

Планирование эксперимента по определению теплопроводности песчаных грунтов на основе гранулометрического состава

УДК 692.115

Захаров Александр Викторович

Канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительное производство и геотехника», ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (г. Пермь); e-mail: miks@pstu.ru

Маховер Станислав Эдуардович

Магистрант кафедры «Строительное производство и геотехника», ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (г. Пермь); e-mail: spymix90@gmail.com

Статья получена: 18.11.2018. Рассмотрена: 21.11.2018. Одобрена: 31.11.2018. Опубликовано онлайн: 26.12.2018. ©РИОР

Аннотация. Рассматривается проблематика для проведения лабораторных исследований в целях получения зависимости теплопроводности грунта от гранулометрического состава. Выработана технологическая последовательность проведения эксперимента.

Представлена последовательность планирования экспериментального исследования и порядок анализа полученных данных. Определена модель исследования в виде уравнения регрессии, составлена матрица планирования эксперимента. В ходе испытаний планируется получить зависимость теплопроводности песчаного грунта от изменения его гранулометрического состава 0,5; 0,25; 0,1, а также зависимость различной плотности и влажности исследуемого образца.

Ключевые слова: планирование эксперимента, теплопроводность, теплофизика грунтовых оснований, уравнение регрессии, гранулометрический состав.

Основной задачей в области теплообмена внутри твердых тел является задача нахождения температурного поля в них. Температурным полем называется совокупность мгновенных значений температуры во всех точках исследуемого объекта или распределение температуры во времени и в объеме. Задача нахождения температурного поля в теле состоит в определении температуры в любой точке тела в любой момент времени. Существенное влияние на распределение температурных полей в теле оказывают его теплофизические характеристики.

Работа направлена на исследование закономерности теплофизических характеристик песчаных грунтов различного гранулометрического состава при изменении таких параметров как влажность, плотность.

На сегодняшний день дана оценка сходимости натурального метода определения теплопроводности песчаных грунтов с расчетными методами [1].

DESIGN OF EXPERIMENTS AIMED AT THE DETERMINATION OF THE THERMAL CONDUCTIVITY OF SANDY SOIL BASED ON GRAIN-SIZE COMPOSITION

Zakharov Alexander

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Perm National Research Polytechnic University, Perm;
e-mail: miks@pstu.ru

Makhover Stanislav

Master's Degree Student, Perm National Research Polytechnic University, Perm;
e-mail: spymix90@gmail.com

Manuscript received: 18.11.2018. **Revised:** 21.11.2018. **Accepted:** 31.11.2018. **Published online:** 26.12.2018. ©РИОР

Abstract. The article is focused on laboratory research in order to obtain the thermal conductivity of the soil, depending on the grain-size composition. The technological sequence of the experiment has been developed. The sequence of planning the experimental research and the order of analysis of the data obtained are presented. The research model has been defined in the form of a regression equation, an experiment planning matrix has been compiled. During the tests, it is planned to obtain the dependence of the thermal conductivity of sandy soil on the change in its particle size distribution of 0.5; 0.25; 0,1, and also the dependence of various density and humidity of the studied sample.

Keywords: design of experiments, thermal conductivity, thermal physics of earth foundation, regression equation, grain-size composition.

В связи с тем, что отечественные нормы в части определения теплофизических свойств не распространяются на грунты, поэтому актуален вопрос возможности применения методов для теплоизоляционных материалов.

Данная проблематика была изучена путем проведения лабораторных исследований в целях получения зависимости теплопроводности грунта от его физических свойств — влажности и плотности для конкретного типа песчаных грунтов. [2]

По изученному анализу можно сделать выводы, что данные методы дают широкое представление о теплофизических свойствах инертных материалов с последующим на их основе практическим применением в области строительства, но ни один из них не учитывает гранулометрический состав.

Таким образом, проведение исследования в целях определения зависимости теплопроводности от гранулометрического состава грунта с последующим проведением натурального эксперимента, результаты которого позволяют получить искомую зависимость, является актуальным.

Работа находит свое практическое применение в энергоэффективных фундаментах. Проблематика была описана А.В. Захаровым и А.Б. Пономаревым в работе «Анализ взаимодействия прогрессивных конструкций энергетических фундаментов с грунтовым массивом» и «Энергоэффективные конструкции в подземном строительстве».

Искомая зависимость позволит на ранних этапах оценить возможность применения энергоэффективных фундаментов без проведения сложных геологических и лабораторных исследований грунтов, только по ранее сделанному отчету по инженерно-геологическим изысканиям.

При планировании эксперимента предлагается провести лабораторные исследования на материально-технической базе лаборатории кафедры «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета.

В настоящее время разработан план проведения исследования.

В эксперименте в качестве объекта исследования будут использоваться искусственно при-

готовленные образцы песчаного грунта. Входными параметрами приняты:

X_1 — плотность ρ ,

X_2 — влажность W , предполагается варьировать в пределах 4–12%.

Выходной параметр: коэффициент теплопроводности — λ .

Планируется проведение трех серий экспериментов для получения отдельных зависимостей для трех фракций песчаного грунта 0,5; 0,25; 0,1 мм.

На основании анализа ранее проводимых исследований [1–3] предварительно принято уравнение регрессии второго порядка:

$$\lambda = a_0 X_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_{11} X_1^2 + a_{22} X_2^2 + a_{12} X_1 X_2, (1)$$

где X_0 — свободный член, $X_0 = 1$; X_1 — плотность грунта; X_2 — влажность грунта; $a_0, a_1, a_2, a_{11}, a_{22}, a_{12}$ — коэффициенты уравнения регрессии.

