

**РАСЧЕТ ТЕПЛОПОТЕРЬ ПОЛОВ ПО ГРУНТУ
С СОВРЕМЕННОЙ КОНСТРУКЦИЕЙ УТЕПЛЕНИЯ**

**CALCULATION OF HEAT LOSS FLOOR GROUND
WITH MODERN CONSTRUCTION OF INSULATION**

Е.Г. МАЛЯВИНА, Н.П. УМНЯКОВА

E.G. MALYAVINA, N.P. UMNYAKOVA

(Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,
Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской академии архитектуры и строительных наук)

(National Research Moscow State Construction University,
Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences)

E-mail: emal@list.ru, n.umnyakova@mail.ru

Появившиеся новые утеплители позволяют достигать достаточно больших значений сопротивлений теплопередаче строительных конструкций, чем это было 20 лет тому назад. Кроме того, используются новые конструкции утепления полов по грунту, когда сам пол не утепляется, а утепляется, например, только стена в грунте или торец подсыпки под здание. Теплопотери через такие конструкции невозможно рассчитать, опираясь на общепринятую в РФ методику расчета теплопотерь "по зонам". По данным расчета двухмерного нестационарного круглогодичного теплового режима грунта вместе с такими конструкциями пола по грунту получены значения сопротивлений теплопередаче полов в расчетных зонах для использования традиционной методики. Климатической основой для расчетов послужил "типовой" год для г. Москвы. При этом доказана необходимость рассмотрения типа грунта, на котором расположена конструкция. Исследовано влияние различных сопротивлений теплопередаче утепления стены или торца подсыпки под здание, а также высоты заглубления утеплителя в грунт или на торец подсыпки.

The new insulation allows to achieve much higher values of resistance to heat transfer of building structures than it was 20 years ago. In addition, new designs of insulation of floors on the ground are used, when the floor itself is not insulated, but insulated, for example, only the wall in the ground or the end of the filling under the building. Heat loss through such structures can not be calculated based on the generally accepted in Russia method of calculating heat loss "by zones". According to the calculation of the two-dimensional non-stationary year-round thermal regime of the soil, together with such floor structures on the ground, the values of the resistance to heat transfer of the floors in the calculated zones for the use of the traditional technique are obtained. The climatic basis for the calculations was the "typical" year of Moscow. It proved the need to consider the type of soil on which the construction is located. Study of the influence of the various resistances heat transfer of the insulation of a wall or the end face of filling under the building and the height of the penetration of insulation in the ground or on the end face of filling.

Ключевые слова: теплопотери, теплопроводность и теплоемкость грунта, утепление подземной части наружной стены, утепление наружной поверхности подсыпки под здание, сопротивление теплопередаче утепления, глубина утепления стены, высота подсыпки.

Keywords: heat loss, thermal conduction and thermal capacity of the ground, heat insulation of underground part of basement wall, heat insulation of external surface of foundation soil layer, thermal resistance of insulation, wall insulation depth, thickness of foundation.

В российских [1...9] и зарубежных [10...13] работах описаны методики расчета теплопотерь различной точности, однако все они ориентированы на традиционные конструкции утепления самого пола. В некоторых работах [1] отмечается, что, во-первых, детальный расчет весьма трудоемок, а, во-вторых, сами теплопотери в грунт на фоне теплопотерь через ограждающие конструкции, соприкасающиеся с наружным воздухом, составляют незначительную долю. Но для зданий с большой площадью пола по грунту: производственных, торговых, спортивных и других, теплопотери через пол составляют основную долю тепловой нагрузки на отопление здания. Инженерные методики, используемые в проектной практике, разработаны еще в начале прошлого века. В них заложен учет конструкций ограждений, отвечающих времени создания методики. Актуальность предлагаемой разработки метода расчета теплопотерь через полы по грунту обоснована необходимостью учета особенностей современной теплозащиты зданий, которые включают в себя новые конструкции, не поддающиеся 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. Этому способствовал как запрос общества на экономию энергии, так и возможности использования новых эффективных утеплителей, в том числе применяющихся для теплозащиты цокольных и подземных стен.

