

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ТЕПЛОФИЗИКИ

Заключение

по результатам теплотехнических расчетов фасадной системы с тонким наружным штукатурным слоем при применении забивных строительных дюбелей с различными распорными элементами

Ответственный исполнитель работ:
старший научный сотрудник
Института теплофизики СО РАН,
кандидат технических наук.



М.И. Низовцев

29.08.2011

СОДЕРЖАНИЕ

Результаты теплотехнических расчетов фасадной системы с тонким наружным штукатурным слоем при применении забивных строительных дюбелей с различными распорными элементами	3
Введение	3
1. Результаты теплотехнических расчетов фасадной системы с применением дюбелей “Бийск” типа ДС-1 со стеклопластиковыми забивными распорными элементами	4
2. Результаты теплотехнических расчетов фасадной системы с применением дюбелей типа ДС-1 со стальными забивными распорными элементами	11
3. Результаты теплотехнических расчетов фасадной системы с применением дюбелей типа ДС-1 со стальными забивными распорными элементами с герметизирующей головкой	18
4. Сравнение теплотехнических характеристик фасадной системы при применении дюбелей с различными распорными элементами.	25
Литература	29
Приложение 1. Распределение тепловых характеристик в фасадной системе при применении дюбелей со стеклопластиковыми распорными элементами	30
Приложение 2. Распределение тепловых характеристик в фасадной системе при применении дюбелей с распорными элементами из оцинкованной стали	32
Приложение 3. Распределение тепловых характеристик в фасадной системе при применении дюбелей с распорными элементами из оцинкованной стали с герметизирующей головкой	36

Результаты теплотехнических расчетов фасадной системы с тонким наружным штукатурным слоем при применении забивных строительных дюбелей с различными распорными элементами

Введение

Согласно Техническому заданию к Договору от 05 августа 2011 г. с ООО “Бийский завод стеклопластиков” были выполнены теплотехнические расчеты фасадной системы с тонким наружным штукатурным слоем при применении трех различных вариантов забивных строительных дюбелей.

Конструкция наружной стены фасада здания, принятая при расчетах, имела следующий состав от внутренней поверхности: кирпичная кладка из полнотелого глиняного кирпича толщиной 250 мм., теплоизоляционные плиты ROCKWOOL типа “ФАСАД БАТТС” варьируемой толщины 50, 100, 150 и 200 мм., закрепленные дюбелями в количестве от 8 до 14 шт./м.²; слой акриловой штукатурки толщиной 6 мм., армированной стеклосеткой.

В соответствии с Техническим заданием были выполнены теплотехнические расчеты фасадной системы с тремя вариантами конструкции дюбелей:

- дюбели “Бийск” типа ДС-1 со стеклопластиковыми забивными распорными элементами Ø5.5 мм.,
- дюбели типа ДС-1 со стальными забивными распорными элементами Ø5 мм.,
- дюбели типа ДС-1 со стальными забивными распорными элементами Ø5 мм. с герметизирующей головкой.

Все расчеты проведены для жилого здания, эксплуатируемого в климатических условиях г. Новосибирска. При расчетах температура воздуха внутри помещения принималась $t_{в}=21^{\circ}\text{C}$ (согласно ГОСТ 30494-96), влажность внутреннего воздуха – 55%, температура воздуха на улице $t_{ул}=-39^{\circ}\text{C}$, что соответствует наиболее холодной пятидневке для условий г. Новосибирска (согласно СНиП 23-01-99).

Коэффициенты теплопроводности материалов, использованные в расчетах, приведены в таблице 1 и принимались по условиям эксплуатации А.

Таблица 1

Коэффициенты теплопроводности материалов.

Материал	λ_A (Вт/м ⁰ С)
кирпичная кладка	0.7
ROCKWOOL “ФАСАД БАТТС”	0.04
акриловая штукатурка	0.5
стеклопластик	0.48
полиамид	0.28
сталь	58

Теплотехнические расчеты проведены с применением специализированной компьютерной программы “HEAT 3.5”, предназначенной для проведения трехмерных теплотехнических расчетов элементов строительных конструкций. Программа основана на решении задач теплообмена численным методом конечных разностей. Расчетная область в расчетах разбивалась на 2×10^6 ячеек. Для повышения точности расчетов использовались сетки с переменным шагом.

1. Результаты теплотехнических расчетов фасадной системы с применением дюбелей “Бийск” типа ДС-1 со стеклопластиковыми забивными распорными элементами.

На рис.1. приведен чертеж дюбеля “Бийск” типа ДС-1 со стеклопластиковым забивным распорным элементом. Распорный элемент - стержень из стеклопластика $\varnothing 5.5$ мм. входил при креплении утеплителя в гильзу из полиамида с наружным диаметром 10 мм.

Расчетная область представляла собой участок фасада в форме прямоугольного параллелепипеда с высотой равной толщине фасада и

поперечным сечением квадратной формы со стороной $1/n$ в метрах, где n – плотность расположения дюбелей на 1 м^2 фасада. В центре поперечного сечения расчетной области устанавливался дюбель.

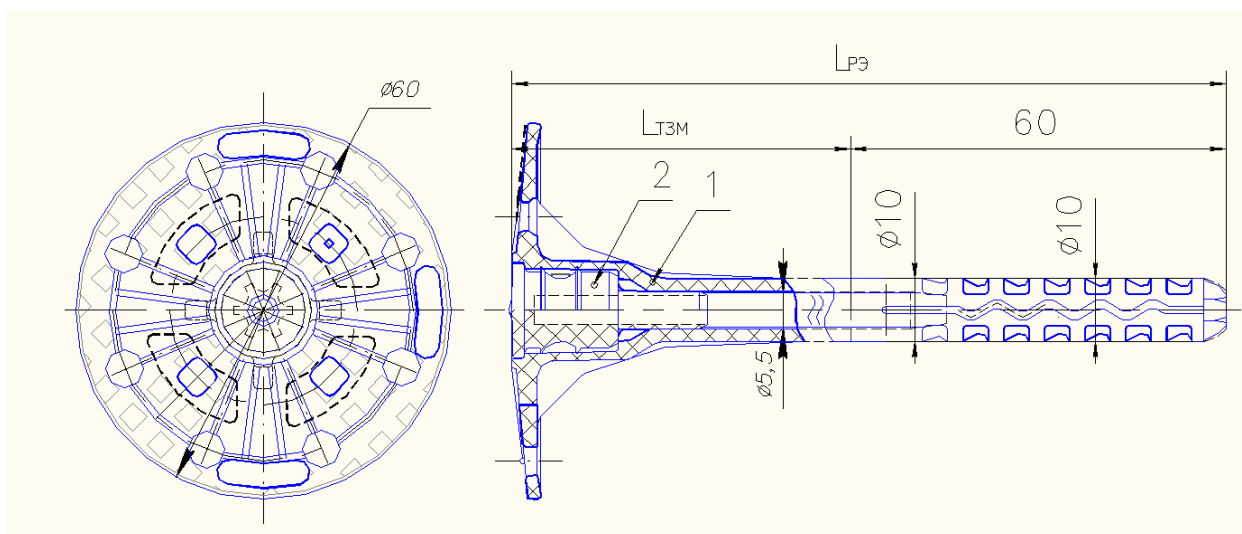


Рис.1. 1.Чертеж дюбеля со стеклопластиковым распорным элементом.

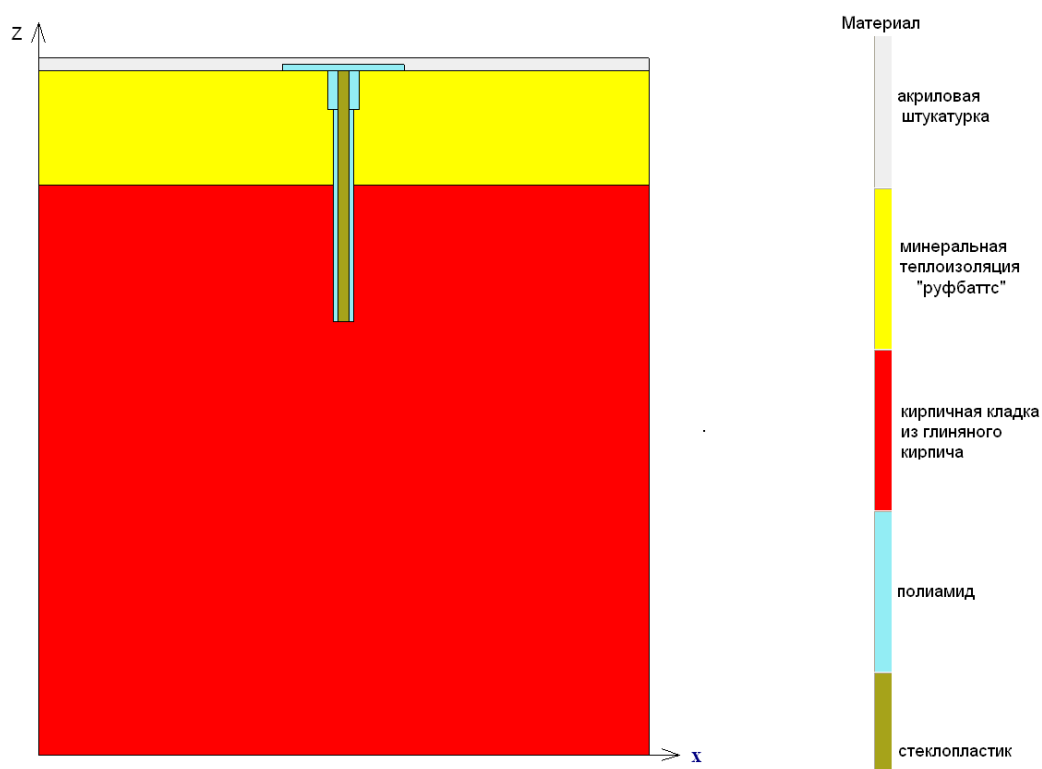


Рис. 1.2. Поперечное сечение расчетной области при 50 мм. утеплителя и 14 шт/м^2 дюбелей со стеклопластиковыми распорными элементами.

На рис.2.2. показано горизонтальное сечение расчетной области при толщине утеплителя 50 мм. и плотности расположения дюбелей 14 шт./м^2 .

Были выполнены теплотехнические расчеты при толщине слоя утеплителя 50, 100, 150 и 200 мм., и для каждой толщины утеплителя количество дюбелей в расчетах варьировалось от 8 до 14 шт./м².

Некоторые результаты расчетов приведены в Приложении 1. На рис.П.1.1. показано распределение температуры в поперечном сечении наружного фасада при толщине утеплителя 50 мм. и плотности расположения дюбелей 14 шт./м². Согласно результату расчета температурное поле достаточно равномерное, отличие по температуре менее 0.01°C, что связано с выравниванием температурного поля кирпичной кладкой. Относительно низкая температура на внутренней поверхности стены 17.09°C обусловлена не влиянием дюбеля, а достаточно тонким 50 мм. слоем утеплителя (при отсутствии дюбеля температура внутренней поверхности была 17.12°C). Однако следует отметить, что опасности конденсации влаги на внутренней поверхности фасада нет, так как температура поверхности превышает температуру точки росы внутреннего воздуха (температура точки росы 11.6°C при температуре воздуха 21°C и его влажности 55%). Изотерма с температурой точки росы внутреннего воздуха показана на рисунке, она находилась в центральной области кирпичной кладки.

На рис.П.1.2. приведено распределение температуры в поперечном сечении стены при толщине слоя утеплителя 200 мм. и плотности расположения дюбелей 14 шт./м². Температура внутренней поверхности при данном варианте расчета по сравнению с температурой внутренней поверхности рис. П.1.1. повысилась до 19.74°C. Изотерма с температурой точки росы внутреннего воздуха при увеличении толщины слоя утеплителя сместилась из кирпичной кладки в утеплитель.

Основные количественные результаты теплотехнических расчетов фасадной системы приведены в таблице 1.1. Здесь $t_{вп}$ – наиболее низкая температура внутренней поверхности, R – приведенное сопротивление теплопередаче, γ – коэффициент теплотехнической однородности, $\gamma = R/R_0$,

где R_0 - сопротивление теплопередаче фасада при отсутствии дюбелей; ΔK_p – дополнительные теплотери на 1 дюбель, $\Delta K_p = (1/R - 1/R_0)/n$.

Таблица 1.1

Результаты теплотехнических расчетов,
дюбеля со стеклопластиковыми распорными элементами

Толщина утеплителя (мм.)	Плотность расположения дюбелей (шт./м ²)	t _{вп} (°C)	R (°C м ² /Вт)	г	ΔK _p (Вт/°C)
200	14	19,742	5,4845	0,99219	9.99×10 ⁻⁵
	12	19,743	5,4902	0,99341	1.01×10 ⁻⁴
	10	19,745	5,4970	0,99441	9.84×10 ⁻⁵
	8	19,746	5,5026	0,99555	9.99×10 ⁻⁵
	0	19,751	5,5269	1	
					среднее
150	14	19,375	4,2448	0,99257	1.26×10 ⁻⁴
	12	19,376	4,2493	0,99359	1.27×10 ⁻⁴
	10	19,378	4,2541	0,99465	1.25×10 ⁻⁴
	8	19,379	4,2582	0,99581	1.28×10 ⁻⁴
	0	19,387	4,2769	1	
					среднее
100	14	18,704	3,00533	0,99281	1.71×10 ⁻⁴
	12	18,706	3,00857	0,99388	1.69×10 ⁻⁴
	10	18,708	3,01152	0,99486	1.70×10 ⁻⁴
	8	18,710	3,01462	0,99588	1.71×10 ⁻⁴
	0	18,721	3,02709		
					среднее
50	14	17,092	1,76569	0,99347	2.64×10 ⁻⁴
	12	17,096	1,76730	0,99441	2.65×10 ⁻⁴
	10	17,098	1,76900	0,99533	2.64×10 ⁻⁴
	8	17,102	1,77059	0,99622	2.67×10 ⁻⁴
	0	17,117	1,77730	1	
					среднее

Согласно результатам расчетов внутренняя температура поверхности и приведенное сопротивление теплопередачи фасада незначительно изменялись с изменением плотности расположения дюбелей. В результате коэффициент теплотехнической однородности фасада γ при применении

дюбелей со стеклопластиковыми распорными элементами оказался очень высоким, выше 0.992 при всех вариантах расчетов. Величина r незначительно снижалась с увеличением плотности расположения дюбелей и толщины слоя утеплителя (рис.1.3).

