

Е.Г. МАЛЯВИНА¹, канд. техн. наук (email@list.ru), Е.А. ГНЕЗДИЛОВА¹, инженер;
Ю.Н. ЛЕВИНА², научный сотрудник

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

² Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

Расчетное сопротивление теплопередаче полов по грунту при современных способах теплозащиты

Целью статьи является разработка расчетных показателей полов по грунту, согласующихся с использованием традиционной методики расчета теплопотерь «по зонам», для двух современных конструкций теплозащиты при различных типах грунтов. Результат достигается расчетом нестационарного годового теплового режима грунта вместе с конструкциями здания, лежащими на грунте. Расчет выполняется методом конечных разностей. Для моделирования многолетнего двумерного температурного поля грунта и создания начальных температурных условий, близких к средним многолетним условиям, сначала расчет годового теплового режима грунта вместе с конструкцией здания выполнялся по климатическим данным среднего «типового» года, а затем рассчитывалось изменяющееся в течение года температурное поле по данным расчетного «типового» года. В статье рассмотрена задача утепления подземной части цокольной стены и наружной поверхности подсыпки под здание при различных сопротивлениях теплопередаче утепления, высоте подсыпки под полом и типах грунта. На величину теплопотерь пола по грунту оказывают влияние все рассмотренные факторы: сопротивление теплопередаче утепления, глубина утепления стены, высота подсыпки под здание, тип грунта, на котором стоит здание.

Ключевые слова: теплопотери, теплопроводность грунта, теплоемкость грунта, средний «типовой» год, расчетный «типовой» год, утепление подземной части наружной стены, утепление наружной поверхности подсыпки под здание, сопротивление теплопередаче утепления, глубина утепления стены, высота подсыпки.

Для цитирования: Мальявина Е.Г., Гнездилова Е.А., Левина Ю.Н. Расчетное сопротивление теплопередаче полов по грунту при современных способах их теплозащиты // *Строительные материалы*. 2019. № 6. С. 44–48.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-771-6-44-48>

E.G. MALYAVINA¹, Candidate of Sciences (Engineering) (email@list.ru), E.A. GNEZDILOVA¹, Engineer; Yu.N. LEVINA², Research Scientist

¹ National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

² Research Institute of Building Physics of RAACS (21, Lokomotivnyy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

Development of Calculated Resistances to Heat Transfer of Floors via the Ground Using Modern Methods of Their Thermal Protection

The aim of the article is to develop the calculated parameters of the floors on the ground, consistent with the use of traditional methods of calculating heat loss “by zones” for two modern designs of thermal protection for different types of soils. The result is achieved by calculating the unsteady annual thermal regime of the soil together with the structures of the building lying on the ground. The calculation is performed by the finite difference method. For modeling of long-term two-dimensional temperature field of soil and creation of initial temperature conditions close to average long-term conditions, at first, the calculation of the annual thermal regime of the soil together with the construction of the building was carried out according to the climatic data of the average “typical” year, and then the temperature field changing during the year according to the calculated “standard” year was calculated. The article deals with the problem of heat insulation of the underground part of the socle wall and the outer surface of the earth filling under the building at different resistance of heat insulation to heat transfer, the height of the filling under the floor and the types of soil. The value of the heat loss of the floor via the ground is influenced by all the factors considered: the resistance of heat insulation to heat transfer, the depth of heat insulation of the wall, the height of the earth filling under the building, the type of soil on which the building stands.

Keywords: heat loss, thermal conductivity of soil, heat capacity of soil, average “typical” year, estimated “typical” year, heat insulation of underground part of outer wall, heat insulation of outer surface of earth filling under building, resistance of insulation to heat transfer, depth of wall heat insulation, height of earth filling.

