

Сеськов В.Е., канд. техн. наук, доцент, лауреат премий Совета Министров БССР и Беларуси, заведующий научно-исследовательским отделом, РУП «Институт БелНИИС», г. Минск

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БИОГЕННЫХ ГРУНТОВ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ

VARIANT METHODS OF DETERMINATING BIOGENIC GROUNDS DEFORMATION BEHAVIOR

Аннотация

В статье освещены вопросы определения деформационных характеристик биогенных грунтов (грунтов, содержащих органические остатки) различными методами. Деформационные характеристики являются основными при расчете осадок таких оснований (модуль деформации E , модуль упругости E_y , относительная сжимаемость λ , коэффициент консолидации C_k и др.), рассматриваются методы их определения по прямым испытаниям (штампы, компрессионные испытания), по результатам статического зондирования, сейсмоакустики и по физическим характеристикам грунтов, т.е. комплексно, все это дает возможность получить достоверные и точные результаты. Приводятся рекомендации по упрочнению слабых грунтов.

Abstract

The issues of biogenic grounds (containing organic residues) deformation behavior determination using various methods are shown in the article. Deformation behavior is considered to be the basic property while estimating the settlements of these grounds (modulus of deformation E , modulus of elasticity E_y , relative compressibility λ , consolidation coefficient C_k etc.). The shown methods of defining the settlements are complex that is they are based on direct testing (stamps, compressive tests), quiescent probing, seismic sounding and physical characteristics of the grounds, that gives the possibility of getting reliable and accurate effect. Guidelines on hardening soft grounds are given.

ВВЕДЕНИЕ

Знание особенностей физико-механических характеристик погребенных биогенных грунтов, законов их деформирования и консолидации позволяет выбрать наиболее рациональные конструкции фундаментов.

Однако недостаточная изученность физико-механических свойств биогенных грунтов, особенно погребенных (т.е. находящихся на различной глубине под слоями минеральных грунтов) и их региональных особенностей, незначительный опыт проектирования и строительства зданий и сооружений на таких основаниях в республике, зачастую приводят к нерациональным и ошибочным решениям, которые вызывают значительное удорожание фундаментов. Поэтому, в настоящее время, когда началась активная застройка пойменных и заболоченных территорий, содержащих погребенные биогенные грунты, очень важно изучить и обобщить их строительные свойства. Особенно важно изучить деформационные характеристики, так как данные грунты, сильно сжимаемые, и неправильное решение при проектировании может вызвать негативные результаты (большую стоимость или вызвать большие деформации конструкций).

Биогенные грунты, независимо от их состояния, обладают всеми основными свойствами, которыми характеризуются любые грунты как материал основания, но имеют и некоторые особенности, отраженные специфическими показателями. В связи с этим при инженерно-геологическом изучении биогенных грунтов пользуются следующими методами: стандартным — для определения общих показателей, модифицированным, учитывающим особенности некоторых свойств, специальным — для определения специфических показателей.

Специфические особенности всех биогенных грунтов обусловлены наличием в их структуре органических и биогенных веществ и, следовательно, они обладают высокопористой структурой. Поэтому в природном залегании биогенным грунтам присуще избыточно-увлажненное состояние, малая плотность и низкая несущая способность.

Специфичность инженерно-геологических исследований биогенных грунтов в первую очередь объясняется указанными выше факторами, которые требуют иного подхода к решению поставленных задач. Специфика заключается в следующем:

— биогенные грунты обычно обводнены, несущая способность их невелика, участки часто являются труднопроходимыми. Вышеперечисленные факторы затрудняют использование машин для буровых работ и отбора монолитов и проб без нарушения структуры;

— биогенные грунты весьма неоднородны по глубине, простираясь, что вызывает необходимость отбора большого количества проб и монолитов для установления расчетных характеристик, при этом требуются комплексные методы, т.е. определение различными методами, чтобы повысить достоверность полученных результатов;

— отбор проб и монолитов затруднен из-за особенностей строения биогенных грунтов (волокистость, слабые структурные связи, большая сжимаемость и т.д.). В результате часто нарушается структура или даже невозможно отобрать монолит, что может сказаться на достоверности полученных характеристик, поэтому очень важно определять их различными методами;

— лабораторные испытания биогенных грунтов длительны и трудоемки, что значительно сдерживает проектные работы.