Определены дополнительные тепловые потери через 1 дюбель, при увеличении толщины утеплителя от 50 мм. до 200 мм. они снижались от 2.6×10^{-4} до 1.0×10^{-4} Вт/ °С.

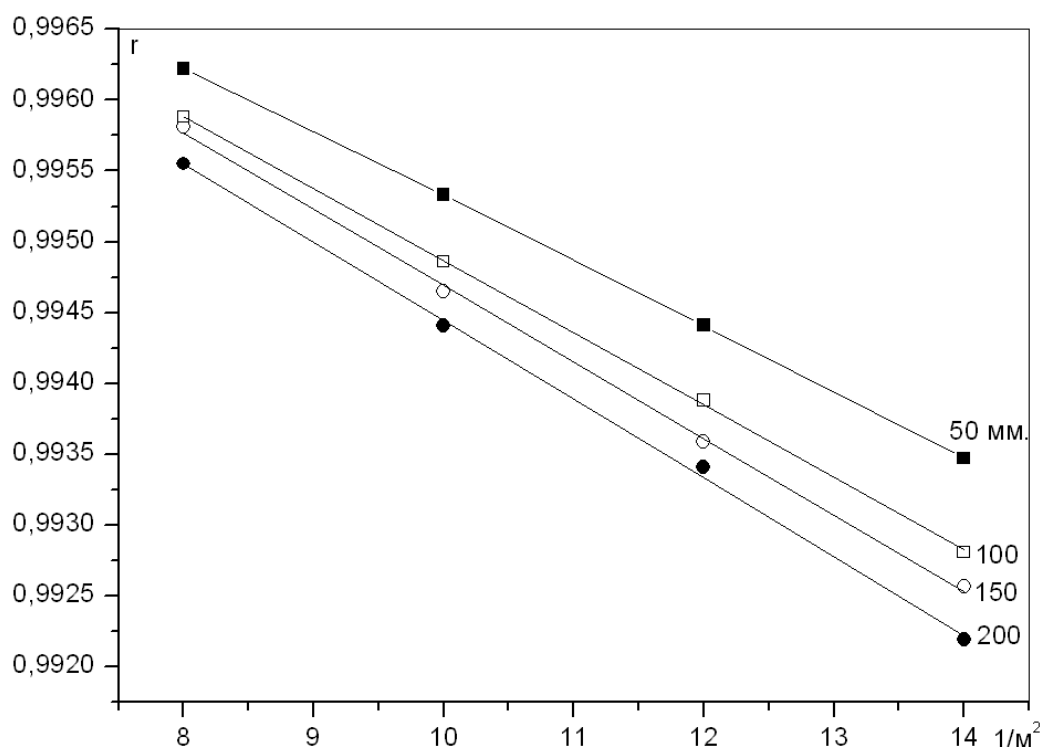


Рис.1.3. Изменение коэффициента теплотехнической однородности для фасада со стеклопластиковыми распорными элементами.

Зависимость коэффициента теплотехнической однородности фасада от n при постоянной толщине утеплителя согласно расчетам имела линейный характер:

$$r = C + D \times n \quad (1.1)$$

Коэффициенты зависимости (1.1) были определены при обработке результатов расчетов и приведены в таблице 1.2. На рис. 1.3 символами показаны расчетные значения, а линиями аппроксимирующие прямые согласно (1.1).

Таблица 1.2.

Коэффициенты для определения теплотехнической однородности стены, дюбеля со стеклопластиковыми распорными элементами.

Толщина утеплителя (мм.)	C	D
200	0.99998	-5.54×10^{-4}
150	1.00008	-5.39×10^{-4}
100	0.99996	-5.095×10^{-4}
50	0.9999	-4.585×10^{-4}

На практике часто возникает задача определения толщины слоя утеплителя для требуемого приведенного сопротивления теплопередаче фасада. С этой целью был выполнен анализ полученных в результате расчетов зависимостей d от R при различной плотности расположения дюбелей. Учитывая незначительное отклонение R от R_0 даже при максимальной расчетной плотности расположения дюбелей 14 шт./м² (рис.1.4), было проведено обобщение зависимости d от R в виде линейной (1.2) с коэффициентами, приведенными в таблице 1.3.

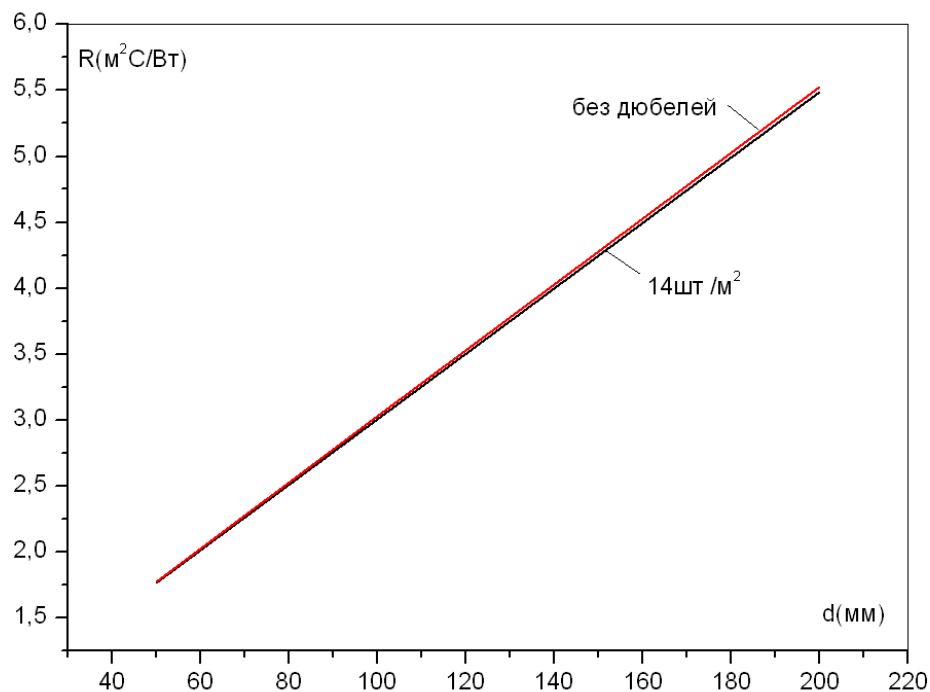


Рис.1.4. Зависимость приведенного сопротивления теплопередаче фасада от толщины слоя утеплителя, дюбеля со стеклопластиковыми распорными элементами.

$$d = A + B \times R \quad (1.2)$$

Определение толщины утеплителя,
дюбеля со стеклопластиковыми распорными элементами

Плотность расположения дюбелей (шт./м ²)	А	В	d (мм.) для R = 3.79 °С м ² /Вт
14	-21.22093	40.33592	131.65
13	-21.21954	40.31489	131.57
12	-21.21815	40.29389	131.50
11	-21.19645	40.26509	131.41
10	-21.17477	40.23633	131.32
9	-21.17051	40.21525	131.23
8	-21.16626	40.19419	131.17
4	-21.13212	40.09909	130.84
0	-21.09815	40.00445	130.52

Зависимость (1.2) и полученные коэффициенты позволяют определить толщину слоя утеплителя, необходимую для того, чтобы фасадная система в диапазоне толщин утеплителя от 50 до 200 мм. и плотности расположения дюбелей со стеклопластиковыми распорными элементами от 4 до 14 шт./м² имела заданное приведенное сопротивление теплопередаче.

С использованием предложенной зависимости (1.2) и коэффициентов таблицы.1.3 в зависимости от количества дюбелей была определена необходимая толщина утеплителя d (последняя колонка в таблице 1.3), необходимая для обеспечения нормируемого значения сопротивления теплопередаче R_{req} для стен жилых зданий в г. Новосибирске ($R_{req} = 3.79 \text{ °С м}^2/\text{Вт}$, согласно “СНИП 23-02-2003. Тепловая защита зданий”). В соответствии с расчетами влияние дюбелей со стеклопластиковыми распорными элементами было незначительно. При $n = 14 \text{ шт./м}^2$ требуемая толщина утеплителя составляла 131.7 мм., а при отсутствии дюбелей – 130.5 мм., то есть увеличение толщины утеплителя, связанное с дополнительными теплопотерями через дюбели со стеклопластиковыми распорными элементами, было всего 1.2 мм.

2. Результаты теплотехнических расчетов фасадной системы с применением дюбелей типа ДС-1 со стальными забивными распорными элементами.

На рис.2.1. приведен чертеж дюбеля типа ДС-1 с распорным элементом из оцинкованной стали. В отличие от рассмотренного ранее дюбеля в разделе 1 (рис.1.1) в данном случае в качестве распорного элемента применялся стержень из оцинкованной стали $\varnothing 5$ мм.

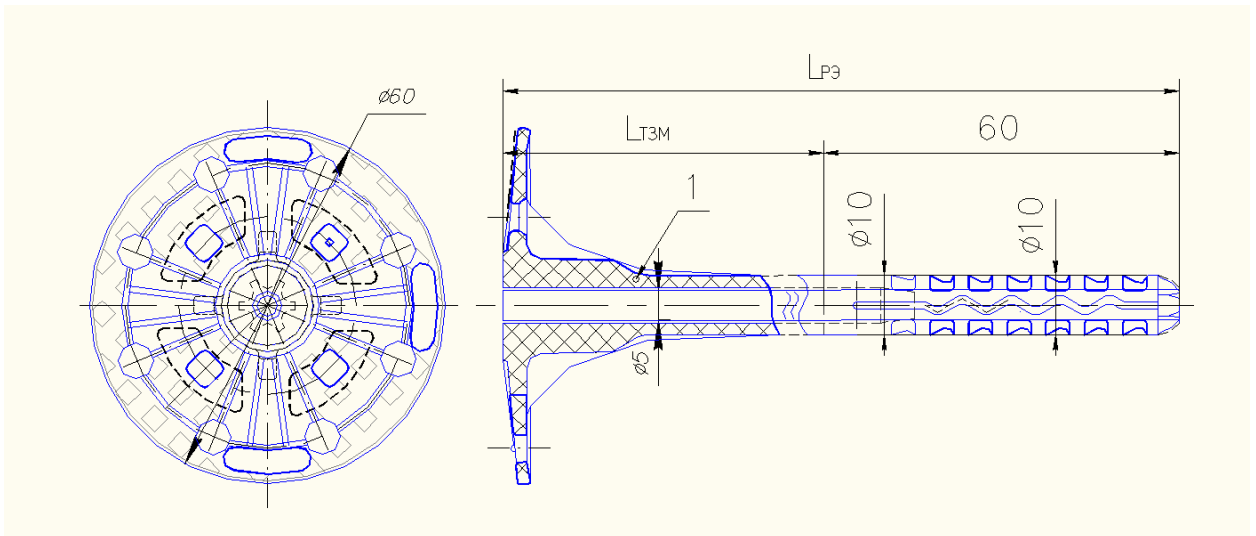


Рис.2.1. Чертеж дюбеля с распорным элементом из оцинкованной стали.

Выбор расчетной области (рис.2.2) проводился аналогично выбору расчетной области, описанному ранее в разделе 1.

Были выполнены теплотехнические расчеты при толщине слоя утеплителя 50, 100, 150 и 200 мм., и для каждой толщины утеплителя, количество дюбелей в расчетах варьировалось от 8 до 14 шт./м.².

Некоторые результаты расчетов приведены в Приложении 2. На рис.П.2.1 показано распределение температуры в поперечном сечении наружного фасада при толщине утеплителя 50 мм. и плотности расположения дюбелей 14 шт./м.². По сравнению с результатами расчета для стеклопластикового распорного элемента (рис.П.1.1) температура на внутренней поверхности фасада снижалась до 16.8°C и была ниже требуемой по санитарно-гигиеническим нормам (согласно “СНИП 23-02-2003. Тепловая

защита зданий” разница температур между температурой воздуха и гладью внутренней поверхности стены не должна превышать 4°C).