For citation: Malyavina E.G., Gnezdilova E.A., Levina Yu.N. Development of calculated resistances to heat transfer of floors via the ground using modern methods of their thermal protection. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 6, pp. 44–48. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-771-6-44-48>

Вопросу расчета теплопотерь через конструкции, лежащие на грунте, были посвящены публикации как в зарубежной [1–4], так и в российской литературе [5–13]. В упомянутых работах описаны методики расчета теплопотерь различной точности, однако все они ориентированы на традиционные конструкции утепления самого пола. Актуальность разработки метода расчета теплопотерь через полы по грунту обоснована необходимостью учета особенностей современной теплозащиты зданий, которые включают в себя новые конструкции, не под-

дающиеся расчету по существующим методикам. Необходимо учитывать также тенденцию строительства энергоэффективных зданий, существенно влияющую на реальную картину теплопотерь через полы по грунту тем, что их теплозащита выросла в 3–3,5 раза по сравнению с традиционными способами утепления.

В [14] была представлена методика расчета теплопотерь через полы по грунту с современными конструкциями утепления. Для ее разработки выполнены расчеты нестационарного годового теплового

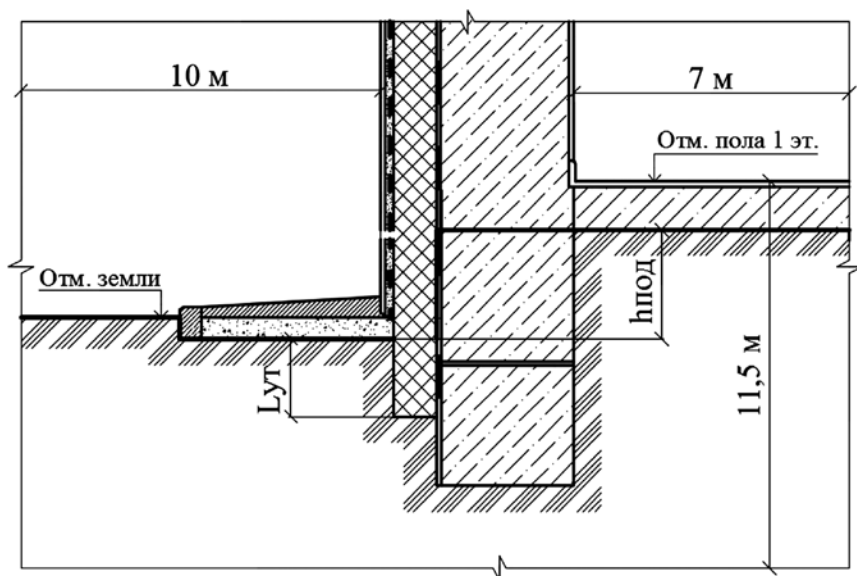


Рис. 1. Рассматриваемая область массива грунта вместе с конструкциями пола по грунту

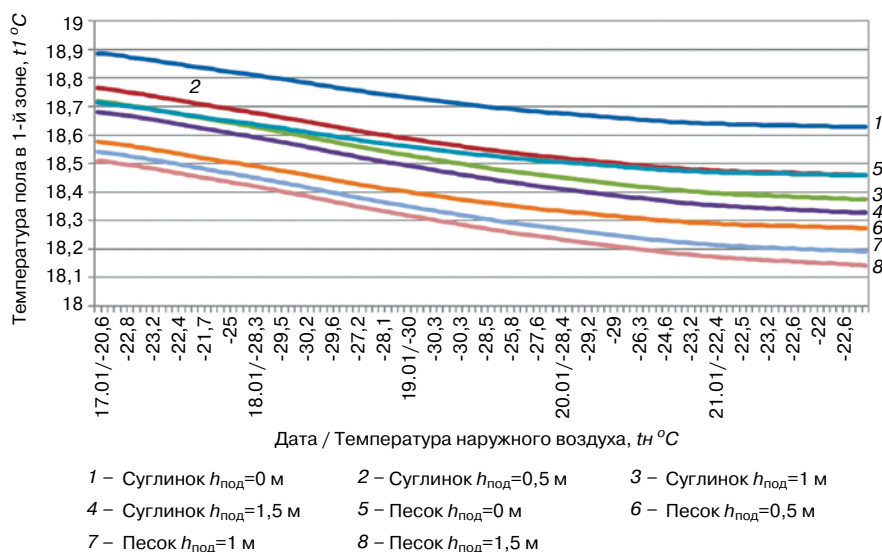


Рис. 2. Изменение температуры в первой расчетной зоне пола по грунту при разных типах грунта и высоте подсыпки при утеплении торца подсыпки и подземной части цокольной стены с $R_{\text{ст}}=0,83 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$