Большое значение в снижении трудоемкости и стоимости инженерно-геологических изысканий на участках залегания биогенных грунтов имеют ускоренные методы испытаний в полевых (зондирование, геофизика) и лабораторных условиях. Именно применение в комплексе современных полевых методов в совокупности со стандартными лабораторными позволяет изучить более достоверно физико-механические свойства биогенных грунтов.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Следует отметить, что различные виды биогенных грунтов изучены неодинаково подробно (согласно классификации ТКП 45-5.01-67-2007 [1]).

Так, если торфяные грунты и илы (непогребенные) изучены достаточно подробно для строительства [2–7], то сапропели, мергели, погребенные торфы и заторфованные грунты до настоящего времени исследованы недостаточно (освещены в отдельных работах) [8–14] и, особенно, в комплексе различными методами, что вызывает затруднения при проектировании зданий и сооружений.

Для исследования деформационных характеристик выбирались опытные участки с биогенными грунтами, на которых в комплексе проводились работы по определению физических характеристик, статического зондирования, испытания вертикальной статической нагрузкой (штампы 600–5000 см²) и методом сейсмоакустики. Результаты проведенных работ обрабатывались статистическими методами с выводами корреляционных зависимостей между полученными результатами. Было выбрано 45 участков, а также использовались результаты других исследователей [2–7, 15]. Деформационные характеристики биогенных грунтов тесно связаны с составом и состоянием, т.е. наблюдается устойчивая корреляция между коэффициентом пористости, плотности, влажности и составом грунтов (содержанием органики, СаСО₃, минералогии песчано-глинистых частиц, величины бокового давления). Для определения коэффициента консолидации проводились дополнительные испытания по определению коэффициентов

фильтрации и испытания в одометрах (компрессионные испытания) с обработкой кривых консолидаций по методу Д. Тейлора [4]. Как уже отмечалось, целью работы является определение деформационных характеристик (модуль деформации E , модуль упругости F_y , относительной сжимаемости α , коэффициента сжимаемости α , коэффициента консолидации C_κ , коэффициент фильтрации K_f) для различных видов биогенных грунтов по классификации [1,8,9] и установление их взаимосвязи с физическими и сейсмоакустическими характеристиками. Важно было установить погрешности между прямыми испытаниями (in situ) с косвенными (по физическим, сейсмоакустическим характеристикам, результатами статического зондирования).

МЕТОДЫ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ВДАВЛИВАЮЩЕЙ НАГРУЗКИ (ШТАМПЫ 600–5000 СМ²) ПО ГОСТ 20276–99

Это испытания грунтов естественного залегания, так называемые «прямые» испытания. Для погребенных биогенных грунтов обычно производятся в скважинах различного сечения в зависимости от применяемых штампов. Испытания достаточно дорогие и выполняются как контрольные для конкретных ИГЭ. Однако достоверность может зависеть от качества скважин, возможно нарушение структуры и поэтому часто результаты бывают заниженными. Следовательно, по нашему мнению, требуется сопоставить их с полученными физическими характеристиками и результатами статического зондирования. На рис. 1 приведены характерные результаты испытаний различных видов биогенных грунтов.

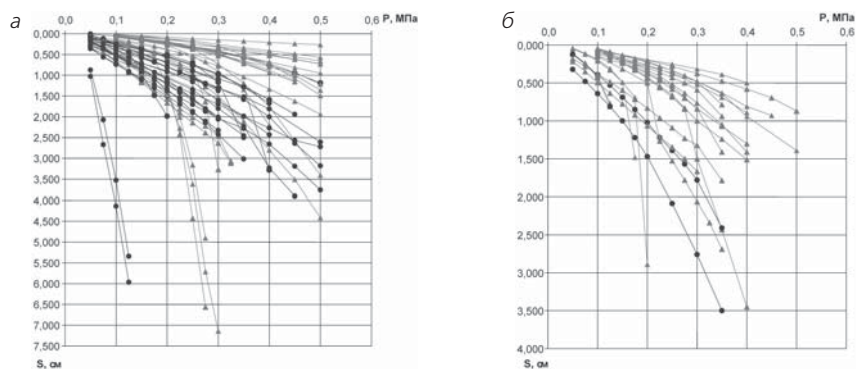


Рисунок 1. Штамповые испытания погребенных биогенных грунтов:
а – мел, мергель; б – торфы, заторфованные (О – 5000; Δ – 600; × – 2500)