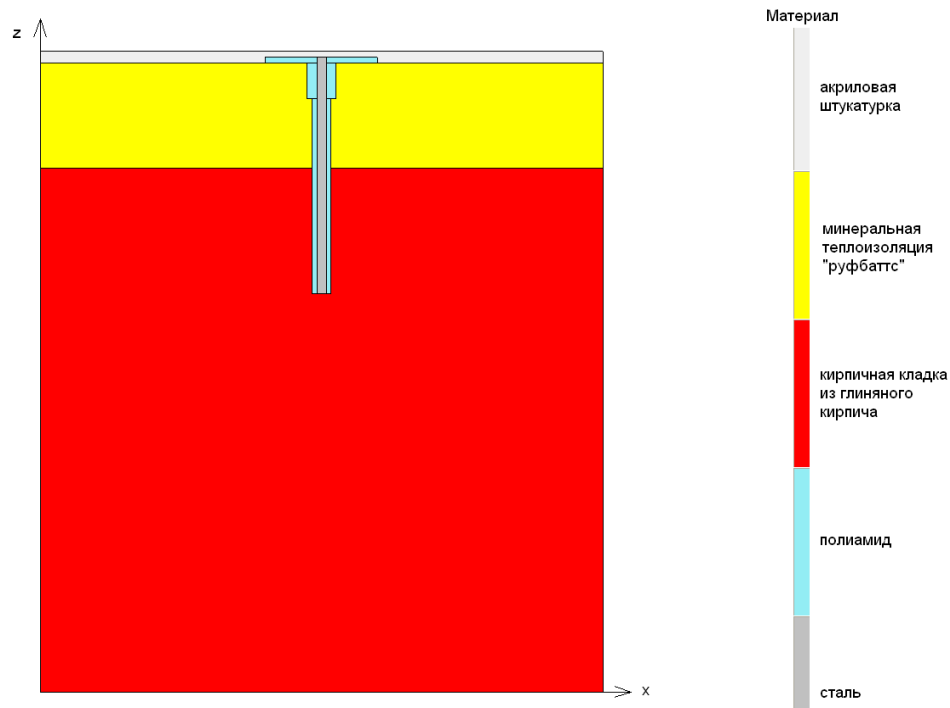


Рис. 2.2. Поперечное сечение расчетной области при 50 мм. утеплителя и 14 шт./м^2 дюбелей со стальными распорными элементами.

Изотерма с температурой точки росы внутреннего воздуха 11.6°C находилась в слое кирпичной кладки, однако была смещена ближе к внутренней поверхности фасада по сравнению с аналогичным вариантом расчета для стеклопластикового распорного элемента (рис.П.1.1).

Распределение плотности теплового потока в поперечном сечении приведено на рис.П.2.2. При толщине утеплителя 50 мм. по результатам расчета плотность теплового потока на внутренней поверхности фасада была около 35 Вт/м^2 , а в поперечном сечении стального распорного элемента в слое утеплителя достигала 1400 Вт/м^2 . Таким образом, стальной распорный элемент дюбеля являлся мощным стоком тепла через слой утеплителя.

На внутренней поверхности фасада, как и в ранее рассматриваемом случае для дюбелей с пластиковыми распорными элементами, температурное поле было достаточно равномерное, понижение температуры напротив

дюбеля было менее 0.01°C , благодаря выравнивающему действию на температурное поле кирпичной кладки (рис.П.2.3).

На рис. П.2.4. приведено распределение температуры в поперечном сечении наружного фасада при толщине слоя утеплителя 200 мм. и плотности расположения дюбелей 14 шт./м^2 . За счет увеличения толщины слоя утеплителя температура на внутренней поверхности фасада увеличилась по сравнению с результатом расчета рис.П.2.1., однако она оказалась ниже, температуры аналогичного расчета для дюбеля со стеклопластиковым распорным элементом (рис.П.1.2.). Изотерма с температурой точки росы внутреннего воздуха 11.6°C вдали от дюбеля находилась в слое утеплителя, а вблизи дюбеля была на границе утеплитель - кирпичная кладка.

Основные количественные результаты теплотехнических расчетов приведены в таблице 2.1. Согласно результатам расчетов на внутреннюю температуру поверхности фасада и его приведенное сопротивление теплопередачи оказывала существенное влияние плотность расположения дюбелей. Коэффициент теплотехнической однородности фасада при применении дюбелей со стальными распорными элементами в расчетах снижался до 0.81.

Дополнительные теплотери на 1 дюбель со стальным распорным элементом в 25-30 раз превышали дополнительные теплотери на 1 дюбель со стеклопластиковым распорным элементом при толщине слоя утеплителя 150 - 200 мм. и практически слабо менялись с увеличением толщины утеплителя.

Коэффициент теплотехнической однородности фасада согласно результатам расчета зависел, как от толщины утеплителя, так и от плотности расположения дюбелей, причем зависимость от плотности расположения дюбелей была практически линейная (рис.2.3). Коэффициенты зависимости (2.1) были определены при обработке результатов расчетов и приведены в таблице 2.2.

$$r = C + D \times n \quad (2.1)$$

Таблица 2.1

Результаты теплотехнических расчетов,
дюбеля с распорными элементами из оцинкованной стали.

Толщина утеплителя (мм.)	Плотность Расположения дюбелей (шт/м ²)	t _{в.п.} (°C)	R _{пр} (°C м ² /Вт)	г	ΔK _р (Вт/°C)
200	14	19,456	4,4823	0,8111	0,00301
	12	19,493	4,5981	0,8320	0,00305
	10	19,532	4,7272	0,8554	0,00306
	8	19,579	4,8900	0,8848	0,00295
	0	19,751	5,5269	1	
					среднее
150	14	19,072	3,5865	0,8385	0.00321
	12	19,114	3,6694	0,8579	0,00323
	10	19,156	3,7574	0,8785	0,00323
	8	19,197	3,8505	0,9002	0,00324
	0	19,387	4,2769	1	
					среднее
100	14	18,386	2,6446	0,8737	0,00341
	12	18,442	2,6922	0,8895	0,00342
	10	18,476	2,743	0,9062	0,00342
	8	18,519	2,795	0,9234	0,00343
	0	18,721	3,02709	1	
					среднее
50	14	16,815	1,6508	0,9289	0,00308
	12	16,856	1,660	0,9383	0,00331
	10	16,903	1,6823	0,9467	0,00318
	8	16,935	1,7025	0,958	0,00309
	0	17,117	1,77730	1	
					среднее

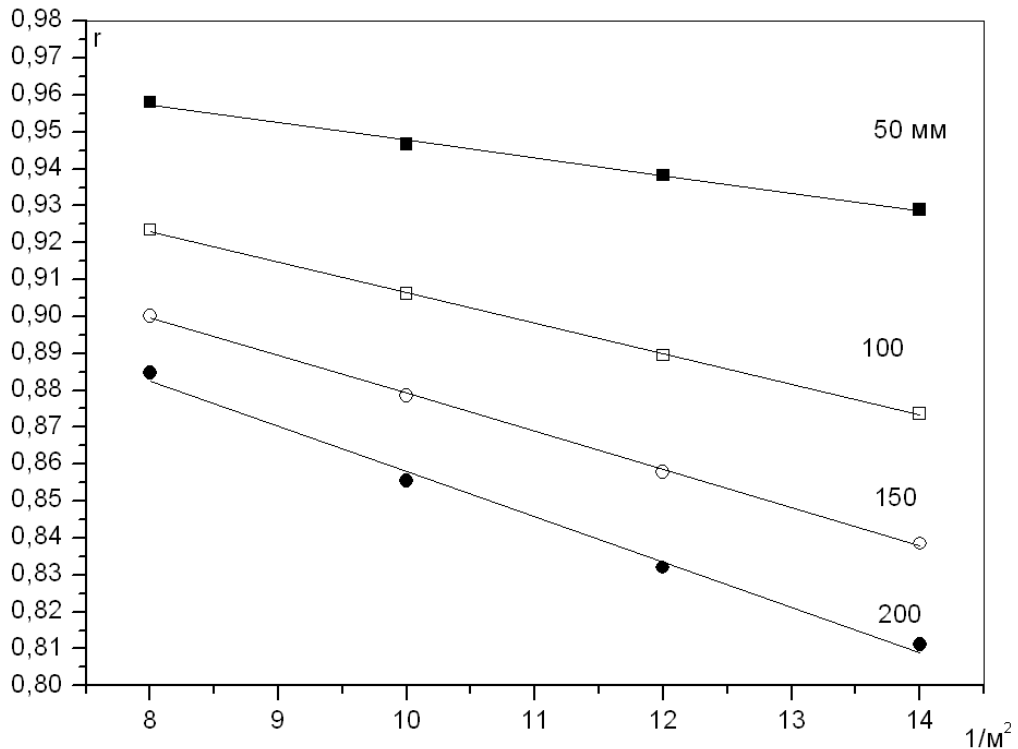


Рис.2.3. Изменение коэффициента теплотехнической однородности фасада при применении дюбелей со стальными распорными элементами.

Таблица 2.2.

Коэффициенты для определения теплотехнической однородности, дюбеля со стальными распорными элементами

Толщина утеплителя (мм.)	C	D
200	0,98030	- 0,01223
150	0,98191	- 0,01028
100	0,98939	- 0,00829
50	0,99561	- 0,00479

Приведенное сопротивление теплопередаче фасада при применении дюбелей со стальными распорными элементами достаточно сильно зависило от количества дюбелей (рис.2.4), причем, учитывая эту сильную зависимость, для повышения точности аппроксимации необходимо было учесть нелинейность. Проведено обобщение результатов расчетов, которое позволило определить коэффициенты зависимости (2.2) толщины слоя утеплителя для получения требуемого приведенного сопротивления теплопередаче фасада R при различной плотности расположения дюбелей со стальными распорными элементами (таблица 2.3).

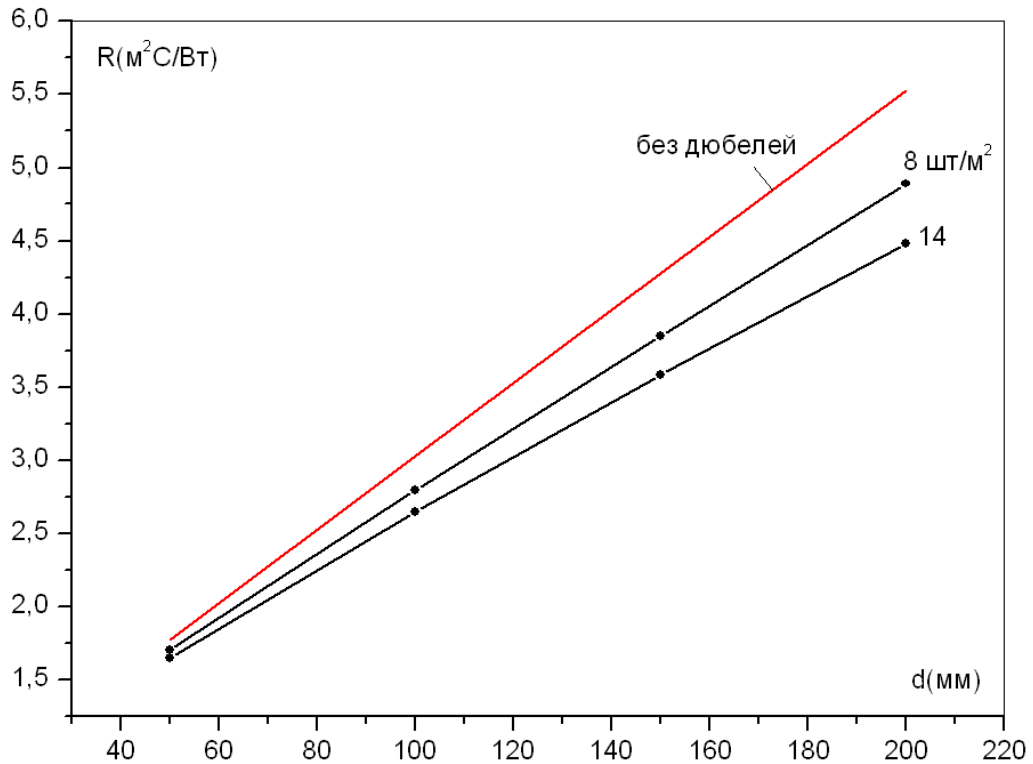


Рис.2.4. Зависимость приведенного сопротивления теплопередаче фасада от толщины слоя утеплителя при различной плотности расположения дюбелей со стальными распорными элементами

$$d = A_1 + A_2 \times R + A_3 R^2 \quad (2.2)$$

Таблица 2.3.

Определение толщины утеплителя, дюбеля с распорными элементами из оцинкованной стали

Плотность расположения дюбелей (шт/м ²)	A ₁	A ₂	A ₃	d (мм.) для R = 3.79 °С м ² /Вт
14	-26,65593	44,03200	1,45767	161,2
13	-25,41536	43,21391	1,41707	158,7
12	-24,22187	42,42691	1,37798	156,4
11	-24,22853	42,37340	1,22575	154,0
10	-24,20970	42,28975	1,08680	151,7
9	-24,96456	42,92506	0,80330	149,3
8	-25,60099	43,43852	0,55340	147,0
4	-23,35036	41,77369	0,21367	138,0
0	-21,09815	40,00445	0.00000	130,5

Результаты теплотехнических расчетов на рис.2.4 показаны символами, а обобщающие расчетные зависимости по (2.2) с коэффициентами из таблицы 2.3 изображены линиями.

С применением полученной зависимости (2.2) была определена толщина слоя утеплителя d (последняя колонка в таблице 2.3), необходимая для обеспечения нормируемого приведенного сопротивления теплопередаче для стены жилого дома, эксплуатируемого в климатических условиях г. Новосибирска ($R_{\text{req}} = 3.79^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{Вт}$, согласно “СНИП 23-02-2003. Тепловая защита зданий”) при применении фасадной системы с дюбелями со стальными распорными элементами. Согласно расчету при плотности расположения дюбелей 14 шт./м² толщина утеплителя должна быть 161.2 мм., а без учета дюбелей – 130.5 мм., то есть увеличение толщины утеплителя за счет дополнительных теплопотерь через дюбели со стальными распорными элементами составило 30.7 мм.