режима полов в климатических условиях, соответствующих средним многолетним значениям температуры наружного воздуха, скорости ветра и интенсивности суммарной солнечной радиации в виде среднего «типичного» года [15].

Целью предлагаемой статьи является разработка расчетных сопротивлений теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, полов по грунту во всех расчетных зонах, согласующихся с дальнейшим применением их в традиционной методике «по зонам», для двух конструкций теплозащиты с учетом годового нестационарного теплового режима различных типов грунтов, формирующегося в климатических условиях расчетного «типичного» года.

Методика расчета. Если средний «типичный» год содержит в себе почасовые данные о перечисленных

выше параметрах наружной среды, приближающихся в каждом месяце года к своим средним многолетним значениям, то расчетный «типичный» год [16] построен так, что месяцы декабрь, январь, февраль и март имеют наименьшую за время наблюдений с 1981 по 2010 гг. среднюю за месяц условную температуру наружной среды. Условная температура, являясь комплексным показателем, позволяет сформировать наиболее точное температурное поле грунта. В месяцы с июня по сентябрь средняя за месяц условная температура близка к средней многолетней температуре. Январь включает в себя наиболее холодную пятидневку с температурой наружного воздуха, равной $t_5=-25,92^\circ\text{C}$, т. е. близкой к нормативной СП 131.13330.2012 «Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23–01–99*» расчетной температуре $t_5=-25^\circ\text{C}$.

Для моделирования многолетнего температурного поля грунта и создания начальных температурных условий, близких к средним многолетним условиям, сначала расчет годового теплового режима грунта вместе с конструкцией здания, соприкасающейся с грунтом, выполнялся по климатическим данным среднего «типичного» года, а затем рассчитывалось изменяющееся в течение года температурное поле по данным расчетного «типичного» года.

Для решения задачи принято двумерное температурное поле грунта вместе с прилегающими к нему ограждающими конструкциями, моделирующее поперечный разрез здания по оси симметрии. Расчет выполняется методом конечных разностей по неявной схеме с использованием локально-одномерного метода для приведения одномерной задачи к двумерной.

Описание задачи. В настоящей статье рассмотрена задача утепления подземной части наружной стены и наружной поверхности подсыпки под здание при различных сопротивлениях теплопередаче утепления высоте подсыпки под полом при различном сопротивлении теплопередаче утепления стены и подсыпки и типах грунта. Рассматриваемая область грунта принята таким образом, чтобы пол по грунту охватывал три расчетные зоны по 2 м и по-

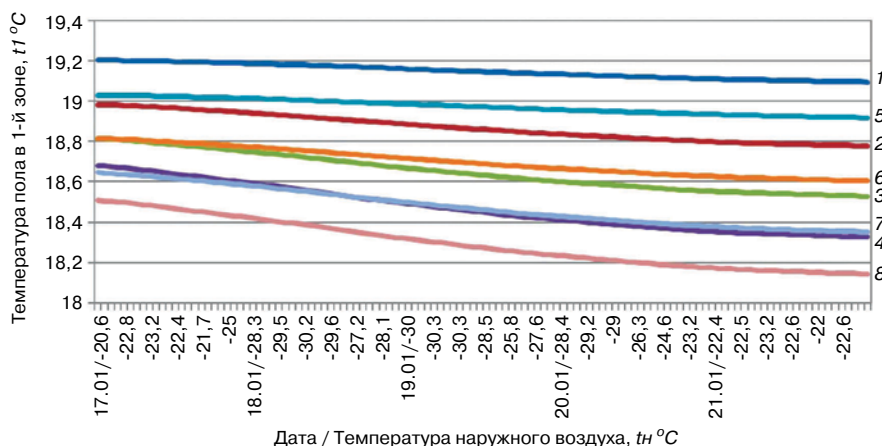
ловину четвертой зоны. На всех границах грунта (справа, слева и снизу) принято условие отсутствия теплового потока, что отражено в [14].

