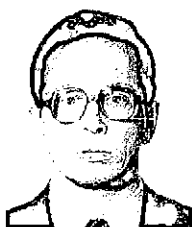
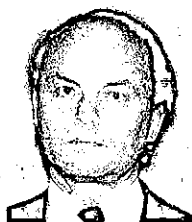


УДК 630\*864.5: 539.3

А.Л. НЕВЗОРОВ, В.Г. ПАНТЕЛЕЕВ, Ю.Л. СИРОТА, Д.Д. КОЗМИН, В.В. КОПТЯЕВ

Архангельский государственный технический университет  
Всероссийский НИИ гидротехники

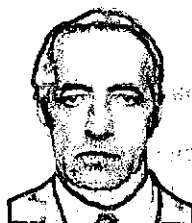
Невзоров Александр Леонидович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой инженерной геологии, оснований и фундаментов Архангельского государственного технического университета, член Российского национального комитета по механике грунтов и фундаментостроению. Имеет более 70 печатных работ в области инженерной геологии и фундаментостроения.



Пантелеев Валерий Геннадьевич родился в 1938 г., окончил в 1964 г. Ленинградский институт водного транспорта, доктор технических наук, профессор, заведующий сектором конструкции и технологии возведения золошлакоотвалов Всероссийского НИИ гидротехники. Имеет 186 работ в области складирования и использования отходов промышленности.



Сирота Юрий Лазаревич родился в 1943 г., окончил в 1966 г. Ленинградский политехнический институт, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории механики грунтов Всероссийского НИИ гидротехники. Опубликовано 24 работы в области складирования и использования отходов промышленности.



Козмин Дмитрий Дмитриевич родился в 1937 г., окончил в 1961 г. Одесский институт инженеров морского флота, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов Архангельского государственного технического университета. Имеет 44 печатные работы в области инженерной геологии и фундаментостроения.



Коптяев Виктор Викторович родился в 1971 г., окончил в 1994 г. Архангельский лесотехнический институт, аспирант кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов Архангельского государственного технического университета. Имеет 10 печатных работ в области охраны геологической среды.

## ОСАДКА ОПЫТНОЙ ДАМБЫ ИЗ ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА НА СЛАБОМ ОСНОВАНИИ

Приведены результаты длительных наблюдений за осадкой опытной дамбы из гидролизного лигнина. Дамба возведена на болоте, покрытом золошлаковыми отходами тепловой электростанции. Сопоставлены расчетные и фактические значения осадки основания.

The results of long-term observations over the settlement of pilot dam made of hydrolytic lignin are given. The dam is erected on the bog, covered with ash-and-slag waste of steam power plant. The design and actual values of basement settlement are compared.

В настоящее время ведется строительство ограждающей дамбы золоотвала ТЭС Онежского гидролизного завода Архангельской области. Из-за высокой стоимости песчаных грунтов, связанной с удаленностью карьеров, было решено использовать в теле дамбы гидролизный лигнин — отход гидролизного производства (рис. 1). Ежегодно до 50 тыс. м<sup>3</sup> этого материала на заводе направляют в отвалы, суммарный объем которых приближается к 2 млн м<sup>3</sup>.

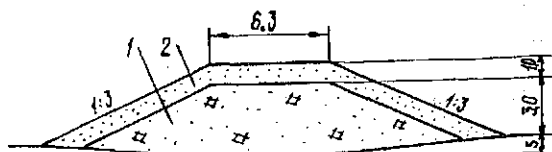


Рис. 1. Конструкция ограждающей дамбы: 1 — гидролизный лигнин; 2 — песок

В данной работе приводятся результаты геотехнического контроля за возведением дамбы и сопоставление расчетных и фактических значений осадки основания, сложенного торфом и золошлаковым материалом.

Основные физико-механические свойства гидролизного лигнина приведены в табл. 1. Удельный вес и коэффициент его пористости определяли при уплотнении образцов циклической нагрузкой от 50 до 500 кПа. Более подробные характеристики опубликованы нами ранее [2, 3].