3. Результаты теплотехнических расчетов фасадной системы с применением дюбелей типа ДС-1 со стальными забивными распорными элементами с герметизирующей головкой

На рис.3.1. приведен чертеж дюбеля типа ДС-1 с распорным элементом из оцинкованной стали $\varnothing 5$ мм. с герметизирующей головкой. Герметизирующая головка из ударного полиамида ПА6 (рис.3.2) приводила к смещению металлического стержня распорного элемента от наружной поверхности утеплителя, что должно было снизить тепловые потери через дюбель по сравнению с тепловыми потерями через дюбель с металлическим распорным элементом без уплотняющей головки.

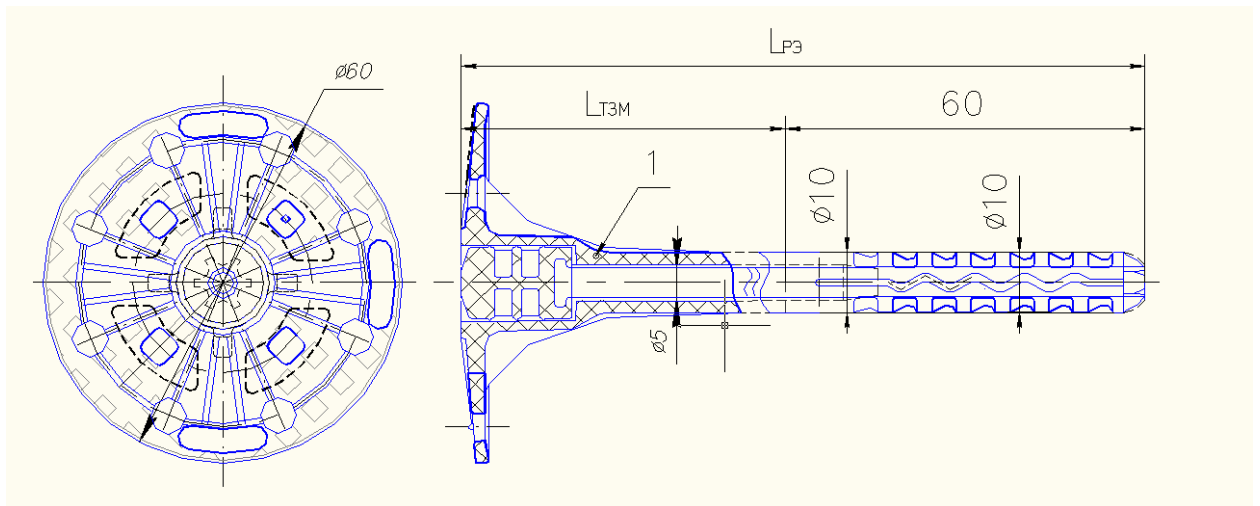
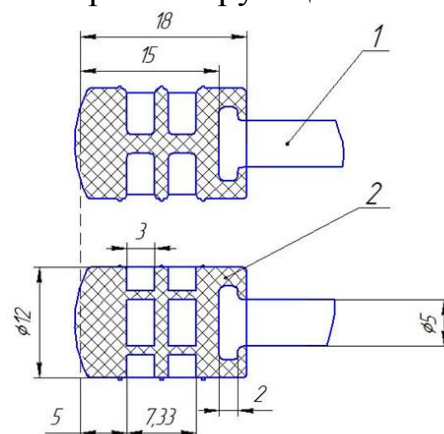


Рис.3.1. Чертеж дюбеля с распорным элементом из оцинкованной стали с герметизирующей головкой.



1. Распорный элемент дюбеля. Материал: оцинкованная сталь
2. Термоголовка дюбеля. Материал: ударопрочный полиамид ПА6

Рис.3.2. Чертеж герметизирующей головки дюбеля.

Выбор расчетной области (рис.3.3) проводился аналогично выбору расчетной области, описанному ранее в разделе 1.

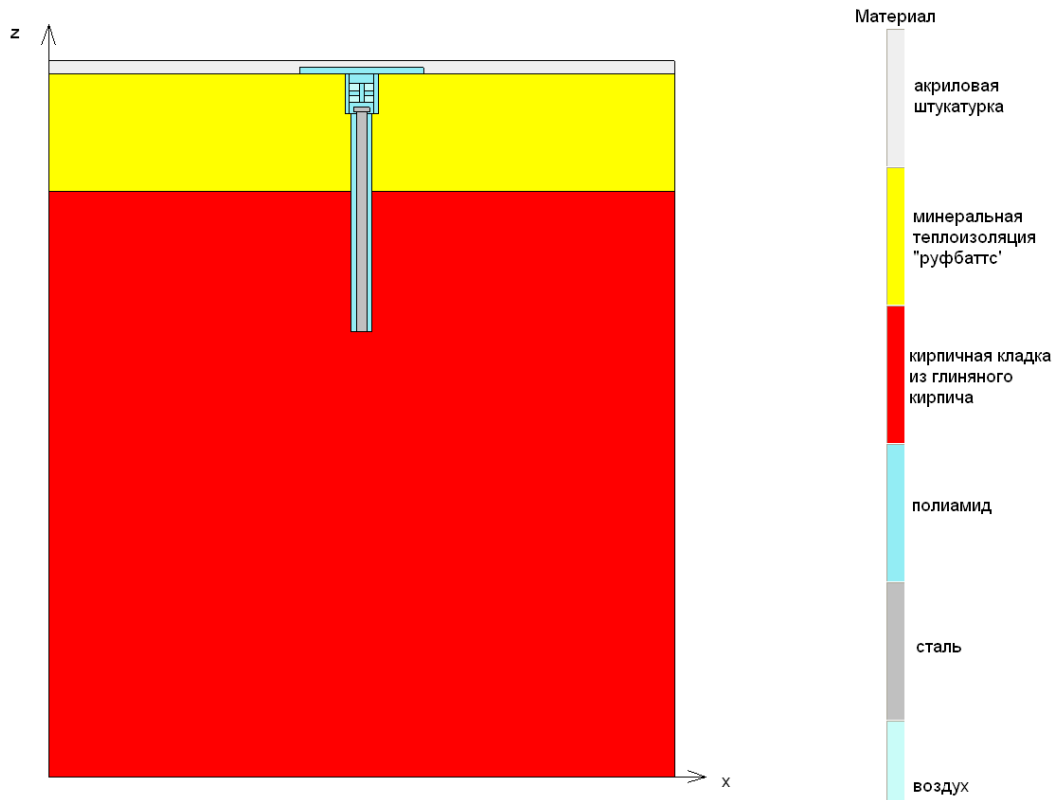


Рис. 3.3. Поперечное сечение расчетного участка при толщине утеплителя 50мм. и плотности расположения дюбелей 14 шт./м² с распорными элементами из оцинкованной стали с герметизирующей головкой.

Были выполнены теплотехнические расчеты при толщине слоя утеплителя 50, 100, 150 и 200 мм., и для каждой толщины утеплителя количество дюбелей в расчетах варьировалось от 8 до 14 шт./м².

Некоторые результаты расчетов приведены в Приложении 3. Анализ результатов расчетов распределения температуры в поперечных сечениях фасада при плотности расположения дюбелей 14 шт./м² и толщине слоя утеплителя 50 мм. (рис.П.3.1.) и 200 мм. (рис.. П.3.2.) показывает их подобие полученным ранее результатам при использовании дюбелей со стальными распорными элементами без уплотняющей головки (соответственно рис.П.2.1 и рис. П.2.4). Однако следует отметить, что наличие герметизирующей головки привело к незначительному повышению внутренней температуры поверхности фасада.

Таблица 3.1

Результаты теплотехнических расчетов, дюбеля с распорными элементами из оцинкованной стали с герметизирующей головкой.

Толщина утеплителя (мм.)	Плотность расположения дюбелей (шт/м ²)	t _{в.п.} (°C)	R _{пр} (°C м ² /Вт)	г	ΔK _p (Вт/°C)
200	14	19,519	4,668	0,8447	0,00238
	12	19,550	4,7729	0,8637	0,00238
	10	19,581	4,8820	0,8834	0,00239
	8	19,611	4,9979	0,9044	0,00239
	0	19,751	5,5269	1	
					среднее
150	14	19,149	3,7342	0,8730	0.00243
	12	19,181	3,8019	0,8889	0,00243
	10	19,212	3,8731	0,9055	0,00244
	8	19,243	3,9472	0,9228	0,00244
	0	19,387	4,2769	1	
					среднее
100	14	18,494	2,7572	0,9109	0,00231
	12	18,524	2,7921	0,9225	0,00232
	10	18,554	2,8283	0,9344	0,00232
	8	18,584	2,8659	0,9468	0,00232
	0	18,721	3,02709	1	
					среднее
50	14	16,955	1,7070	0,9606	0,00166
	12	16,976	1,7164	0,9658	0,00166
	10	16,998	1,7261	0,9713	0,00167
	8	17,019	1,7365	0,9772	0,00165
	0	17,117	1,7773	1	
					среднее

Основные количественные результаты теплотехнических расчетов приведены в таблице 3.1. Согласно результатом расчетов при применении в фасадной системе дюбелей с металлическими распорными элементами с герметизирующей головкой по сравнению с рассмотренным ранее случаем

применения дюбелей с металлическими распорными элементами (таблица 2.1) отмечено некоторое повышение температуры внутренней поверхности, приведенного сопротивления теплопередаче фасада и его коэффициента теплотехнической однородности. Наблюдалось также снижение дополнительных тепловых потерь на 1 дюбель.

На рис.3.4 показана полученная в результате расчетов зависимость снижения относительных дополнительных тепловых потерь на 1 дюбель m от толщины слоя утеплителя. $m = \Delta K_{\text{рг}}/\Delta K_{\text{р}}$, где $\Delta K_{\text{рг}}$ - дополнительные тепловые потери на 1 дюбель с металлическим распорным элементом с герметизирующей головкой, а $\Delta K_{\text{р}}$ – дополнительные тепловые потери на 1 дюбель с металлическим распорным элементом.

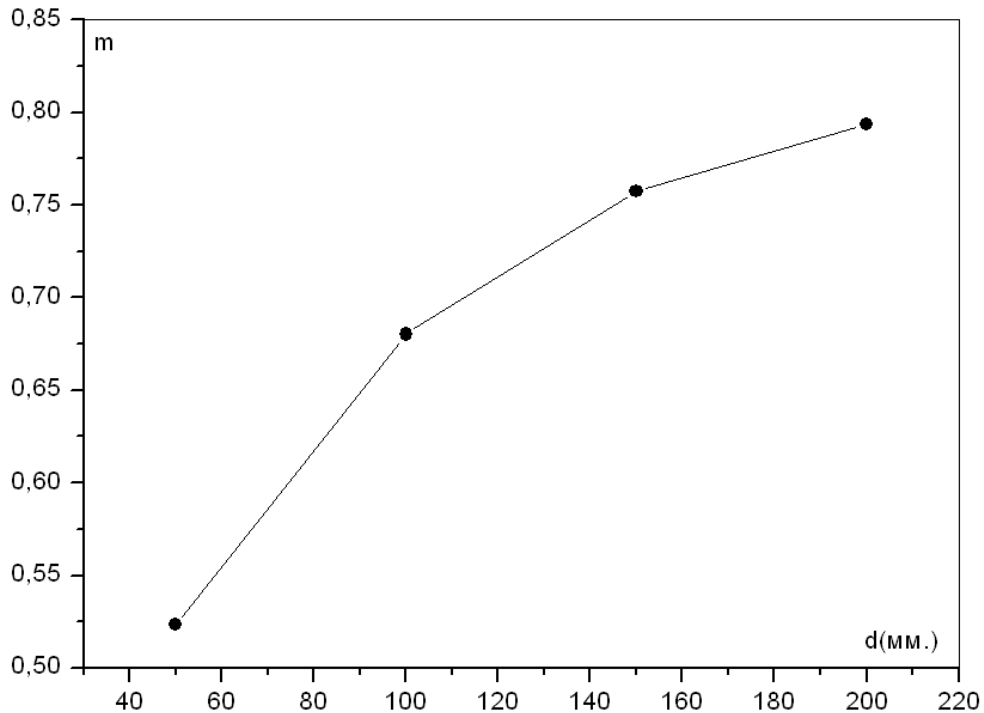


Рис.3.4. Зависимость снижения относительных дополнительных тепловых потерь на 1 дюбель с распорным элементом из оцинкованной стали с герметизирующей головкой.

Из результатов расчетов следовало, что с уменьшением толщины слоя утеплителя от 200 мм. до 50 мм. дополнительные относительные тепловые потери снижались с 0.8 до 0.5. Таким образом, наибольший эффект в снижении тепловых потерь при применении дюбелей с распорным

элементом из стали с герметизирующей головкой из полиамида можно получить при малой толщине слоя утеплителя.

Согласно выполненным теплотехническим расчетам коэффициент теплотехнической однородности фасадной системы при применении дюбелей с герметизирующей головкой линейно зависел от количества дюбелей (рис. 3.5).