Расчет проводился для полов, лежащих на грунте вровень с уровнем земли, а также для полов, лежащих на подсыпке высотой ($h_{\text{под}}$): 0,5; 1 и 1,5 м. Для пола без подсыпки были рассмотрены конструкции утепления подземной части стены на глубину ($L_{\text{ст}}$), равную 1; 1,7 и 2,3 м. Для полов на подсыпке утепление наружной стены было заглублено на 0,1 м. Во всех случаях были рассмотрены четыре вида утепления стены и подсыпки с сопротивлением теп-лопередаче, равным 0,83; 1,11; 1,67 и 3,33 м²·°C/Вт. Все размеры указаны на рис. 1.

Результаты расчета. Полученные результаты расчета отражают процесс нестационарной теплопередачи в грунте.

Так как значение температуры пола в зонах со второй по четвертую в течение всего отопительного периода остается на достаточно высоком уровне, удовлетворяя нормативным требованиям ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях», для представления была выбрана первая зона, демонстрирующая минимальные значения температуры. Изменение средней по площади зоны температуры пола в пер-

вой расчетной зоне в течение холодной пятидневки показано на рис. 2 для различных типов грунта и разной высоты подсыпки при одинаковом сопротивлении теплопередаче утепления стены и подсыпки, равном 0,83 м²·°C/Вт. Анализ результатов показал, что значение теплотеря увеличивается с увеличением высоты подсыпки и теплопроводности грунта. Интересно, что, несмотря на высокое значение теплопроводности песка по сравнению с супесями и суглинками для песчаных грунтов при малой высоте подсыпки наблюдается более плавное понижение температуры пола по сравнению с остальными вари-



- 1 – Суглинок $R_{\text{гр}}=3,32$ (м²·°C)/Вт
- 2 – Суглинок $R_{\text{гр}}=1,67$ (м²·°C)/Вт
- 3 – Суглинок $R_{\text{гр}}=1,11$ (м²·°C)/Вт
- 4 – Суглинок $R_{\text{гр}}=0,83$ (м²·°C)/Вт
- 5 – Песок $R_{\text{гр}}=3,32$ (м²·°C)/Вт
- 6 – Песок $R_{\text{гр}}=1,67$ (м²·°C)/Вт
- 7 – Песок $R_{\text{гр}}=1,11$ (м²·°C)/Вт
- 8 – Песок $R_{\text{гр}}=0,83$ (м²·°C)/Вт

Рис. 3. Изменение температуры в первой расчетной зоне пола по грунту на подсыпке высотой 1,5 м при разных типах грунта и уровнях утепления торца подсыпки и подземной части стены

Таблица 1

Расчетные значения сопротивления теплопередаче полов по грунту при утеплении подсыпки различной высоты при различных типах грунтов

