | сапропель | 0,7 | 0,59 | 1,20 | 5,06 | 11,30 | 3,68 | 5,37 | 0,191 | 0,309 | | | |
| | | | | | | | | | | $\Sigma 1,519$ | $\Sigma 1,647$ | $\Sigma 1,674$ | -9,26 | -1,61 |
| ПК 4+40 | МП 1 | торф | 2,7 | 2,60 | 1,21 | 8,44 | 10,54 | 4,62 | 5,28 | 1,222 | 1,297 | | | |
| | МП 1 | сапропель | 1,1 | 0,81 | 1,21 | 3,55 | 12,89 | 2,99 | 5,44 | 0,173 | 0,468 | | | |
| | | | | | | | | | | $\Sigma 1,395$ | $\Sigma 1,765$ | $\Sigma 1,744$ | -20,01 | -1,20 |
| ПК 4+40 | МП 2 | торф | 2,3 | 2,22 | 1,10 | 8,44 | 10,54 | 4,77 | 5,47 | 1,000 | 1,068 | 1,078 | -7,23 | -0,93 |
| ПК 4+40 | МП 3 | торф | 2,4 | 2,31 | 0,62 | 8,44 | 10,54 | 5,63 | 6,61 | 0,799 | 0,895 | 0,884 | -9,61 | +1,24 |

из таблицы 2, сходимость фактических значений осадки с расчетными по органической составляющей значительно выше, чем по формуле без разделения на составляющие, что позволяет более точно определять осадку сооружений.

Так как от величины осадки зависит объем транспортировки грунтов для возведения сооружений, то повышение точности расчета прогнозируемой осадки обеспечивает снижение стоимости отсыпки насыпи.