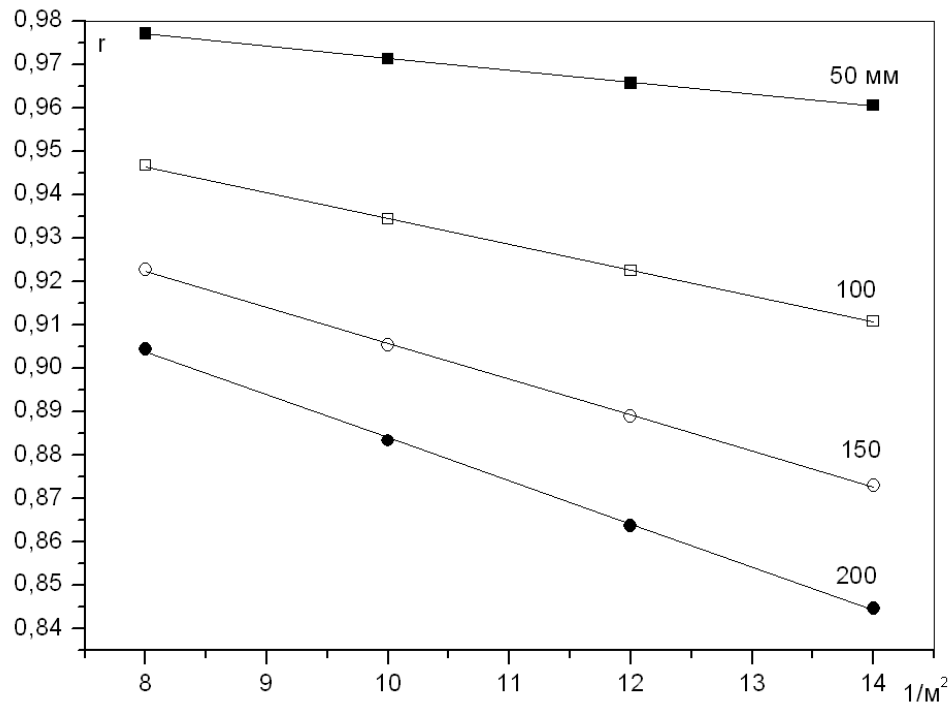


Рис.3.5. Изменение коэффициента теплотехнической однородности для фасада с распорными элементами из оцинкованной стали с герметизирующей головкой.

Выполнено обобщение по зависимости (3.1), и определены коэффициенты при различной толщине слоя утеплителя (таблица 3.2).

$$r = C + D \times n \quad (3.1)$$

Таблица 3.2.

Коэффициенты для определения теплотехнической однородности, дюбеля с распорными элементами из оцинкованной стали с герметизирующей головкой

Толщина утеплителя (мм.)	C	D
200	0,98339	- 0,00994
150	0,98885	- 0,00830
100	0,99443	- 0,00596
50	0,99914	- 0,00276

По результатам расчетов приведенное сопротивление теплопередаче фасадной системы при применении дюбелей с металлическими распорными элементами с герметизирующей головкой имело существенную зависимость от количества дюбелей (рис.3.6).

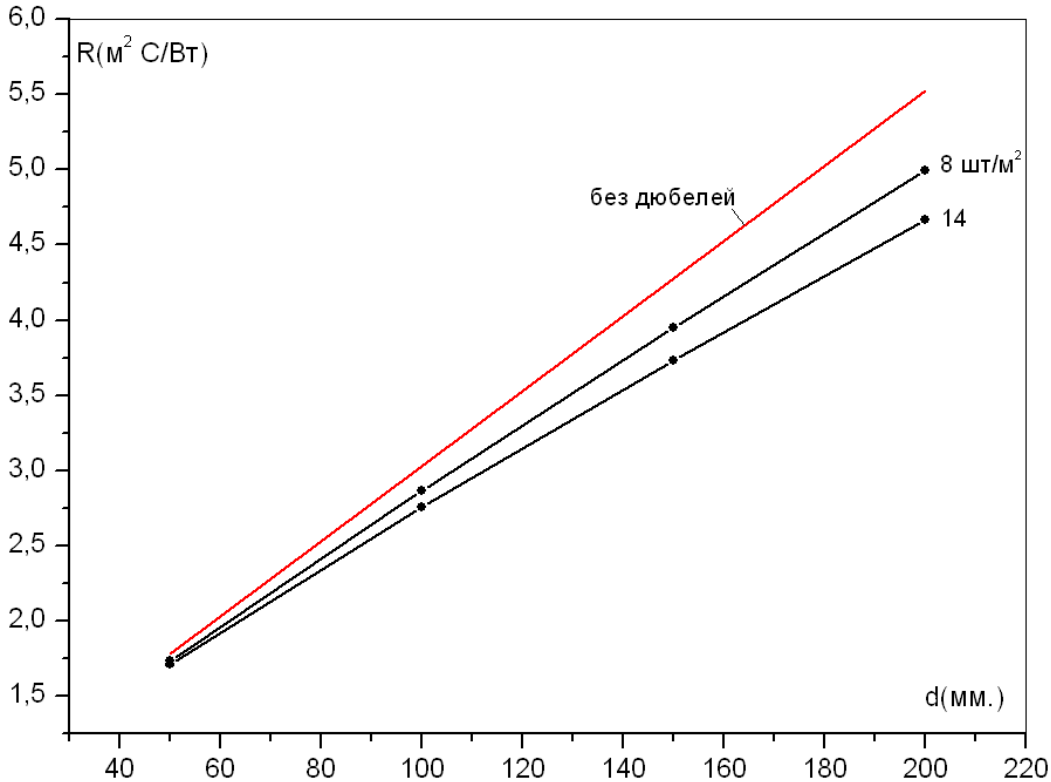


Рис.3.6. Зависимость приведенного сопротивления теплопередаче фасада от толщины слоя утеплителя при различной плотности дюбелей с распорными элементами из стали с герметизирующей головкой.

Проведено обобщение результатов теплотехнических расчетов, в результате которого определены коэффициенты зависимости (3.2) толщины слоя утеплителя от приведенного сопротивления теплопередаче фасада при различной плотности расположения дюбелей (таблица 3.3.).

$$d = A_1 + A_2 \times R + A_3 R^2 \quad (3.2)$$

С применением полученной зависимости (3.2) была определена толщина утеплителя d (последняя колонка в таблице 3.3), требуемая для обеспечения нормируемого приведенного сопротивления теплопередаче для стены жилого дома, эксплуатируемого в климатических условиях г. Новосибирска

Таблица 3.3.

Определение толщины утеплителя, дюбеля с распорными элементами из оцинкованной стали с герметизирующей головкой

Плотность расположения дюбелей (шт./м ²)	A ₁	A ₂	A ₃	d (мм.) для R = 3.79 °C м ² /Вт
14	-24,30586	40,86682	1,54648	152,8
13	-24,25161	40,98006	1,38720	151,0
12	-24,16552	41,05546	1,24062	149,3
11	-23,92021	41,00007	1,11734	147,5
10	-23,65669	40,92011	1,00375	145,8
9	-23,47578	40,89772	0,88015	144,2
8	-23,27177	40,84694	0,76684	142,6
4	-22,36586	40,63962	0,30770	136,1
0	-21,09815	40,00445	0.00000	130,5

($R_{req} = 3.79^{\circ}\text{C м}^2/\text{Вт}$, согласно “СНИП 23-02-2003. Тепловая защита зданий”) при применении фасадной системы с дюбелями со стальными распорными элементами с герметизирующей головкой. Согласно расчету при плотности расположения дюбелей 14 шт./м.² толщина утеплителя была 152.8 мм., а без учета дюбелей – 130.5 мм., то есть увеличение толщины утеплителя за счет дополнительных теплотерь через дюбели со стальными распорными элементами с уплотняющей головкой составило 22.3 мм.

4. Сравнение теплотехнических характеристик фасадной системы при применении дюбелей с различными распорными элементами.

На основе выполненных теплотехнических расчетов, представленных в разделах 1-3, проведено сравнение основных теплотехнических характеристик фасадной системы с тонким наружным штукатурным слоем при использовании дюбелей типа ДС-1 с тремя различными распорными элементами. При сравнении рассматривалось использование фасадной системы в климатических условиях г. Новосибирска. В условиях г. Новосибирска при строительстве жилых зданий обычно используют 150 мм. минераловатного утеплителя, поэтому при сравнении в фасадной системе принималась именно такая толщина слоя утеплителя.

На рис.4.1. по результатам теплотехнических расчетов показано изменение температуры внутренней поверхности фасада в зависимости от плотности расположения дюбелей для трех вариантов распорных элементов.

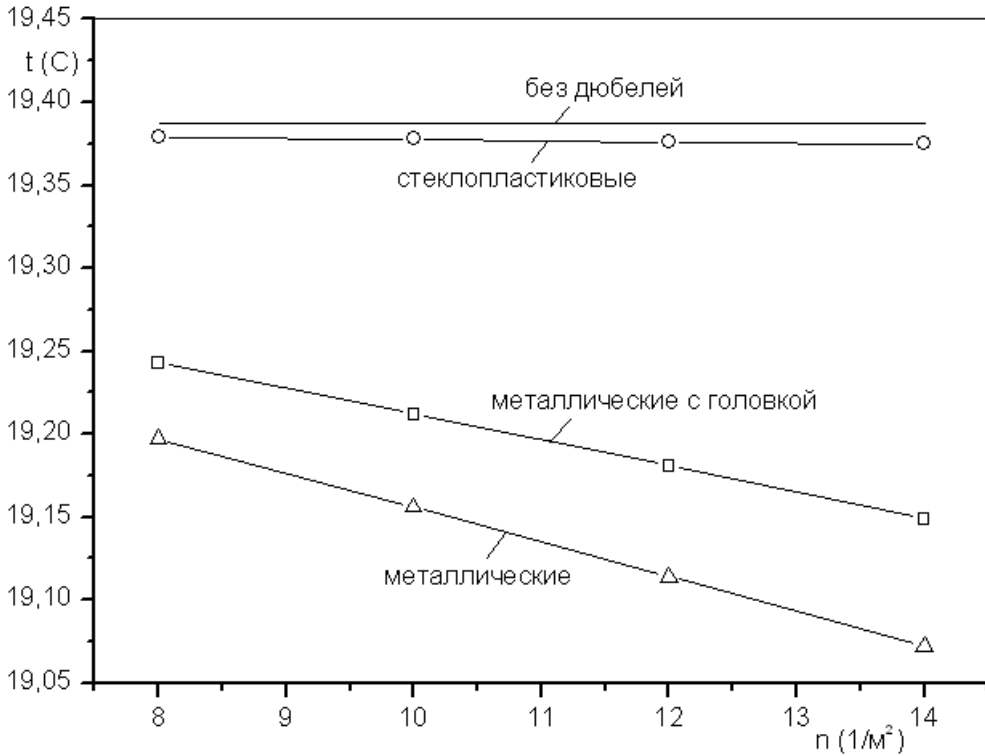


Рис.4.1. Зависимость внутренней температуры фасада от плотности расположения дюбелей при $d = 150$ мм.

Наименьшее влияние (около 0.01°C) на снижение температуры внутренней поверхности оказывали дюбеля со стеклопластиковыми распорными элементами. Существенно большее влияние на изменение температуры внутренней поверхности ($0.2 - 0.35^{\circ}\text{C}$) наблюдалось при использовании дюбелей с металлическими распорными элементами. При применении металлических распорных элементов с герметизирующей головкой влияние несколько уменьшалось (до $0.15 - 0.20^{\circ}\text{C}$).

Как показали расчеты, кирпичная кладка с внутренней стороны фасадной системы при всех рассмотренных вариантах распорных элементов дюбелей приводила к выравниванию температурного поля внутренней поверхности, и неравномерность температуры на внутренней поверхности во всех расчетах была $<0.01^{\circ}\text{C}$.

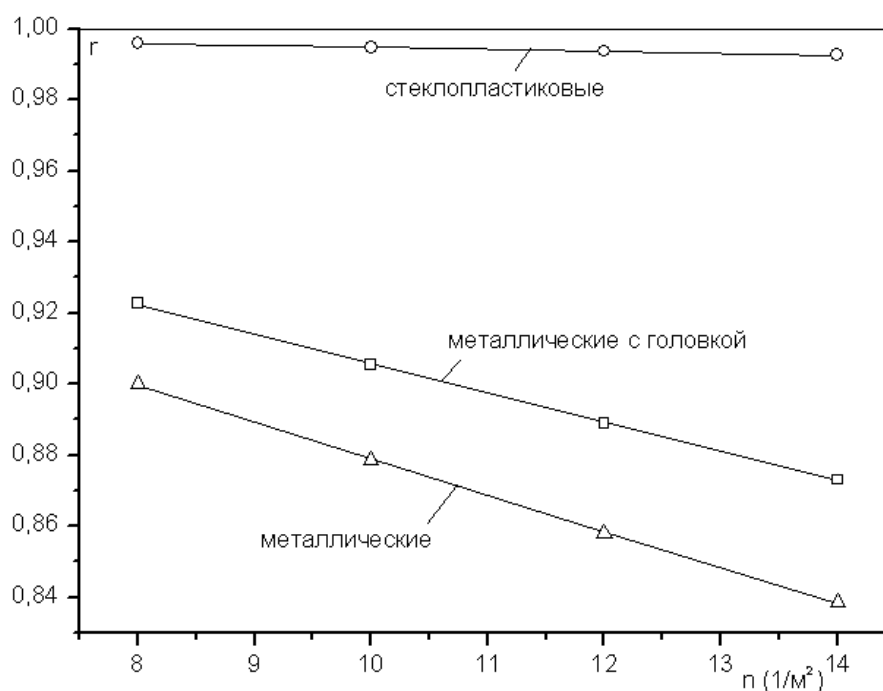


Рис.4.2. Зависимость коэффициента теплотехнической однородности фасада от плотности расположения дюбелей при $d = 150$ мм.