№ п.п	Высота подсыпки пола, м	Сопротивление теплопередаче утепления, м ² ·°C/Вт	Сопротивление теплопередаче, м ² ·°C/Вт, пола по грунту при типах грунта											
			суглинок				супесь				песок			
			в расчетных зонах											
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	0,5	3,33	5,6	14,88	21,06	22,78	5,32	13,44	19,1	20,76	4,56	9,83	13,76	15,04
2	0,5	1,67	4,55	14,34	20,78	22,58	4,37	12,96	18,84	20,57	3,86	9,51	13,57	14,89
3	0,5	1,11	3,93	13,93	20,56	22,42	3,8	12,58	18,63	20,41	3,41	9,25	13,4	14,76
4	0,5	0,83	3,52	13,61	20,39	22,3	3,41	12,3	18,46	20,29	3,1	9,05	13,27	14,66
5	1	3,33	5,93	14,96	20,99	22,72	5,65	13,52	19,01	20,67	4,86	9,92	13,68	14,93
6	1	1,67	4,52	14,04	20,51	22,38	4,36	12,69	18,56	20,34	3,88	9,36	13,34	14,67
7	1	1,11	3,78	13,39	20,16	22,13	3,66	12,1	18,22	20,09	3,32	8,94	13,07	14,46
8	1	0,83	3,32	12,91	19,88	21,93	3,23	11,67	17,95	19,89	2,96	8,63	12,86	14,3
9	1,5	3,33	6,29	15,36	21,16	22,84	6,01	13,88	19,14	20,75	5,18	10,17	13,74	14,94
10	1,5	1,67	4,52	13,93	20,4	22,31	4,37	12,6	18,42	20,23	3,92	9,31	13,21	14,54
11	1,5	1,11	3,69	13,02	19,87	21,93	3,58	11,76	17,91	19,86	3,27	8,73	12,82	14,23
12	1,5	0,83	3,2	12,38	19,47	21,64	3,12	11,18	17,53	19,57	2,87	8,3	12,52	14

Таблица 2

Расчетные значения сопротивлений теплопередаче полов по грунту при утеплении стены в грунте на различную глубину при различных типах грунтов

№ п.п	Глубина утепления стены, м	Сопротивление теплопередаче утепления, $m^2 \cdot ^\circ C / Bt$	Сопротивление теплопередаче, $m^2 \cdot ^\circ C / Bt$, пола по грунту при типах грунта											
			суглинок				супесь				песок			
			в расчетных зонах											
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	1	3,33	5,01	14,59	21,01	22,78	4,77	13,17	19,06	20,77	4,1	9,61	13,72	15,04
2	1	1,67	4,4	14,29	20,85	22,66	4,21	12,9	18,91	20,66	3,69	9,43	13,61	14,96
3	1	1,11	3,98	14,05	20,72	22,57	3,83	12,68	18,78	20,56	3,41	9,28	13,51	14,88
4	1	0,83	3,6	13,94	20,66	22,5	3,48	12,59	18,73	20,51	3,14	9,23	13,48	14,85
5	1,7	3,33	6,95	16,42	21,84	23,31	6,59	14,86	19,88	21,31	5,55	10,84	14,4	15,52
6	1,7	1,67	5,45	15,65	21,49	23,08	5,23	14,17	19,55	21,08	4,58	10,38	14,15	15,34
7	1,7	1,11	4,64	15,1	21,23	22,9	4,48	13,67	19,3	20,91	4	10,04	13,95	15,19
8	1,7	0,83	4,02	14,79	21,07	22,78	3,9	13,39	19,15	20,79	3,54	9,85	13,85	15,11
9	2,3	3,33	7,69	17,35	22,26	23,58	7,32	15,75	20,31	21,59	6,2	11,54	14,77	15,79
10	2,3	1,67	5,75	16,25	21,79	23,27	5,54	14,76	19,85	21,28	4,9	10,86	14,42	15,53
11	2,3	1,11	4,79	15,53	21,45	23,04	4,64	14,09	19,53	21,06	4,18	10,4	14,17	15,35
12	2,3	0,83	4,11	15,1	21,24	22,88	4	13,71	19,32	20,9	3,65	10,13	14,02	15,23

антами. То же явление наблюдается при различном по сопротивлению теплопередаче и заглублению утепления конструкций стены, соприкасающихся с грунтом (рис. 3).

Сопротивление теплопередаче в расчетных зонах было определено по максимальной величине теплопотерь за отопительный период и разности температуры внутреннего воздуха $20^\circ C$ и нормативной температуры наиболее холодной пятидневки $-25^\circ C$. Предлагаемые значения сопротивления теплопередаче расчетных зон полов по грунту представлены в табл. 1 и 2.