Пределы полученных данных для различных видов биогенных грунтов приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Пределы и средние значения штамповых испытаний
погребенных биогенных грунтов**

Вид грунта	Штамп 600 см ²		Штамп 5000 см ²		Статическое зондирование, q _s , МПа
	Пределы измерений при P=0,1-0,3, МПа	Среднее значение, МПа	Пределы измерений при P=0,1-0,3, МПа	Среднее значение, МПа	
Мел, мергель	1,5—18,0	3,1	3,7—14,9	5,7	0,8—5,5
Торфы, заторфованные	1,0—12,5	3,7	1,5—14,0	5,0	0,5—6,0

При нагрузках $p > 0,2$ МПа часто резко нарушается линейность, и осадки штампа могут достигать 20—40 мм.

При испытании штампами 600 см² и 5000 см² наблюдается, что модуль деформации при 5000 см² выше в 1,5—2,0 раза чем при 600 см² при одном и том же интервале нагрузок. Анализ результатов показывает, что чем выше содержание органики, влажности, коэффициент пористости, тем меньше модуль деформации.

МЕТОД СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Статическое зондирование грунтов производим согласно положениям по ГОСТ 19912, ГОСТ 25260 и ТКП 45-5.01-15-2005(02250), в точках, где проводим штамповые испытания и отбираем пробы и монолиты для определения характеристик в лабораторных условиях. Значение удельного сопротивления грунта q_s , (МПа) принималось как среднее значение для исследуемого ИГЭ и сравнивалось с результатами штамповых испытаний и физическими характеристиками грунтов. Характерные графики статического зондирования в биогенных грунтах показаны на рис. 2.

В таблице 2 приведены корреляционные зависимости между q_s (МПа) и модулем деформации и упругости. С уменьшением содержания органики, значение q_s увеличивается, модуль деформации и упругости увеличивается. Содержание карбонатов влияет в меньшей степени, с увеличением влажности модуль деформации и упругости уменьшается.

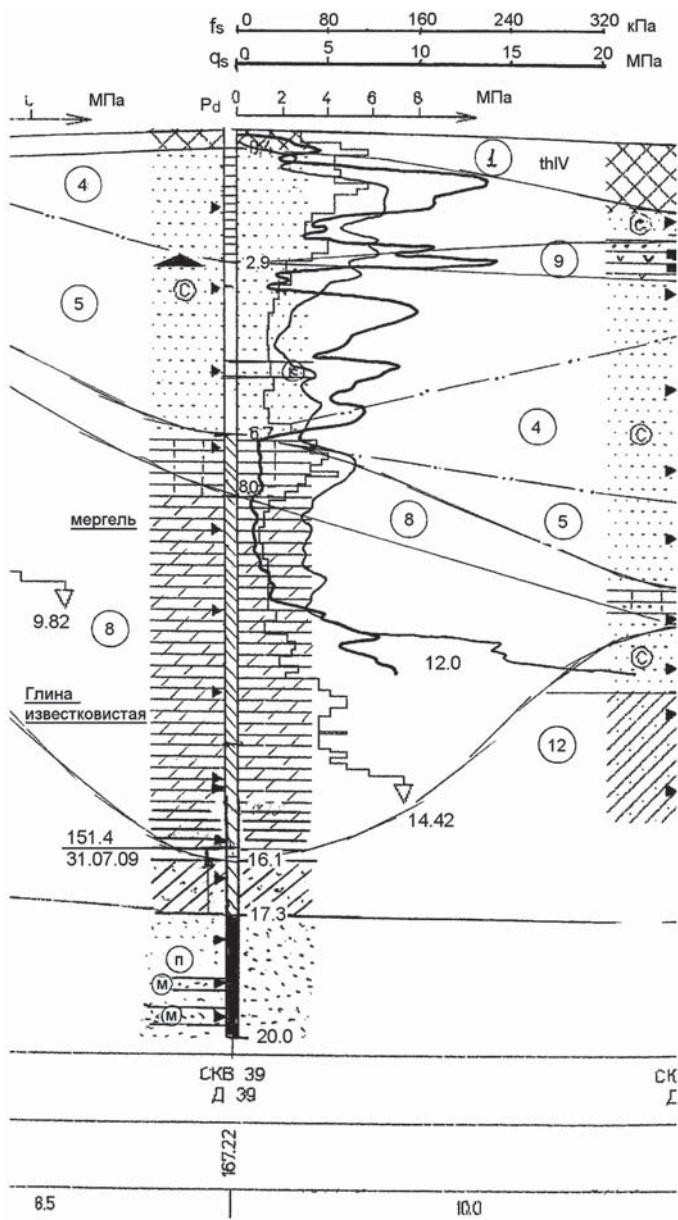


Рисунок 2. Характерный инженерно-геологический разрез

Таблица 2

Взаимосвязь между условным сопротивлением статическому зондированию q_s и модулем деформации E биогенных грунтов (погребенных)