Зависимость теплотехнической однородности от плотности расположения дюбелей по результатам расчетов приведена на рис.4.2. Для фасада с применением дюбелей со стеклопластиковыми распорными элементами γ изменялась от 0.996 до 0.993 с увеличением плотности расположения дюбелей с 8 до 14 шт./м², для фасада с металлическими распорными

элементами – от 0.900 до 0.839, для фасада с металлическими распорными элементами с герметизирующей головкой – от 0.923 до 0.873. Таким образом, при плотности расположения дюбелей 14 шт./м² относительное снижение теплозащитных свойств фасада со 150 мм. теплоизоляции в зависимости от используемых распорных элементов составило:

- стеклопластиковы распорные элементы – 0.7%,
- стальные распорные элементы – 16 %,
- стальные распорные элементы с герметизирующей головкой – 13%.

Средние дополнительные тепловые потери на 1 дюбель при толщине слоя утеплителя 150 мм. согласно результатам расчетов в зависимости от применяемых распорных элементов были :

- стеклопластиковый распорный элемент – 1.27×10^{-4} Вт/°С,
- стальной распорный элемент - 3.23×10^{-3} Вт/°С,
- стальной распорный элемент с герметизирующей головкой – 2.44×10^{-3} Вт/°С.

Таким образом, дополнительные тепловые потери на 1 дюбель со стальным распорным элементом с герметизирующей головкой снижались по сравнению с дополнительными теплопотерями на 1 дюбель с металлическим распорным элементом в 1.3 раза, а стеклопластиковый распорный элемент приводил к снижению дополнительных теплопотерь на 1 дюбель по сравнению с дополнительными теплопотерями на 1 дюбель с металлическим распорным элементом в 25 раз.

Коэффициент теплотехнической однородности фасадной системы с тонким наружным штукатурным слоем при применении дюбелей со стеклопластиковыми распорными элементами близок к 1, поэтому зависимость приведенного сопротивления теплопередаче фасада от толщины утеплителя для данного крепления теплоизоляции практически не отличалась от зависимости для варианта расчета без использования дюбелей (рис.4.3). При применении дюбелей с металлическими крепежными элементами коэффициент теплотехнической однородности фасада заметно отличался от 1, особенно для достаточно толстого слоя теплоизоляции, поэтому на рис. 4.3

для фасада с дюбелями при использовании металлических распорных элементов наблюдалось значительное снижение приведенного сопротивления теплопередаче фасада по сравнению с результатами расчета приведенного сопротивления теплопередаче для варианта без учета дюбелей.

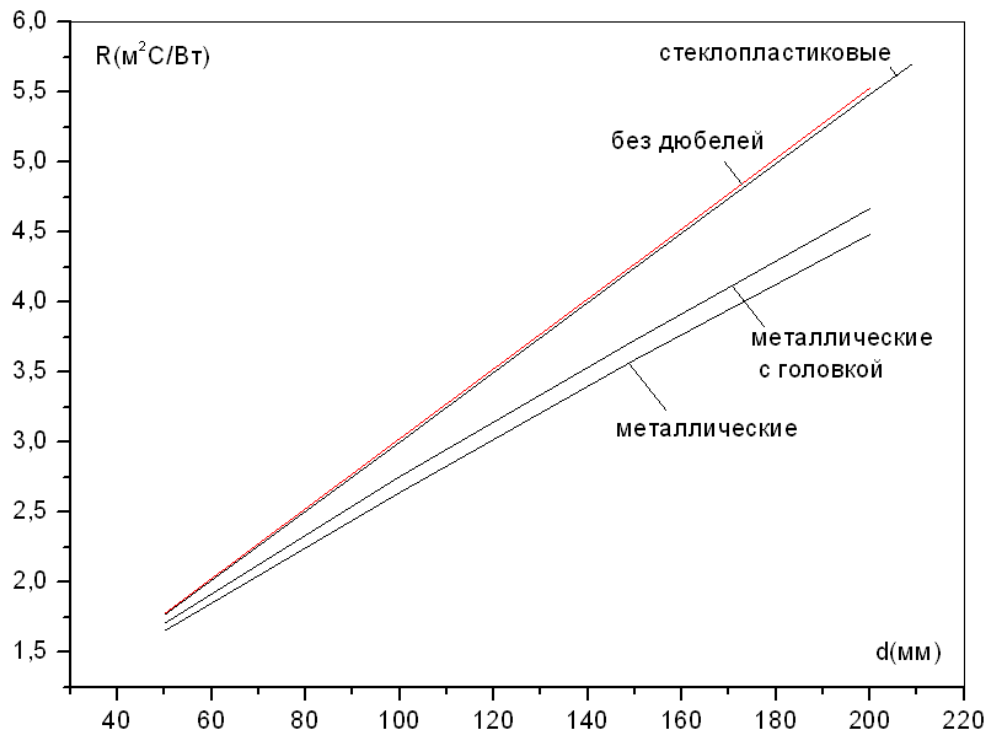


Рис.4.3. Зависимость приведенного сопротивления теплопередаче фасада от толщины слоя теплоизоляции.

Были выполнены расчеты с целью определения влияния плотности расположения дюбелей на толщину слоя утеплителя в фасадной системе, которая обеспечивала нормативные требования по приведенному сопротивлению теплопередаче стен жилых зданий в климатических условиях г. Новосибирска, $R = 3.79^\circ\text{С м}^2/\text{Вт}$. Из результатов расчетов следовало, что применение дюбелей со стеклопластиковыми распорными элементами практически не требует увеличения слоя теплоизоляции для компенсации дополнительных теплопотерь через дюбеля (рис.4.4). При использовании же дюбелей с металлическими распорными элементами, особенно стальных без герметизирующей полиамидной головки необходимо существенно увеличивать слой утеплителя для обеспечения нормативных требований по приведенному сопротивлению теплопередаче.

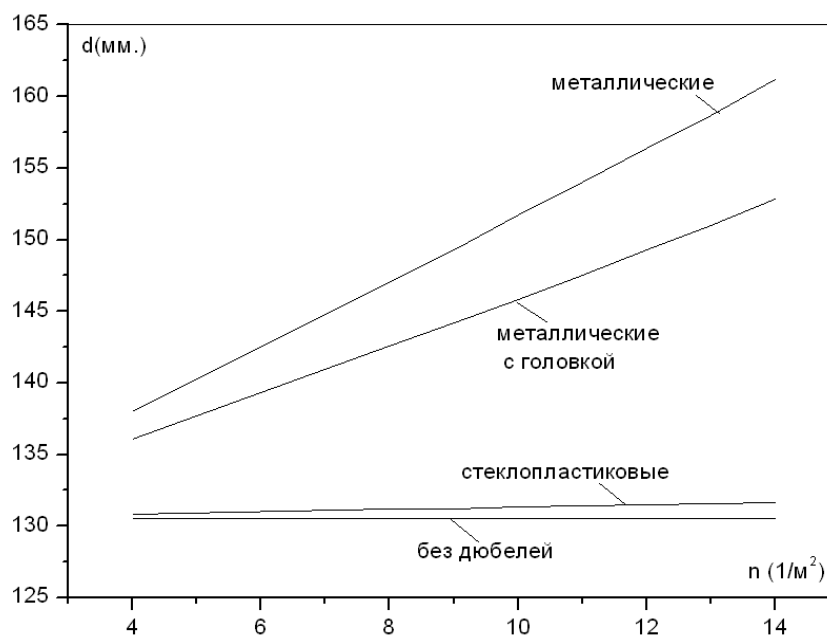


Рис.4.4. Зависимость толщины слоя утеплителя от плотности расположения дюбелей при нормативном значении приведенного сопротивления теплопередачи для стен жилых зданий в г. Новосибирске.

Общий вывод. Согласно выполненным теплотехническим расчетам применение в фасадной системе с тонким наружным штукатурным слоем дюбелей “Бийск” со стеклопластиковыми распорными элементами по сравнению с применением дюбелей со стальными распорными элементами или стальными распорными элементами с герметизирующей головкой обеспечивает существенное повышение коэффициента теплотехнической однородности фасадной системы и снижение толщины слоя утеплителя, необходимого для выполнения нормативных требований по тепловой защите.

Литература

1. СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий». М., 2004.
2. СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защита зданий». М., 2004..
3. СНиП 23-01-99* «Строительная климатология». М. 2000.
4. ГОСТ 30494-96. «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях». М. 1999.
5. СТО 20994511-001-2009. «Стандарт организации. Дюбели тарельчатые строительные стеновые забивные “Бийск”». Бийск, 2009.

**Распределение тепловых характеристик в фасадной системе при
применении дюбелей со стеклопластиковыми
распорными элементами**

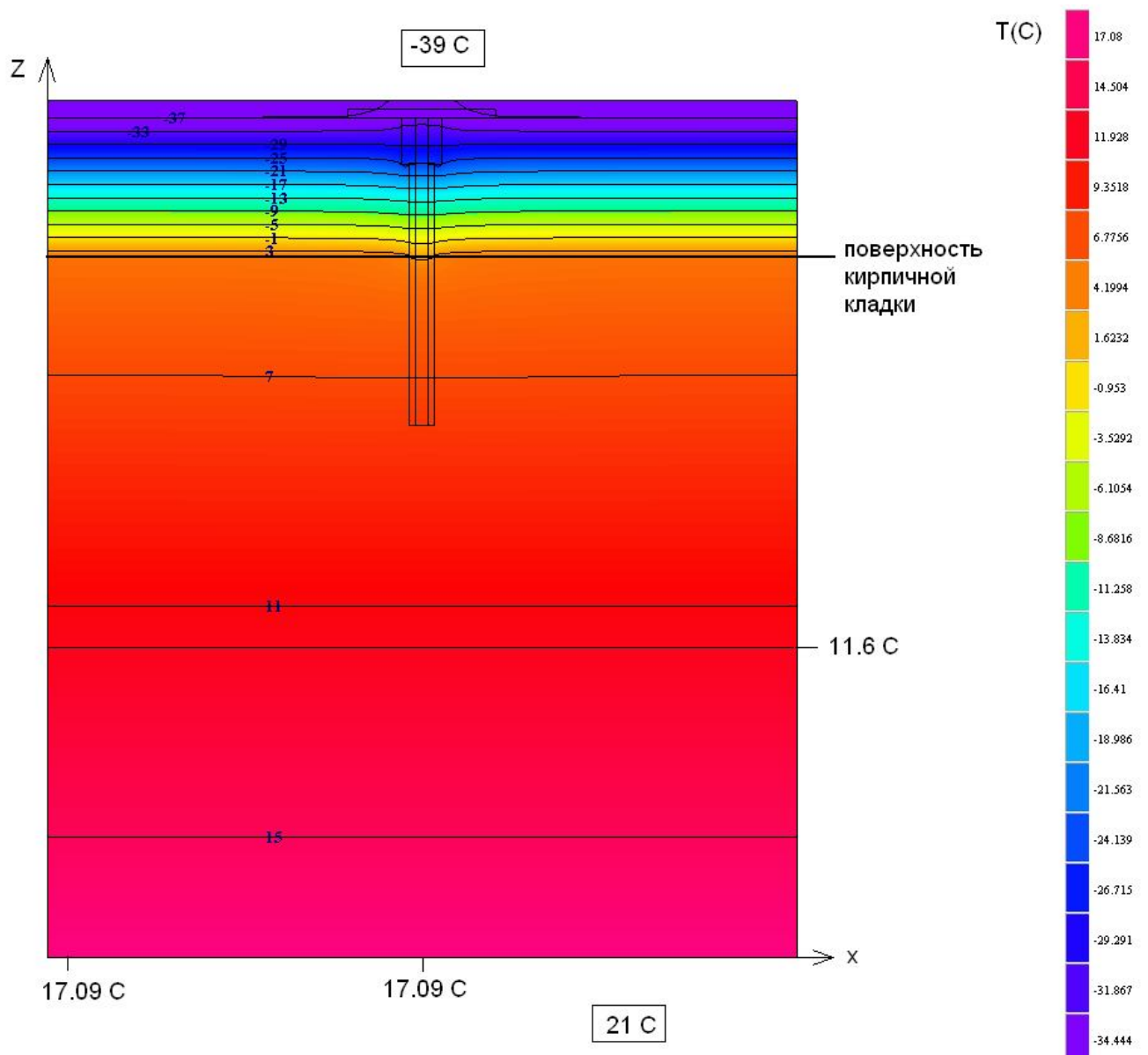


Рис.П.1.1. Распределение температуры в поперечном сечении фасада при толщине утеплителя 50 мм. и плотности расположения дюбелей 14 шт./м².