Таблица 1

Характеристика грунта	Лигнин	ЗШМ	Торф	Суглинок
Удельный вес, кН/м <sup>3</sup>	5,00...9,41	16,6	9,9	18,6
То же с учетом взвешивающего действия воды, кН/м <sup>3</sup>	0,59...0,99	7,5	0,3	8,7
Влажность, доли ед.	0,70...1,98	0,37	10,32	0,32
Коэффициент пористости	2,75...5,36	1,2	15,83	0,88
Угол внутреннего трения, град	26,3	30,6	11,0	24,0
Сцепление, кПа	12,6	0,3	7,0	16,0

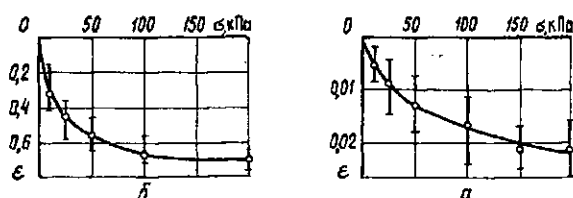


Рис. 2. Компрессионные зависимости: а, — золошлакового материала; б — торфа

Ограждающую дамбу возводят на болоте глубиной в среднем 5 ... 6 м. Болотные отложения представлены слабо- и среднеразложившимся топяным торфом. В придонном слое встречается сапронель мощностью 0,1 ... 0,3 м. Биогенные отложения подстилаются ледниковыми суглинками в мягко- или тугопластичном состоянии. На части болота торф покрыт золошлаковыми отходами ТЭС мощностью 0,5 ... 5,4 м. Уровень грунтовых вод совпадает с поверхностью, поэтому золошлаковый материал (ЗШМ) и торф находятся в насыщенном водой состоянии.

Свойства грунтов основания также приведены в табл. 1. Результаты компрессионных испытаний показаны на рис. 2. Наиболее точно компрессионные кривые аппроксимируются показательной зависимостью [1]

$$\varepsilon = k [1 - \exp(-a\sigma)], \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  — относительная деформация;

$\sigma$  — нормальное напряжение;

$k, a$  — коэффициенты аппроксимации, для золошлакового материала  $k = 0,021$ ;  $a = -0,02 \text{ кПа}^{-1}$ ; для торфа  $k = 0,680$ ;  $a = -0,04 \text{ кПа}^{-1}$ .

Модуль деформации суглинка составляет 12 МПа.

Торфу присуща высокая сжимаемость, и применение в теле дамбы гидролизного лигнина, имеющего малый удельный вес, кроме утилизации части отходов, позволит значительно сократить осадку основания.

В целях отработки технологии укладки и уплотнения лигнина в 1993 г. возведена опытная дамба длиной 200 м только из лигнина без пригрузки песком. Ее высота постепенно была доведена до 2,8 м. Под дамбу выбран участок болота, пригруженный золошлаковым материалом, вследствие чего прочностные показатели торфа были несколько выше обычных.

Таблица 2

Глубина отбора образцов, м	Удельный вес, $\text{кН/м}^3$	Влажность, доли ед.	Коэффициент пористости
0...1,0	8,23...9,11	1,43...1,91	2,96...3,34
1,0...2,0	7,45...8,33	1,62...2,23	3,79...4,35
2,0...3,0	6,37...7,54	1,78...2,45	4,84...5,28

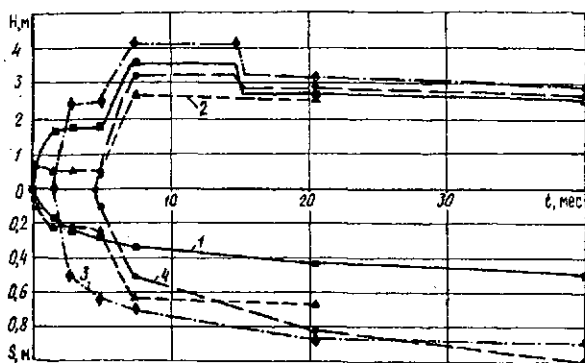


Рис. 3. Графики развития во времени осадки основания опытной дамбы: 1 – 4 – марки № 1 – 4

Физические свойства гидролизного лигнина в теле дамбы представлены в табл. 2. Они получены при испытании образцов ненарушенной структуры, отобранных в шурфах и буровых скважинах. Плотность лигнина уменьшается по мере увеличения глубины отбора проб, так как дамбу возводили пионерным способом и наиболее интенсивное движение происходило по верхнему слою.

По оси дамбы перед отсыпкой лигнина на поверхность грунта устанавливали осадочные марки – стальные квадратные плиты размером  $1 \times 1$  м с анкерами снизу. Створы расстановки марок закрепляли столбами, размещенными вне контура будущей дамбы. Для определения осадки основания над марками через слой лигнина делали скважины, в них вводили металлические щупы и выполняли нивелировку. Данные более чем трехлетних наблюдений за осадкой приведены на рис. 3. Представляет интерес их сопоставление с расчетными значениями осадки.