Корреляционные зависимости	Вид грунта	Пределы измерений			Коэффициент вариации, V , %	Коэффициент корреляции, r
		q_s , МПа	e	$I_{om} / CaCO_3$		
$E = \frac{2,5 \cdot \bar{q}_s}{e} + 0,15$, МПа	Глинистые с содержанием органики >10%	0,3—4,0	0,9—6,0	>10%/ <10%	10,5	0,82
$E = \frac{3,6 \cdot \bar{q}_s}{e} + 0,25$	Глинистые с содержанием органики <10%	0,5—7,0	0,8—2,5	<10%/ 5—10%	8,0	0,85
$E = \frac{3,1 \cdot \bar{q}_s}{e} + 0,11$	Мергель, мел	0,5—5,0	0,8—3,0	<10%/ >10%	12,0	0,78
$E = 0,163 \cdot E_y - 0,634$	Биогенные	—	1,0—5,0	5—50%	10,0	0,90

Примечания. Значение E модуля деформации принято в интервале давления $P = 0,1-0,3$ МПа; e — среднее значение коэффициента пористости ИГЭ; q_s — условное сопротивление статическому зондированию; I_{om} — содержание органики; $CaCO_3$ — содержание карбонатных веществ, %; E_y — модуль упругости (интервал 5—25 МПа)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ И МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ПО ФИЗИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Физические характеристики (влажность W , коэффициент пористости, объемный вес и др.) определяем согласно ГОСТ 5180, 10650, 11305, 11306, 20522, 23584, 23740 в точках (местах) испытаний статическим зондированием, штамповых испытаний, количество и частоту отбора образцов выполняли согласно СНБ 1.02.01-96 «Инженерные изыскания для строительства». В таблице 3 приведены основные корреляционные зависимости между деформационными характеристиками и физическими характеристиками. Основное влияние оказывает содержание органики, влажности, коэффициента пористости, в меньшей степени содержание карбонатности.

Таблица 3

Зависимости между деформационными и физическими характеристиками биогенных грунтов

Вид грунта	Пределы измерений	Корреляционные уравнения	Среднеквадратическое отклонение функции	Коэффициент вариации, V , %
Торф (в т.ч. погребенный)	ρ_d , плотность сухого грунта, г/см ³ 0,06–0,21	Модуль упругости $E_y = 1000 \cdot C_d^{2,14}$, 10 ⁵ Па	0,95	9,0
Сапропели ($I_m = 10–50\%$) органики	ρ_d , плотность сухого грунта, г/см ³ 0,08–0,80	Модуль упругости $E_y = 185 \cdot C_d^{1,42}$, 10 ⁵ Па	1,5	11,0
Ил <10% органики	ρ_d , плотность сухого грунта, г/см ³ 0,6–1,3	Модуль упругости $E_y = 222 \cdot C_d^{1,52}$, 10 ⁵ Па	2,2	15,0
Сапропели 10–50% органики	Коэффициент пористости, e , 2–16 при нагрузке P 0,05–0,2 МПа	Относительная осадка $l_p = 0,319 \ln e - 0,277$	0,01	10,0
Мергель, ил	0,9–3,0 МПа	$\lambda_p = \frac{17,5 + 11,6 \cdot e + 5,3 \cdot e^2}{1000}$	0,011	11,0
Биогенные грунты с содержанием органики при $I_m < 10\%$	$e = 0,8–4,0$	Коэффициент уплотнения, $a = 0,0286 \cdot W_2 - 0,0572 \cdot e - 0,4$, 10 ⁻⁵ Па	—	10,0
При $I_m > 10\%$	$e = 4–10$	Коэффициент уплотнения, $a = 1,02 \cdot e - 2$, 10 ⁻⁵ Па	—	12,0

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЕЙ УПРУГОСТИ И ДЕФОРМАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Измерения осуществляли станцией Поиск-1-6/12 АСМ-ОВ», УКБ-1 м, «Дельта-ГЕОН-02» по методике приведенной в работе [17].