Полученные значения демонстрируют превышение сопротивления теплопередаче в расчетных зонах по сравнению с нормативными сопротивлениями практически для обоих способов утепления и вариантов подсыпки: в 1,5–3,7 раза для первой зоны; в 2,6–4 раза для второй зоны; 1,5–2,6 раза для третьей зоны; в 1–1,5 раза для четвертой зоны по сравнению с неутепленным полом в стандартной методике. Сопротивление теплопередаче пола оказалось меньше рекомендованного стандартного значения лишь для четвертой зоны при расчете пола на подсыпке 1,5 м в песчаном грунте при сопротивлении теплопередаче утепления $0,83 m^2 \cdot ^\circ C / Bt$ (12 вариант расчета в табл. 1). Т. е. расчет по стандартной методике может

приводить к занижению теплопотерь в средней части здания.

Выводы.

1. На величину теплопотерь пола по грунту оказывают влияние все рассмотренные факторы: сопротивление теплопередаче утепления; глубина утепления стены; высота подсыпки тип грунта, на котором стоит здание.

2. Наибольшее влияние на сопротивление теплопередаче пола по грунту оказывает уровень утепления. Использование эффективных утеплителей может компенсировать увеличение теплопотерь за счет большей высоты подсыпки или неблагоприятного типа грунта.

3. Утепление подземной части цокольной стены и наружной поверхности подсыпки высотой до 1,5 м с заглублением утепления на 0,1 м является достаточным для обеспечения нормативных значений сопротивления теплопередаче полов большинства зданий. В первой расчетной зоне должны удовлетворяться санитарно-гигиенические требования. Нормирование сопротивления теплопередаче полов по требованиям энергосбережения относится к среднему значению для полов всего помещения.

Список литературы

1. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers. Ashrae Handbook: Fundamentals. 2016.
2. Duan X., Naterer G.F. Heat Transfer in a tower foundation with ground surface insulation and periodic

References

1. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers. Ashrae Handbook: Fundamentals. 2016
2. Duan X., Naterer G.F. Heat Transfer in a tower foundation with ground surface insulation and periodic