В [14] была представлена методика расчета теплопотерь через полы по грунту с современными конструкциями утепления. Для

ее разработки выполнены расчеты нестационарного годового теплового режима полов в климатических условиях, соответствующих средним многолетним значениям температуры наружного воздуха, скорости ветра и интенсивности суммарной солнечной радиации в виде среднего "типového" 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 "типového" года.

Если средний "типовой" год содержит в себе почасовые данные о перечисленных выше параметрах наружной среды, приближающихся в каждом месяце года к своим средним многолетним значениям, то расчетный "типовой" 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 $t_5 = -25,92 \text{ °C}$, то есть близкой к нормируемой СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23–01–99* расчетной температурой $t_5 = -25 \text{ °C}$.

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 "типового" года, а затем рассчитывалось изменяющееся в течение года температурное поле по данным расчетного "типового" года.

Для решения задачи принято двухмерное 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 двухмерной. В результате расчета нестационарного годового теплового режима грунта вместе с конструкциями здания, соприкасающимися с ним, в условиях поддержания температуры помещения (воздуха и окружающих внутренних поверхностей) $t_{в}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ получены изменяющиеся в течение года с шагом по времени 15 мин значения температуры поверхности пола, начиная от наружной стены с шагом 0,1 м. По этим значениям в каждый момент времени рассчитаны теплотери каждой расчетной зоны $Q_{зон}$ шириной 2 м, принимая в каждый момент времени коэффициент теплоотдачи в каждой расчетной точке по формуле [17], учитывающей более низкую температуру пола по сравнению с температурой помещения и турбулентный характер движения воздуха около пола.

В настоящей статье рассмотрена задача утепления подземной части наружной стены, о высоте подсыпки под полом при различных сопротивлениях теплопередаче утепления стены и подсыпки и типах грунта. Рассматриваемая область грунта принята таким образом, чтобы пол по грунту охватывал 3 расчетные зоны по 2 м и половину 4-й зоны. На всех границах грунта (справа, слева и снизу) принято условие отсутствия теплового потока, что отражено в [14].

Расчет проводили для полов, лежащих на грунте вровень с уровнем земли, а также для полов, лежащих на подсыпке высотой ($h_{под}$): 0,5 м, 1 м и 1,5 м. Для пола без подсыпки были рассмотрены конструкции утепления подземной части стены на глубину ($L_{ут}$), равную 1 м, 1,7 м и 2,3 м. Для полов на подсыпке утепление наружной стены было заглублено на 0,1 м. Во всех случаях были рассмотрены 4 вида утепления стены и подсыпки с сопротивлением теплопередаче, равным $0,83\text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$, $1,11\text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$, $1,67\text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ и $3,33\text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$. Рассматриваемая глубина грунта равна 12 м.

Полученные результаты расчета отражают процесс нестационарной теплопередачи в грунте. Анализ результатов показал, что значение теплотерь 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 вариантами. То же явление наблюдается при различном по сопротивлению теплопередаче и заглублению утепления конструкций стены, соприкасающихся с грунтом.

Сопротивление теплопередаче в расчетных зонах было определено по максимальной величине теплотерь за отопительный период, деленной на разность температуры внутреннего воздуха $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и нормативной температуры наиболее холодной пятидневки $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Предлагаемые значения сопротивлений теплопередаче расчетных зон полов по грунту представлены в табл. 1 (расчетные значения сопротивлений теплопередаче полов по грунту при утеплении подсыпки различной высоты при различных типах грунтов) и табл. 2 (расчетные значения сопротивлений теплопередаче полов по грунту при утеплении стены в грунте на различную глубину при различных типах грунтов).

Т а б л и ц а 1

№ п/п	Высота подсыпки пола, м	Сопротивление теплопередаче утепления, $\text{м}^2\cdot\text{°C}/\text{Вт}$	Сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2\cdot\text{°C}/\text{Вт}$, 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	5,60	14,88	21,06	22,78	5,32	13,44	19,10	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	3,80	12,58	18,63	20,41	3,41	9,25	13,40	14,76
4	0,5	0,83	3,52	13,61	20,39	22,30	3,41	12,30	18,46	20,29	3,10	9,05	13,27	14,66
5	1,0	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	1,0	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	1,0	1,11	3,78	13,39	20,16	22,13	3,66	12,10	18,22	20,09	3,32	8,94	13,07	14,46
8	1,0	0,83	3,32	12,91	19,88	21,93	3,23	11,67	17,95	19,89	2,96	8,63	12,86	14,30
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	20,40	22,31	4,37	12,60	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	3,20	12,38	19,47	21,64	3,12	11,18	17,53	19,57	2,87	8,30	12,52	14,00