Испытания производили в точках (местах) испытаний штампом, статическим зондированием, определения физических характеристик. В таблице 4 приведены корреляционные зависимости определения по

данным сейсмоакустики модулей деформации, упругости. На рис. 3 приведена номограмма для определения акустической жесткости, модуля упругости по скоростям упругих волн, плотности грунта и относительной осадки.

Таблица 4

Взаимосвязь между сейсмическими характеристиками и деформационными характеристиками биогенных грунтов

Физико-механические показатели и вид грунта	Пределы измерений, г/см ³	Корреляционные уравнения	Среднеквадратичное отклонение функции	Корреляционное отношение и коэффициент корреляции
Торф, Плотность сухого грунта, r_d , г/см ³ , модуль упругости, МПа	0,06—0,25	$V_s = 178 \cdot r_d - 1,5$, м/с; $\rho_d = \frac{V_s + 1,5}{178}$, т/см ³ $E_y = 100 \cdot \rho_d^{2,14}$, МПа	1,34 0,95	0,97 0,91
Сапропели, мергели Плотность сухого грунта	0,10—1,3	$V_s = 60 \cdot r_d - 12$, м/с; $\rho_d = \frac{V_s + 12}{60}$, т/см ³	1,40	0,89
Модуль деформации биогенные грунты	$I_m = 10—50\%$	$E = 0,226 \cdot \ln(E_y) + 0,448$, МПа	0,2	0,80
Акустическая жесткость ($R_a = r_d \cdot V_s$) торф	$r_d = 0,1—0,25$	$R_a = \frac{V_s + 1,8}{178} V_s$, тс/с·м ²	—	0,78
Сапропель, мергель	$r_d = 0,1—1,3$	$R_a = \frac{V_s + 8}{60} V_s$, тс/с·м ²	—	0,75

Примечание. ρ_d — плотность грунта; V_s — скорость поперечной волны, м/с.

Таким образом, в результате мы определяем деформационные характеристики различными методами, что дает возможность контролировать случайные ошибочные результаты и значительно повышает надежность измерений.

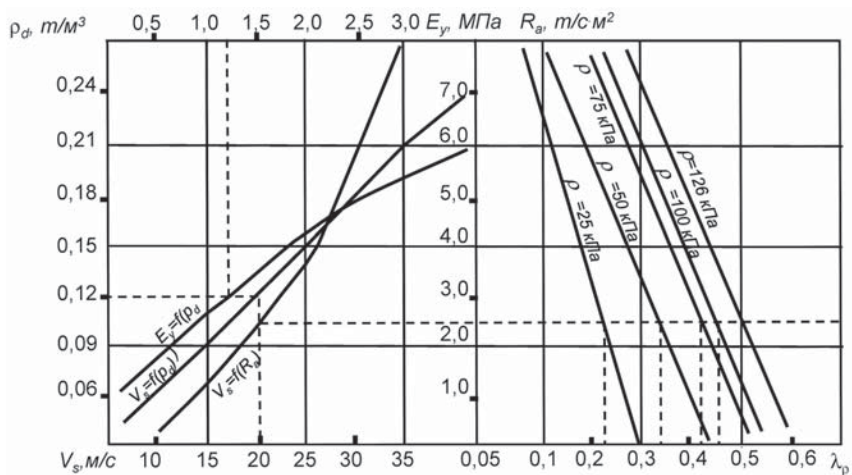


Рисунок 3. Номограмма для определения по скорости поперечной волны модуля упругости E_y , плотности сухого грунта ρ_d , акустической жесткости R_a , относительной осадки λ_p

Анализ результатов измерений показывает, что скорости поперечных волн с увеличением содержания органики, влажности, коэффициента пористости уменьшается, а, следовательно, и модуль деформации и упругости.

МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БИОГЕННЫХ ГРУНТОВ

При проектировании и расчете деформаций фундаментов важно не только достоверно определение деформационных характеристик биогенных грунтов, но и возможность улучшения этих характеристик, применяя определенные технологические мероприятия.