- freezing and thawing // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2010. Vol. 53. No. 11–12, pp. 2369–2376.
3. ISO 13330: 2007. Thermal Performance of Buildings—Heat Transfer via The Ground—Calculation Methods / ISO 13330: 2007.
 4. Jin M., Liang S. An Improved Land Surface Emissivity Parameter for Land Surface Models Using Global Remote Sensing Observations // *Climate*. 2006. № V. 19, pp. 2867–2881.
 5. Аше Б.М. Отопление и вентиляция. М.-Л.: Госстройиздат, 1939. 614 с.
 6. Власов О.Е. Основы строительной теплотехники. М.: ВИА, 1938. 94 с.
 7. Мачинский В.Д. Теплопередача в строительстве. М: Госстройиздат, 1939. 343 с.
 8. Кулжинский, Ю.И. Определение теплопотерь через ограждающие конструкции подземных сооружений. М: ВИА, 1960. 64 с.
 9. Дячек П.И., Макаревич С.А., Ливанский Д.Г. Формирование температурного поля грунтов у зданий и сооружений // *Сантехника, отопление, кондиционирование, энергосбережение*. 2016. № 11. С. 60–65.
 10. Окунев А.Ю., Сотников А.Ю., Левин Е.В. Методы расчета теплопотерь через основания зданий и сооружений // *Жилищное строительство*. 2016. № 6. С. 25–28.
 11. Сотников А.Г. Теплофизический расчет теплопотерь подземной части зданий // *АВОК*. 2010. № 8. С. 62–67.
 12. Самарин О.Д. Обоснование упрощенного метода определения теплопотерь через подземные части ограждений здания // *Вестник МГСУ*. 2016. № 1. 118–125 с.
 13. Малявина Е.Г., Иванов Д.С. Определение теплопотерь подземной части здания расчетом трехмерного температурного поля грунта // *Вестник МГСУ*. 2011. № 7. С. 209–215.
 14. Малявина Е.Г., Гнездилова Е.А., Левина Ю.Н. Расчет теплопотерь через полы по грунту в зданиях с современной теплозащитой // *БСТ*. 2019. № 6. (В печати).
 15. Гагарин В.Г., Малявина Е.Г., Иванов Д.С. Разработка климатической информации в форме специализированного «типового года» // *Вестник ВолгГАСУ*. 2013. Вып. 31 (50), Ч. 1: Города России. С. 343–349.
 16. Малявина Е.Г., Иванов Д.С. Разработка расчетного «типового» года для определения теплопотерь заглубленных в грунт частей здания // *Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова*. 2014. № 571. С. 182–191.
 - freezing and thawing. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2010. Vol. 53. No. 11–12, pp. 2369–2376.
 3. ISO 13330: 2007. Thermal Performance of Buildings—Heat Transfer via The Ground—Calculation Methods / ISO 13330: 2007.
 4. Jin M., Liang S. An Improved Land Surface Emissivity Parameter for Land Surface Models Using Global Remote Sensing Observations. *Climate*. 2006. Vol. 19, pp. 2867–2881.
 5. Ashe B.M. Otoplenie i ventilyatsiya [Heating and Ventilation]. Mocsow-Leningrad: Gosstroyizdat. 1939. 614 p.
 6. Vlasov O.E. Osnovy stroitel'noi teplotekhniki [Basics of Constructional Heat Technology]. Moscow: VIA. 1938. 94 p.
 7. Machinkiy V.D. Teploperedacha v stroitel'stve [Heat Transfer in Construction]. Mocsow: Gosstroyizdat. 1939. 343 p.
 8. Kulzhinskiy Yu.I. Opredelenie teplopoter' cherez ograzhdayushchie konstruktsii podzemnykh sooruzhenii [Calculation of Heat Loss through Enclosing Structures of Underground Construstions]. Moscow: VIA. 1960. 64 p.
 9. Dyachek P.I., Makarevich S.A., Livanskiy D.G. Ground Temperature Array Formation Close to Buildings and Constructions. *Plumbing, Heating, Air-Conditioning, Energy Conservation*. 2016. No. 11, pp. 60–65. (In Russian).
 10. Okunev A.Yu., Sotnikov A.Yu., Levin E.V. Methods for Calculation of Heat Losses through Foundations of Buildings and Structures. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2016. No. 6, pp. 25–28. (In Russian).
 11. Sotnikov A.G. Thermophysical Calculation of Heat Loss of Underground Parts of Buildings. *AVOK*. 2010. No. 8, pp. 62–67. (In Russian).
 12. Samarin O.D. Substantion of the Simplified Method of Determining Heat Losses throught Underground Parts of Building Enclosures. *Vestnik MGSU*. 2016. No. 1, pp. 118–125. (In Russian).
 13. Malyavina E.G., Ivanov D.S Definition of Heat Loss for Underground Part of a Building by Calculation of Three-Dimensional Soil Temperature Pattern. *Vestnik MGSU*. 2011. No. 7, pp. 209–215. (In Russian).
 14. Malyavina E.G., Gnezdilova E.A., Levina U.N. Heat Loss Calculation through Slab-On-Ground Floors in Buildings with Modern Methods of Thermal Protection. *BST*. 2019, No. 6. (In print). (In Russian).
 15. Gagarin V.G., Malyavina E.G., Ivanov D.S. Development of Climate Data as a Specific “Reference Year”. *Vestnik VolgGASU*. 2013. No. 31 (50),. Vol. 1: Russian Cities, pp. 343–349. (In Russian).
 16. Malyavina E.G., Ivanov D.S Development of the Design Reference Year for Calculation of Heat Loss through Underground Part of Buildings. *Trudy Glavnoi geofizicheskoi observatorii imeni A.I. Voeikova*. 2014. No. 571, pp. 182–191. (In Russian).