Т а б л и ц а 2

№ п/п	Глубина утепления стены, м	Сопротивление теплопередаче утепления, $\text{м}^2\cdot\text{°C}/\text{Вт}$	Сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2\cdot\text{°C}/\text{Вт}$, 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	1	3,33	5,01	14,59	21,01	22,78	4,77	13,17	19,06	20,77	4,10	9,61	13,72	15,04
2	1	1,67	4,40	14,29	20,85	22,66	4,21	12,90	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	3,60	13,94	20,66	22,50	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	14,40	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	15,10	21,23	22,90	4,48	13,67	19,30	20,91	4,00	10,04	13,95	15,19
8	1,7	0,83	4,02	14,79	21,07	22,78	3,90	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	6,20	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	4,90	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	10,40	14,17	15,35
12	2,3	0,83	4,11	15,10	21,24	22,88	4,00	13,71	19,32	20,90	3,65	10,13	14,02	15,23

Полученные значения демонстрируют превышение сопротивления теплопередаче в расчетных зонах по сравнению с сопротивлениями теплопередаче неутепленного пола практически для обоих способов утепления и вариантов подсыпки: в 1,5...3,7 раз для 1-й зоны, в 2,6...4 раз для 2-й зоны, 1,5...2,6 раз для 3-й зоны, в 1...1,5 раза для 4-й зоны. Сопротивление теплопередаче пола оказалось меньше рекомендованного стандартного значения лишь для 4-й зоны при расчете пола на подсыпке 1,5 м в песчаном грунте при сопротивлении теплопе-

редаче утепления $0,83 \text{ м}^2\cdot\text{°C}/\text{Вт}$ (12-й вариант расчета в табл. 1), то есть расчет по стандартной методике может приводить к занижению теплотерь в средней части здания.

ВЫВОДЫ

1. На теплотери через полы по грунту оказывают влияние: сопротивление теплопередаче утепления, глубина утепления стены, высота подсыпки, тип грунта, на котором стоит здание.

2. Самое большое влияние на сопротивление теплопередаче пола по грунту оказывает уровень утепления стены в грунте или торца подсыпки под здание.

3. Так как в первой расчетной зоне должны удовлетворяться санитарно-гигиенические требования к сопротивлению теплопередаче пола, а нормирование сопротивления теплопередаче полов по требованиям энергосбережения относится к среднему по помещению значению, утепление подземной части цокольной стены и наружной поверхности подсыпки высотой до 1,5 м с заглублением утепления на 0,1 м является достаточным.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аше Б.М.* Отопление и вентиляция. – М.-Л.: Госстройиздат, 1939.
2. *Власов О.Е.* Основы строительной теплотехники. – М.: ВИА, 1938.
3. *Мачинский В.Д.* Теплопередача в строительстве. – М.: Госстройиздат, 1939.
4. *Кулжинский Ю.И.* Определение теплопотерь через ограждающие конструкции подземных сооружений. – М.: ВИА, 1960.
5. *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.
6. *Окунев А.Ю., Сотников А.Ю., Левин Е.В.* Методы расчета теплопотерь через основания зданий и сооружений // Жилищное строительство. – 2016, №6. С.25...28.
7. *Сотников А.Г.* Теплофизический расчет теплопотерь подземной части зданий // АВОК. – 2010, №8. С.62...67.
8. *Самарин О.Д.* Обоснование упрощенного метода определения теплопотерь через подземные части ограждений здания // Вестник МГСУ. – 2016, №1. С.118...125.
9. *Малявина Е.Г., Иванов Д.С.* Определение теплопотерь подземной части здания расчетом трехмерного температурного поля грунта // Вестник МГСУ. – 2011, № 7. С. 209...215..
10. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers. Ashrae Handbook: Fundamentals. – 2016.
11. *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. – Vol.53, №11–12, 2010. P.2369...2376.
12. ISO 13330: 2007. Thermal Performance of Buildings – Heat Transfer via The Ground–Calculation Methods / ISO 13330: 2007. – 2007.