Если биогенные грунты находятся с поверхности, то возможна их замена минеральными грунтами (песок) с уплотнением и армированием. Другое дело, если биогенные грунты (погребенные) находятся на глубине более чем 3 м. В этом случае возможно применение пригрузки временной насыпью (если погребенные грунты находятся на глубине до 5 м), что дает возможность уменьшить влажность и увеличить плотность грунта или произвести вертикальное армирование (до глубины 10 м) сваями различного сечения из материала более прочного, чем слабый слой. Методы и технологические мероприятия отражены в работах П.А. Коновалова, В.Н. Яромко [4,6].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расчет оснований фундаментов по деформациям является важнейшим показателем, который определяет надежность эксплуатации здания. Следовательно, требования к определению деформационных характеристик грунтов основания должны быть достоверными, а это достигается в процессе испытаний грунтов различными методами, которые позволяют контролировать случайные ошибки одного из методов испытаний, что позволит получить характеристики (модуль деформации, относительную осадку, модуль упругости и др.) более достоверными.

Список цитированных источников

1. Фундаменты плитные. Правила проектирования: ТКП 45-5.01-67-2007. — Введ. 01.09.07. — Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2008. — 136 с.
2. *Евгеньев, И.Е.* Земляное полотно автомобильных дорог на слабых грунтах / И.Е. Евгеньев, В.Д. Казарновский. — М.: Транспорт, 1976. — 221 с.
3. *Амарян, А.Е.* Прочность и деформативность торфяных грунтов / А.Е. Амарян. — М.: Недра, 1969. — 190 с.
4. *Коновалов, П.А.* Строительство сооружений на заторфованных территориях / П.А. Коновалов. — М.: Стройиздат, 1995. — 344 с.
5. Расчет дорожных насыпей на болотных грунтах: РСН 09-85. — Введ. 19.11.85. — Минск: Госстрой БССР, 1985. — 80 с.
6. *Яромко, В.Н.* Дорожные насыпи на биогенных грунтах: Науч. основы ускор. методов проектирования и стр-ва / В.Н. Яромко. — Минск, 1998. — 400 с.
7. *Сеськов, В.Е.* Биогенные грунты Белоруссии и использование их в качестве оснований зданий и сооружений / В.Е. Сеськов. — Минск: БелНИИТИ, 1989. — 52 с.
8. *Сеськов, В.Е.* О классификации биогенных грунтов Белоруссии для целей строительства / В.Е. Сеськов // Эффективные строительные конструкции зданий и сооружений: сб. науч. тр. / БелНИИС. — Минск, 1995. — С. 117—125.
9. *Сеськов, В.Е.* Определение коэффициента консолидации биогенных грунтов по физическим характеристикам / В.Е. Сеськов // Пространственные конструктивные системы зданий и сооружений, методы расчета и технология возведения: труды Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 10—12 октября 2002 г. — Минск, 2002.
10. *Сеськов, В.Е.* Физико-механические характеристики погребенных биогенных грунтов / В.Е. Сеськов // Современные архитектурно-конструктивные системы зданий и сооружений, новые строительные материалы и технологии: Сб. науч. тр. / БелНИИС. — Минск, 2000. — С. 119—128.

11. *Сеськов, В.Е.* Динамические характеристики биогенных грунтов / В.Е. Сеськов, С.Д. Шныпко // Пространственные конструктивные системы зданий и сооружений, методы расчета и технология возведения: тр. Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 10—12 октября 2002 г. — Минск, 2002.
12. *Сеськов, В.Е.* Деформационные характеристики погребенных биогенных грунтов / В.Е. Сеськов // Строительная наука и техника. — 2005. — № 2.
13. *Сеськов, В.Е.* Методы сейсмоакустики для исследования физико-механических характеристик биогенных грунтов / В.Е. Сеськов // Строительная наука и техника. — 2006. — № 4. — С. 73—80.
14. *Сеськов, В.Е.* Некоторые результаты исследования физико-механических характеристик мергельно-меловых отложений Беларуси / В.Е. Сеськов, О.А. Лажевич, В.Н. Лях // Строительная наука и техника. — 2010. — № 6.
15. *Рубинштейн, А.Я.* Инженерно-геологические особенности сапропелевых отложений / А.Я. Рубинштейн. — М.: Недра, 1971.
16. Проектирование и устройство техногенных геомассивов из песчано-гравийных и щебеночных свай.: П6-2000 к СНБ 5.01.01-99. — Введ. 01.01.02. — Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2002. — 33 с.
17. *Заборов, В.И.* Динамические свойства грунтов и их влияние на передачу вибрации здания / В.И. Заборов, В.Е. Сеськов. — Инженерная геология. — 1985. № 5. — с. 54—60.

Получено 08.10.12 г.