Истинное значение нулевого уровня находится как половина суммы верхнего и нижнего уровня фактора.

Интервал варьирования определяется как половина разницы между верхним и нижним пределом истинных значений фактора. Причем верхний уровень фактора равен (+1), нижний — (–1), а основной — нулю.

План каждого эксперимента представлен в табл. 1.

Таблица 1

Матрица планирования эксперимента

№ эксперимента	Значения факторов				Значения откликов
	Плотность		Влажность		
	Кодированное значение	Истинное значение, т/м ³	Кодированное значение	Истинное значение, %	Теплопроводность
	x_1	X_1	x_2	X_2	
1	–1	1,73	–1	4	λ_1
2	–0,5	1,81	–1	4	λ_2
3	0	1,82	–1	4	λ_3
4	0,5	1,86	–1	4	λ_4
5	1	1,89	–1	4	λ_5
6	–1	1,73	0	8	λ_6
7	–0,5	1,81	0	8	λ_7

Окончание табл. 1

№ эксперимента	Значения факторов				Значения откликов
	Плотность		Влажность		
	Кодированное значение	Истинное значение, т/м ³	Кодированное значение	Истинное значение, %	Теплопроводность
	x_1	X_1	x_2	X_2	
8	0	1,82	0	8	λ_8
9	0,5	1,86	0	8	λ_9
10	1	1,89	0	8	λ_{10}
11	-1	1,73	1	12	λ_{11}
12	-0,5	1,81	1	12	λ_{12}
13	0	1,82	1	12	λ_{13}
14	0,5	1,86	1	12	λ_{14}
15	1	1,89	1	12	λ_{16}

Кодированное значение фактора равно:

$$x_i = X_i - X_0/\Delta_i$$

где x_i — кодированное значение фактора; X_i — истинное значение фактора; X_0 — истинное значение нулевого уровня; Δ_i — интервал варьирования фактора.

Для определения теплопроводности будет использован прибор МИТ-1. Образцы будут приготовлены по ГОСТ 22733-2002 «Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности» с заданной плотностью и влажностью. Гранулометрический состав песчаных грунтов по ГОСТ 12536-2014. Результаты экспериментов планируется обработать методами математической статистики.

Таким образом, выполнено планирование эксперимента в целях построения уравнения зависимости теплопроводности от гранулометрического состава грунта. Выбрана технологическая последовательность выполнения эксперимента. В дальнейшем в ходе испытаний планируется получить зависимость теплопроводности песчаного грунта от изменения его гранулометрического состава 0,5; 0,25; 0,1, а также от плотности и влажности исследуемого образца.

Литература

1. Медведев Д.П. Планирование эксперимента по определению теплопроводности песчаных грунтов экспериментальными методами [Текст] / Д.П. Медведев, А.В. Захаров // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Серия «Урбанистика». — 2014. — Вып. 4. — С. 109–115.
2. Медведев Д.П. Анализ сходимости результатов натурального измерения, теплопроводности песчаного грунта с зарубежными расчетными методами [Текст] / Д.П. Медведев, А.В. Захаров // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Серия «Строительство и архитектура». — 2014. — Вып. 4 — С. 129–137.
3. Захаров А.В. Энергоэффективные конструкции в подземном строительстве [Текст]: учеб. пособие для вузов / А.В. Захаров, А.Б. Пономарев, А.В. Машенко. — Пермь: Изд-во Перм. нац. иссл. политехн. ун-та, 2012. — 127 с.
4. Захаров А.В. Анализ взаимодействия прогрессивных конструкций энергетических фундаментов с грунтовым массивом в геологических условиях г. Перми [Текст] / А.В. Захаров // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Серия «Политематическая». — 2011. — Вып. 4.

References

1. Medvedev D.P., Zakharov A.V. Planirovanie eksperimenta po opredeleniyu teploprovodnosti peschanykh gruntov eksperimental'nymi metodami [Planning an experiment to determine the thermal conductivity of sandy soils by experimental methods]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Seriya: Urbanistika* [Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Series: Urban Studies]. 2014, I. 4, pp. 109–115.
2. Medvedev D.P., Zakharov A.V. Analiz skhodimosti rezul'tatov naturnogo izmereniya, teploprovodnosti peschanogo grunta s zarubezhnymi raschetnymi metodami [Analysis of the convergence of the results of full-scale measurement, thermal conductivity of sandy soil with foreign computational methods]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura* [Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Series: Building and Architecture]. 2014, I. 4, pp. 129–137.
3. Zakharov A.V., Ponomarev A.B., Mashchenko A.V. *Energoeffektivnye konstruksii v podzemnom stroitel'stve* [Energy efficient structures in underground construction]. Perm': Perm. nats. issled. politekhn. un-t Publ., 2012. 127 p.
4. Zakharov A.V. Analiz vzaimodeystviya progressivnykh konstruksiy energeticheskikh fundamentov s gruntovym massivom v geologicheskikh usloviyakh g. Permi [Analysis of the interaction of progressive constructions of energy foundations with a soil massif in the geological conditions of the city of Perm]. *Internet-vestnik VolgGASU. Ser.: Politematicheskaya* [VolgGASU E-Bulletin. Ser.: Polythematic]. 2011, I. 4.