Расчетная схема основания опытной дамбы представлена на рис. 4. Осадку определяли по методу послойного суммирования. Формула, рекомендованная СНиП 2.02.02 – 85 [4], была приведена к следующему виду:

$$S = \sum_{i=1}^n (\varepsilon_{i2} - \varepsilon_{i1}) h_i, \quad (2)$$

где  $S$  – осадка;

$\varepsilon_{i1}$  – относительная деформация  $i$ -го слоя под действием напряжений от собственного веса грунта основания  $\sigma_{zgi}$ ;

$\varepsilon_{i2}$  – относительная деформация  $i$ -го слоя под действием напряжений от собственного веса грунта основания и дополнительных напряжений от дамбы ( $\sigma_{zgi} + \sigma_{zpi}$ );

$h_i$  – толщина слоя;

$n$  – число слоев, на которые разбита сжимаемая толща.

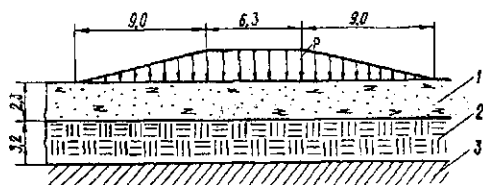


Рис. 4. Расчетная схема основания опытной дамбы: 1 – золошлаковый материал; 2 – торф; 3 – суглинок

Основание было разбито на два слоя: золошлаковый материал и торф толщиной 2,3 и 3,2 м соответственно. Осадкой подстилающего суглинка из-за ее небольших значений пренебрегали. Напряжения  $\sigma_{zgi}$  и  $\sigma_{zpi}$  находили по оси трапециевидной полосовой нагрузки для середины слоев. Относительные деформации вычисляли по формуле (1). В качестве примера в табл. 3 приведен расчет осадки под нагрузкой  $p = 40$  кПа.

Таблица 3

Номер слоя	$h_i$ , м	Напряжения, кПа			Относительная деформация		Осадка слоя, см
		$\sigma_{zgi}$	$\sigma_{zpi}$	$\sigma_{zgi} + \sigma_{zpi}$	$\epsilon_{i1}$	$\epsilon_{i2}$	
1	2,3	9	40	49	0,003	0,013	2,3
2	3,2	18	37	55	0,349	0,605	81,9
Итого	-	-	-	-	-	-	84,2

Расчетный график зависимости осадки основания от давления под подошвой насыпи показан на рис. 5. На этом же рисунке приведены фактические значения осадки, полученные по результатам наблюдения за четырьмя осадочными марками.

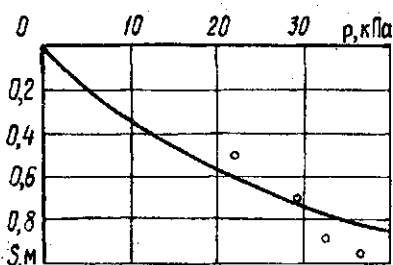


Рис. 5. Зависимость осадки основания опытной дамбы от давления. Точками показаны экспериментальные данные

Как видим, погрешность расчета не превышает 20 %, что вполне допустимо, если учесть неоднородность свойств грунтов основания и мощности слоев.

Сравнение значений осадки дамбы, полученных расчетным и опытным путем, показывает возможность использования нормативной формулы для таких расчетов. Применение для отсыпки дамбы гидролизного лигнина вместо песчаного грунта позволит сократить расходы по разработке и транспортировке песка, уменьшить осадку основания за счет снижения веса дамбы и частично утилизировать один из видов отходов гидролизного производства.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Вотьяков И.Ф. Практические методы расчета оснований по деформациям. - Гомель: БелИИЖТ, 1973. - 75 с. [2]. Исследование уплотняемости и фильтрационных свойств гидролизного лигнина / А.Л. Невзоров, Д.Д. Козмин, Г.В.

Северова, В.В. Коптяев // Лесн. журн. - 1995. - № 1. - С. 86-90. - (Изв. высш. учеб. заведений). [3]. Невзоров А.Л., Козмин Д.Д., Звездин В.Н. Физико-механические свойства гидролизного лигнина как техногенного грунта // Лесн. журн. - 1992. - № 1. - С. 125 - 129. - (Изв. высш. учеб. заведений). [4]. СНиП 2.02.02 - 85. Основания гидротехнических сооружений / Госстрой СССР. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. - 48 с.

---

Поступила 20 августа 1996 г.