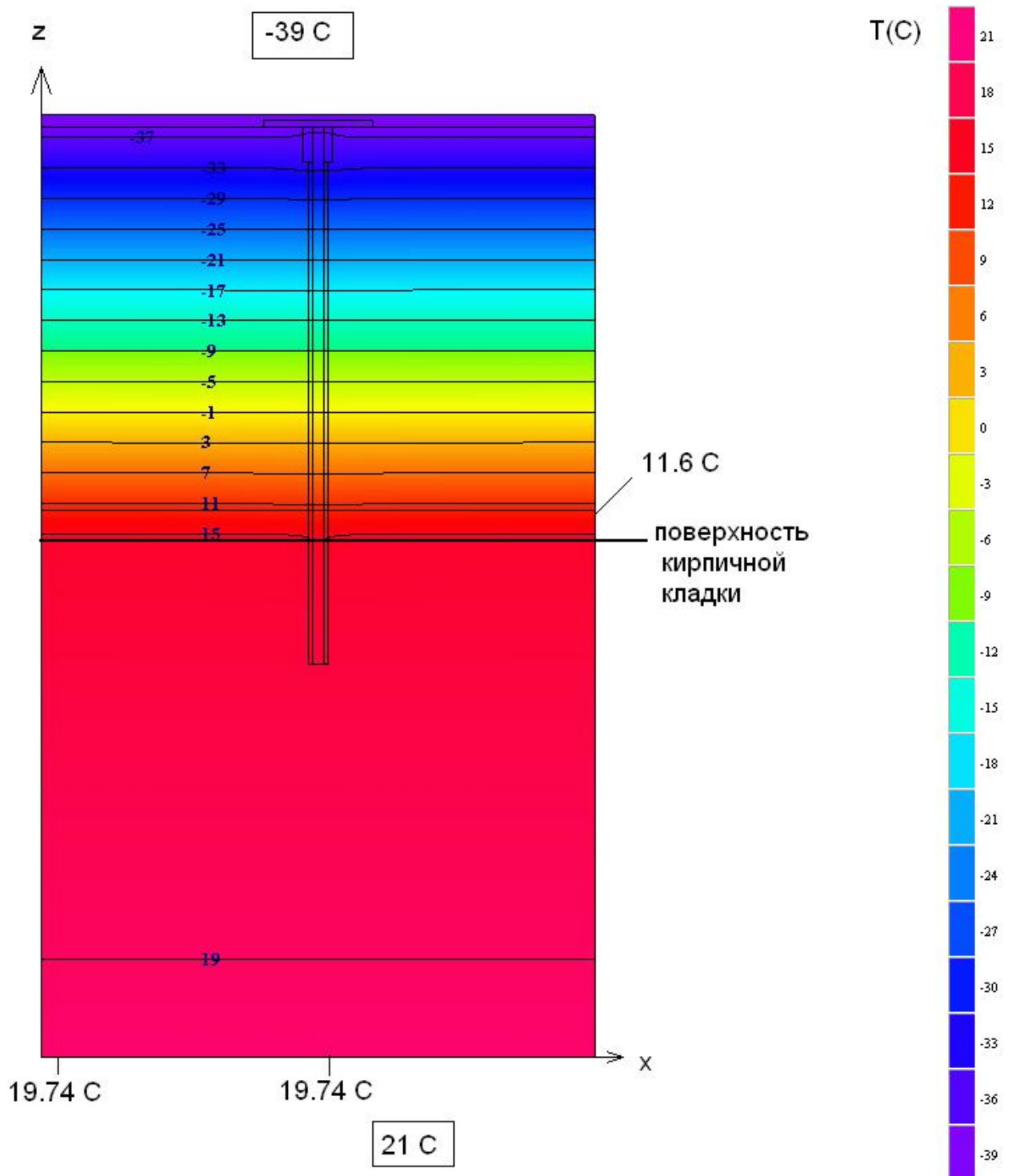


Рис.П.1.2. Распределение температуры в поперечном сечении фасада при толщине утеплителя 200 мм. и плотности расположения дюбелей 14 шт./м².

**Распределение тепловых характеристик в фасадной системе
при применении дюбелей с распорными элементами
из оцинкованной стали**

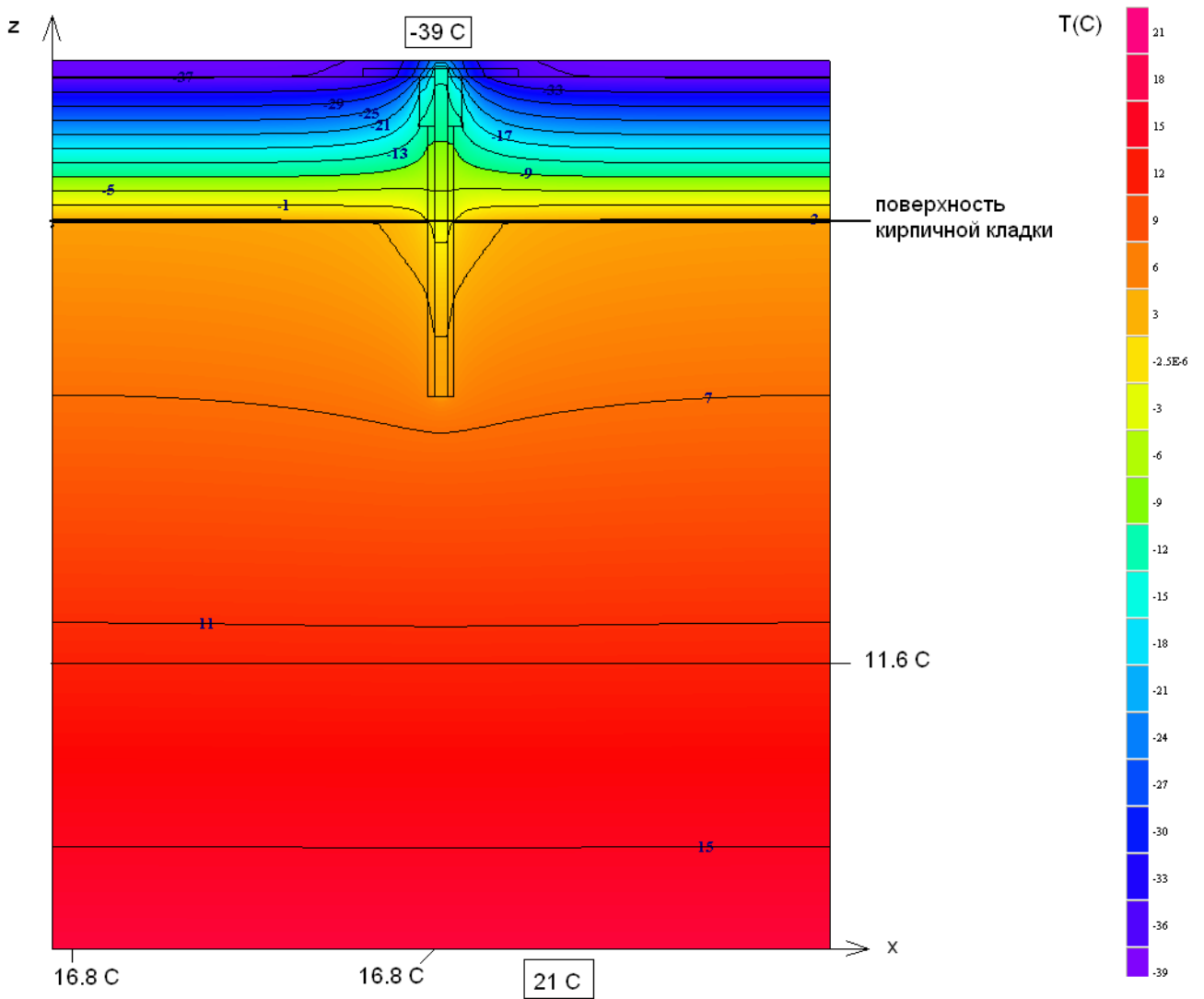


Рис.П.2.1. Распределение температуры в поперечном сечении фасада при толщине утеплителя 50 мм. и плотности расположения дюбелей 14 шт./м².

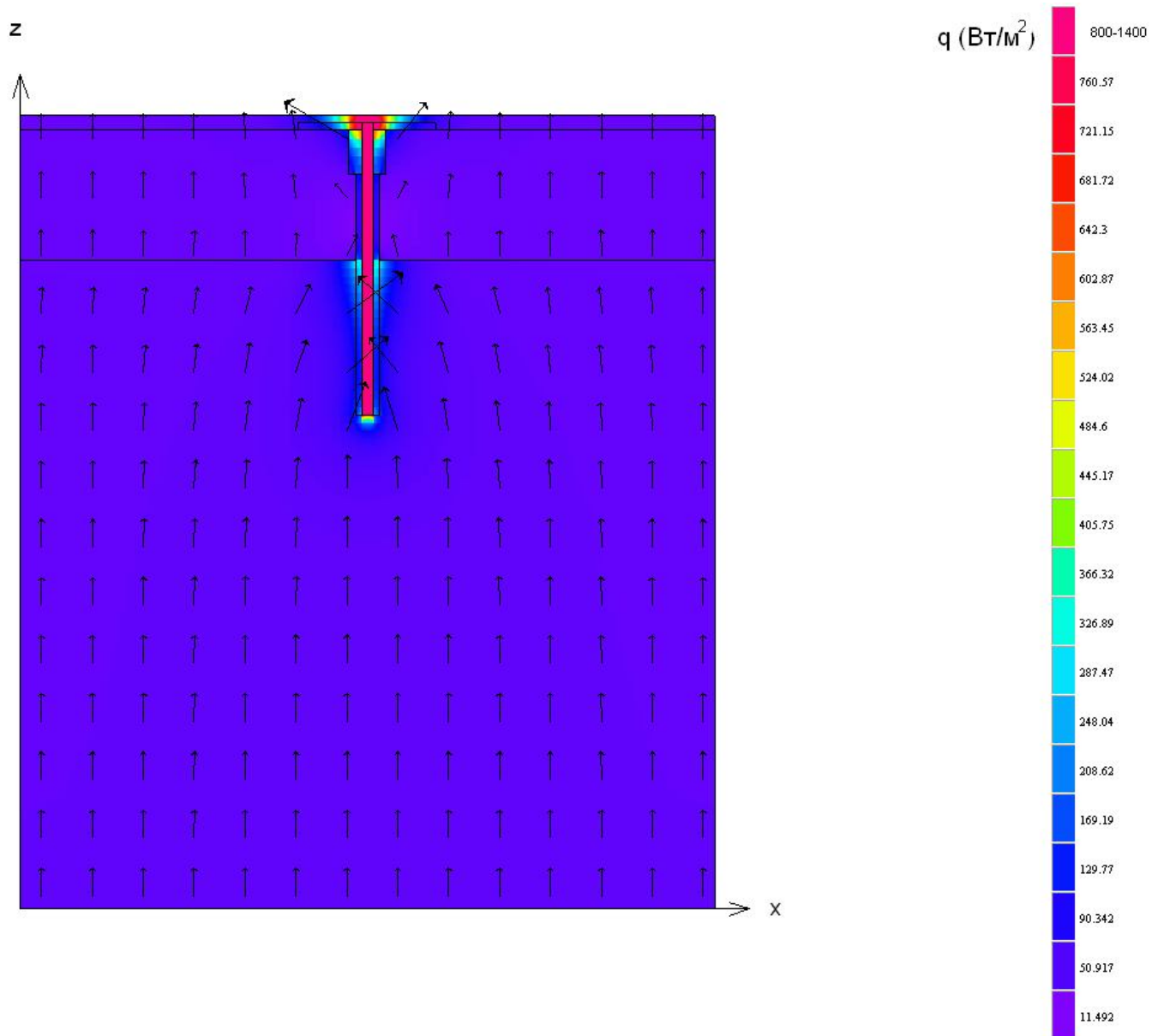


Рис.П.2.2. Распределение плотности теплового потока в поперечном сечении фасада при толщине утеплителя 50 мм. и плотности расположения дюбелей 14 шт./м².

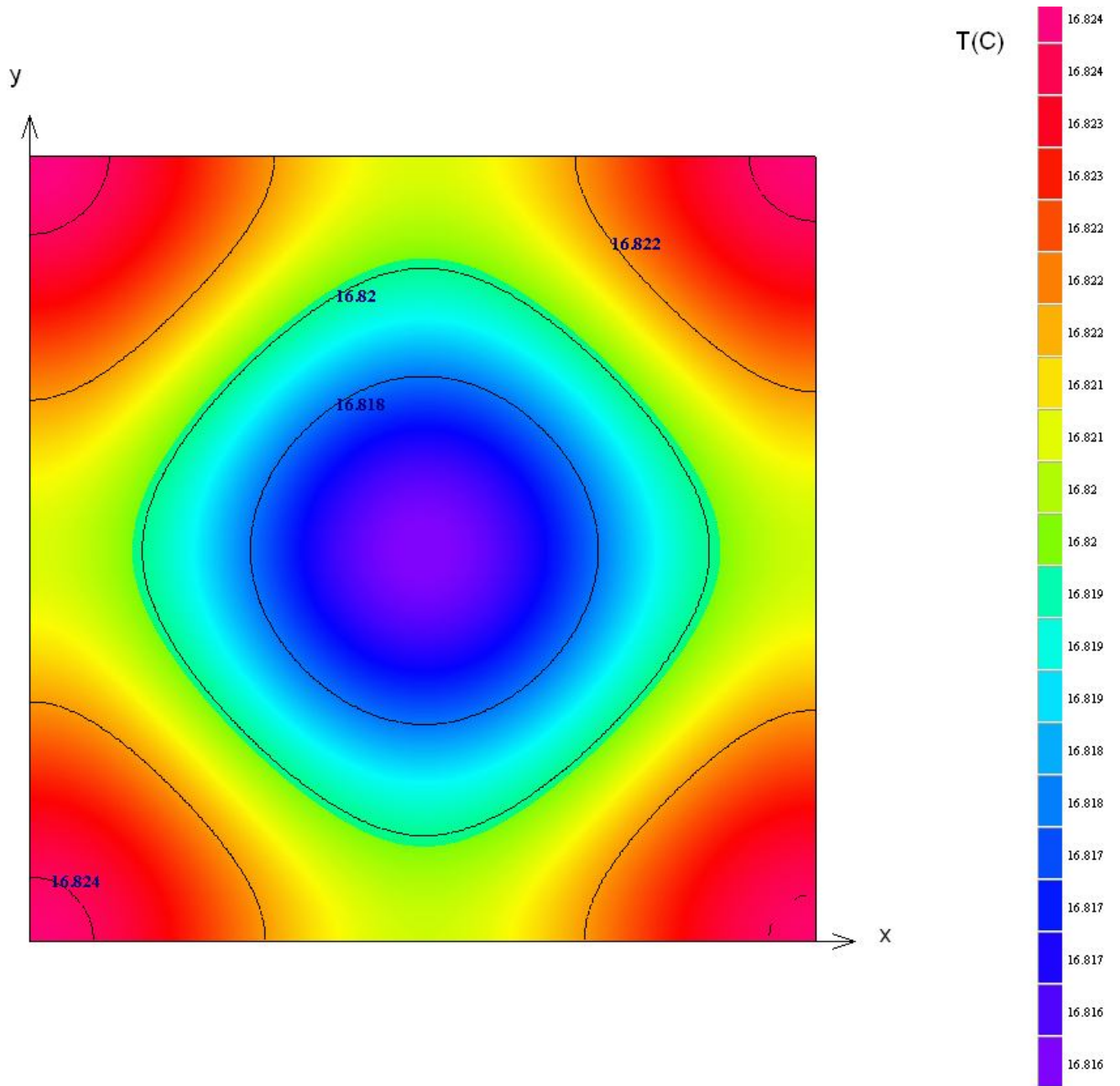


Рис.П.2.3. Распределение температуры на внутренней поверхности фасада при толщине утеплителя 50 мм. и плотности расположения дюбелей 14 шт./м².