13. *Jin M., Liang S.* An Improved Land Surface Emissivity Parameter for Land Surface Models Using Global Remote Sensing Observations // J. Climate. – №V. 19, 2006. P. 2867...2881.

14. *Малявина Е.Г., Гнездилова Е.А., Левина Ю.Н.* Расчет теплопотерь через полы по грунту в зданиях с современной теплозащитой // Бюллетень строительной техники. – 2019, № 6.

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 имени А.И. Воейкова. – 2014, №571. С.182...191.

17. *Богословский В.Н.* Строительная теплофизика. – М.: Высшая школа, 1982.

REFERENCES

1. *Ashe B.M.* Otoplenie i ventilyatsiya. – M.-L.: Gosstroyizdat, 1939.
2. *Vlasov O.E.* Osnovy stroitel'noy teplotekhniki. – M.: VIA, 1938.
3. *Machinskiy V.D.* Teploperedacha v stroitel'stve. – M.: Gosstroyizdat, 1939.
4. *Kulzhinskiy Yu.I.* Opredelenie teplopoter' cherez ograzhdayushchie konstruksii podzemnykh sooruzheniy. – M.: VIA, 1960.
5. *Dyachek P.I., Makarevich S.A., Livanskiy D.G.* Formirovanie temperaturnogo polya gruntov u zdaniy i sooruzheniy // Santechnika, otoplenie, konditsionirovanie, energosberezhenie. – 2016, №11. S.60...65.
6. *Okunev A.Yu., Sotnikov A.Yu., Levin E.V.* Metody rascheta teplopoter' cherez osnovaniya zdaniy i sooruzheniy // Zhilishchnoe stroitel'stvo. – 2016, №6. S.25...28.
7. *Sotnikov A.G.* Teplofizicheskiy raschet teplopoter' podzemnoy chasti zdaniy // AVOK. – 2010, №8. S.62...67.
8. *Samarin O.D.* Obosnovanie uproshchennogo metoda opredeleniya teplopoter' cherez podzemnye chasti ograzhdeniy zdaniya // Vestnik MGSU. – 2016, №1. S.118...125.
9. *Malyavina E.G., Ivanov D.S.* Opredelenie teplopoter' podzemnoy chasti zdaniya raschetom trekhmernogo temperaturnogo polya grunta // Vestnik MGSU. – 2011, № 7. S. 209...215..
10. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers. Ashrae Handbook: Fundamentals. – 2016.
11. *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. – Vol.53, №11–12, 2010. P.2369...2376.
12. ISO 13330: 2007. Thermal Performance of Buildings – Heat Transfer via The Ground–Calculation Methods / ISO 13330: 2007. – 2007.

13. Jin M., Liang S. An Improved Land Surface Emissivity Parameter for Land Surface Models Using Global Remote Sensing Observations // J. Climate. – №V. 19, 2006. P. 2867...2881.

14. Malyavina E.G., Gnezdilova E.A., Levina Yu.N. Raschet teplopoter' cherez poly po gruntu v zdaniyakh s sovremennoy teplozashchitoy // Byulleten' stroitel'noy tekhniki. – 2019, № 6.

15. Gagarin V.G., Malyavina E.G., Ivanov D.S. Razrabotka klimaticheskoy informatsii v forme spetsializirovannogo "tipovogo" goda // Vestnik VolgGASU. – 2013. Vyp. 31(50). ch. 1: Goroda Rossii. S. 343...349.

16. Malyavina E.G., Ivanov D.S. Razrabotka raschetnogo "tipovogo" goda dlya opredeleniya teplopoter' zaglublennykh v grunt chastey zdaniya // Trudy Glavnoy geofizicheskoy observatorii imeni A.I. Voeykova. – 2014, №571. S.182...191.

17. Bogoslovskiy V.N. Stroitel'naya teplofizika. – M.: Vysshaya shkola, 1982.

Рекомендована Ученым советом НИИСФ РААСН.
Поступила 18.06.19.