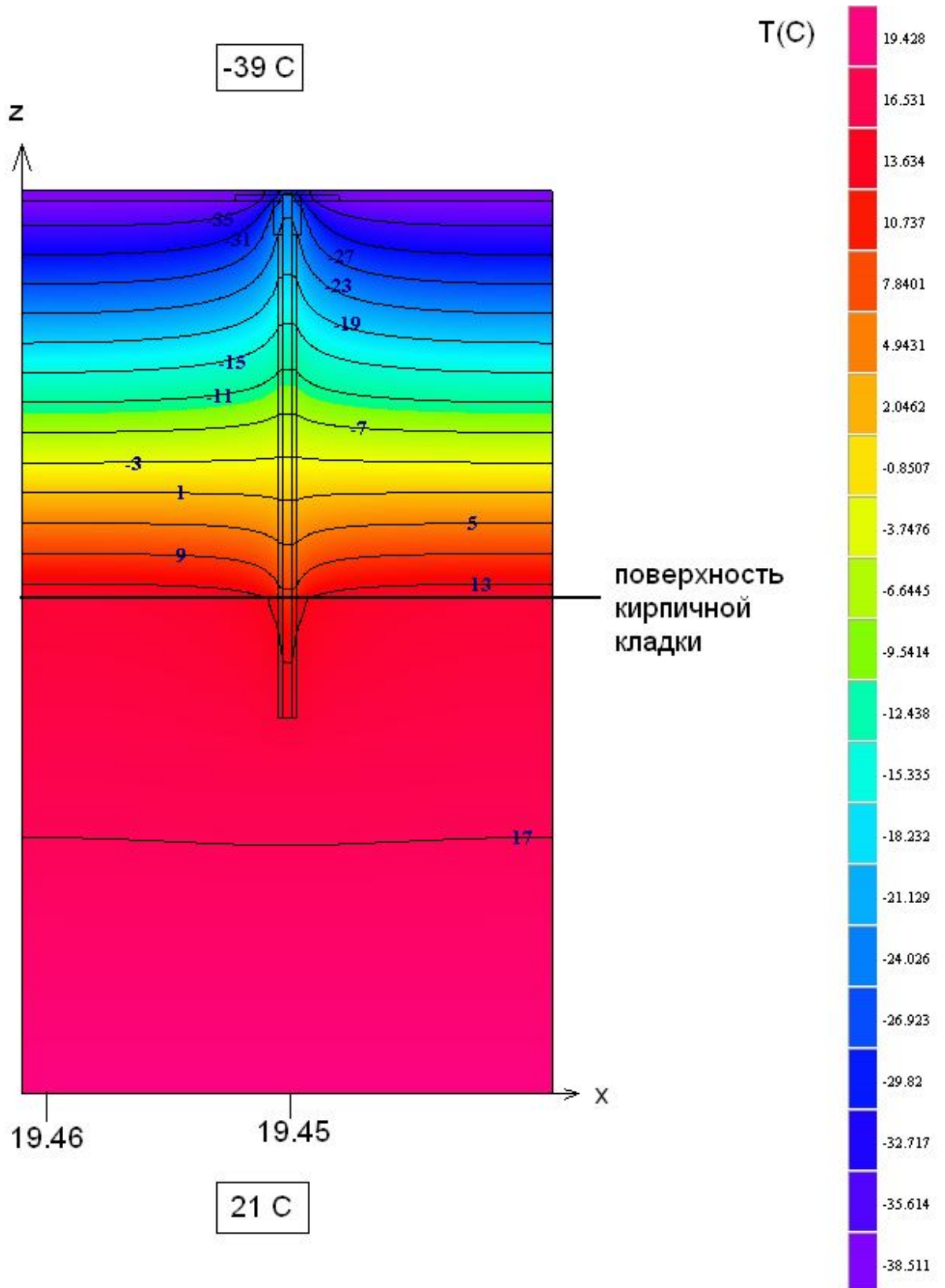


Рис.П.2.4. Распределение температуры в поперечном сечении фасада при толщине утеплителя 200 мм. и плотности расположения дюбелей 14 шт./м².

**Распределение тепловых характеристик в фасадной системе
при применении дюбелей с распорными элементами из
оцинкованной стали с герметизирующей головкой**

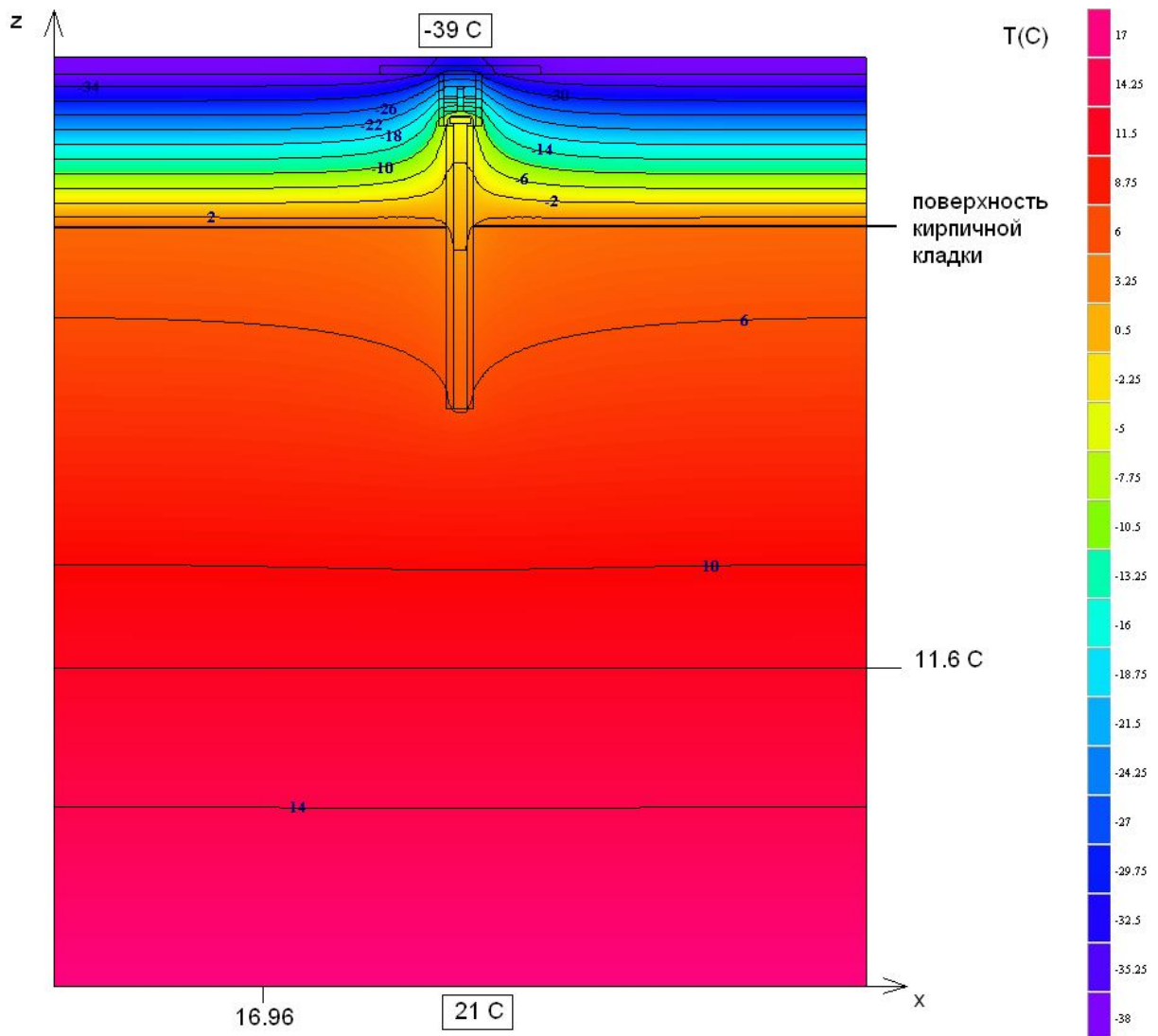


Рис.П.3.1. Распределение температуры в поперечном сечении фасада при толщине утеплителя 50 мм. и плотности расположения дюбелей 14 шт./м².

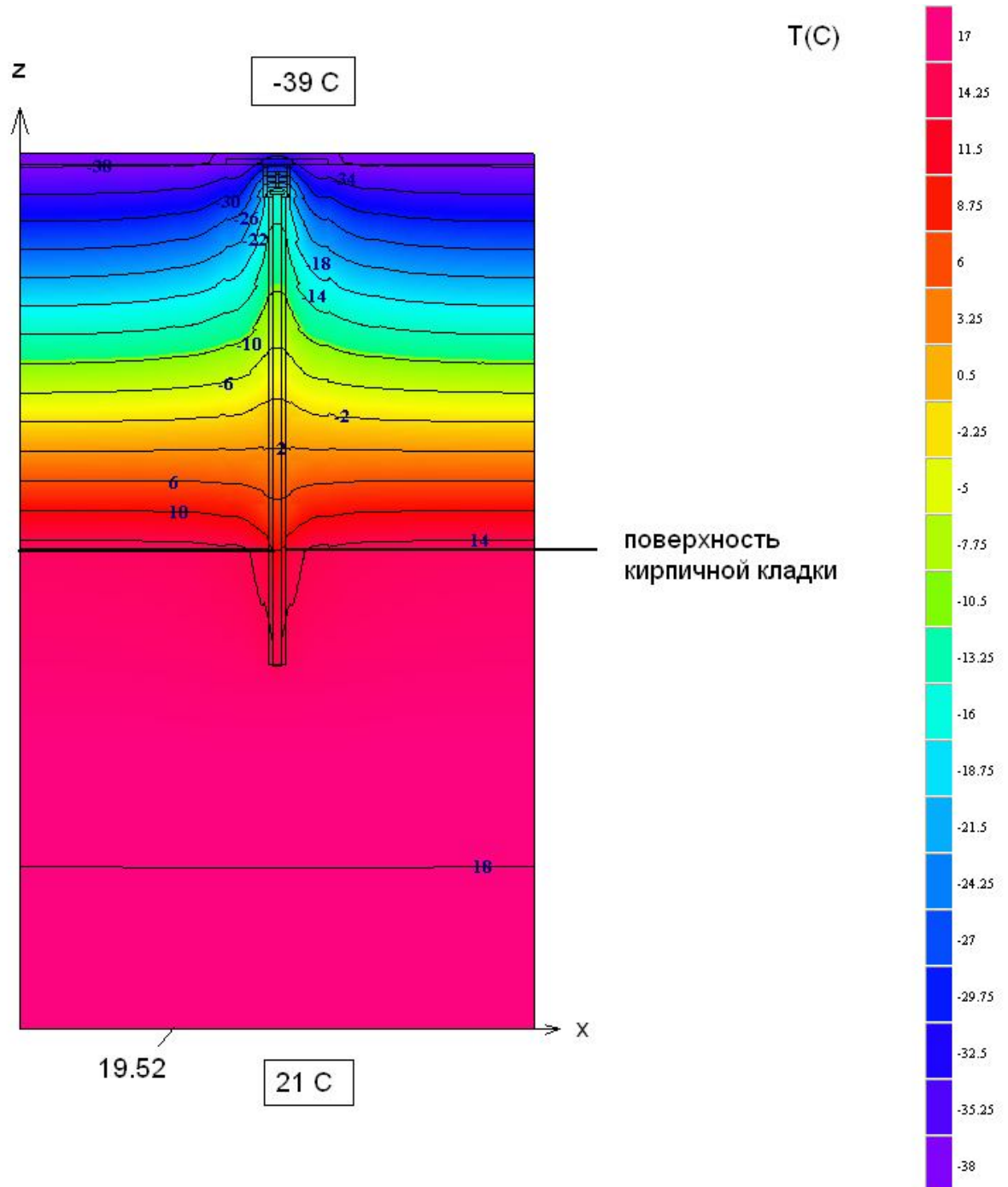


Рис.П.3.2. Распределение температуры в поперечном сечении фасада при толщине утеплителя 200 мм. и плотности расположения дюбелей 14 шт./м².