

УДК 666.1.031:666.76.043.2

## УНИВЕРСАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ВАРОЧНОГО БАССЕЙНА СТЕКЛОВАРЕННОЙ ПЕЧИ

Предложена оригинальная универсальная структура теплоизоляции варочного бассейна стекловаренных печей, предназначенных для варки окрашенных стекол различного химического состава. Разделение участков сплошной изоляции воздушной прослойкой обеспечивает снижение результирующего теплового потока в окружающую среду до 30 и 14 % для пода и стен ванны соответственно.

**Ключевые слова:** стекловаренная печь, варочный бассейн, структура футеровки, теплоизоляция, теплопередача.

При проектировании современных стекловаренных печей предусматривают возможность изменения химического состава стекла в процессе непрерывной эксплуатации. Наиболее сложным является изменение состава окрашенных стекол, характеризующихся высокой оптической плотностью и, как следствие, низкой радиационной теплопроводностью. Пригодность печи к варке стекол различного химического состава определяется конструкцией варочного бассейна и структурой теплоизоляции его поверхностей. Поэтому разработка универсальной структуры холодной футеровки ванны представляется актуальной проблемой.

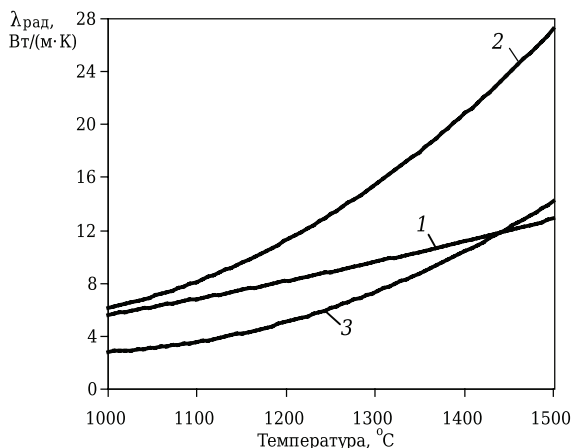
В зависимости от содержания оксидов железа и хрома окрашенные стекла имеют различные цвета (зеленый, коричневый и др.). В соответствии с диффузионной трактовкой процесса излучения [1] теплопроводность расплава стекла характеризуют эффективной теплопроводностью:  $\lambda_{\text{эф}} = \lambda_{\text{конд}} + \lambda_{\text{рад}}$ , где  $\lambda_{\text{эф}}$ ,  $\lambda_{\text{конд}}$  и  $\lambda_{\text{рад}}$  — эффективная, кондуктивная и радиационная теплопроводность соответственно, Вт/(м·К). Кондуктивная теплопроводность стекла определяется его химическим составом и рассчитывается по аддитивному уравнению [2]. Для твердого стекла  $\lambda_{\text{конд}} \approx 1,0$  Вт/(м·К). Влияние температуры на теплопередачу в поглощающем слое расплава учитывают радиационной составляющей теплопроводности. Результаты обработки экспериментальных данных, приведенных в статье [3], представлены полиномами, графическая интерпретация которых показана на рис. 1:

зеленое стекло [0,44 % ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ ), 0,25 %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ] —  $\lambda_{\text{рад}} = 0,1298 - 0,5 \cdot 10^{-3}t + 6,0 \cdot 10^{-6}t^2$ ;

коричневое стекло [0,53 % ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ ), 0,02 %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ] —  $\lambda_{\text{рад}} = 46,59 - 95,4 \cdot 10^{-3}t + 54,98 \cdot 10^{-6}t^2$ ;

желто-зеленое стекло [1,05 % ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ ), 0,07 %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ] —  $\lambda_{\text{рад}} = 37,8 - 73,45 \cdot 10^{-3}t + 38,5 \cdot 10^{-6}t^2$ .

Из рис. 1 видно, что у окрашенных стекол температурная зависимость радиационной теплопроводности значительно различается. Это обстоятельство учитывают при разработке структуры холодной футеровки варочного бассейна. Выбор теплоизоляции ванны базируется на результатах расчета теплопередачи через слой расплава стекла и кладку пода. Расчет выполняют по одномерному уравнению стационарной теплопроводности при смешанной постановке граничных условий I и III рода [4]. Граничные условия I рода задают температурой поверхности ванны при граничных условиях естественной конвекции (отсутствие выработки стекла). Для стекловаренной печи с инновационными параметрами технической эффективности среднюю температуру поверхности  $t_{\text{п}}$  стекломассы в зонах варки и освещения принимают равной 1404,8 и 1426,6 °С соответственно [5], а глубину ванны в зонах — 1,3 и 2,0 м соот-



**Рис. 1.** Температурная зависимость радиационной теплопроводности зеленого (1), коричневого (2) и желто-зеленого (3) стекла



В. Я. Дзюзер

E-mail: vdzuser@yandex.ru

ветственно [2]. Граничные условия III рода задают температурой окружающей среды (30 °С) и суммарным коэффициентом теплоотдачи от наружной поверхности кладки [6]. При граничных условиях естественной конвекции требование к минимальной энергоэффективности футеровки пода формализуют температурой придонного слоя  $t_{\text{дн}} = 1250 \div 1300$  °С [2, 6]. При сравнении вариантов холодной футеровки учитывают плотность теплового потока в окружающую среду и градиент температуры по глубине ванны.

В футеровке дна ванны выделяют огнеупорную и теплоизоляционную составляющие. Многослойная огнеупорная кладка (рис. 2, поз. 1–6) обеспечивает коррозионную стойкость пода к воздействию расплава стекла и капель металла. Ее структура принята на основе практического опыта эксплуатации высокопроизводительных стекловаренных печей [2]. Термическое сопротивление огнеупорной кладки незначительно и не обеспечивает получение технологически обусловленной температуры придонного слоя расплава. Например, для зеленой стекломассы в зоне варки суммарное термическое сопротивление слоя стекла и огнеупорной кладки  $R = 0,46$  м<sup>2</sup>·К/Вт и  $t_{\text{дн}} = 1034,5$  °С. Повышение  $R$  кладки пода и, как следствие,  $t_{\text{дн}}$  обеспечивает теплоизоляция огнеупорной футеровки.

Известные энергоэффективные структуры холодной футеровки пода ванны выполнены импортными теплоизоляционными материалами. Они различаются толщиной холодной футеровки (130–325 мм) и теплофизическими свойствами. При однородной структуре теплоизоляции предел прочности изделий при сжатии прини-

мают равным 8–10 МПа. При комбинированной структуре такой прочностью обладает кирпич, устанавливаемый под стык донных брусьев. Пространство между ребрами жесткости заполняют несколькими слоями теплоизоляционных материалов с более низкими механической прочностью и теплопроводностью [7].

На рис. 2 показана холодная футеровка пода ванны толщиной 260 мм, в которой использованы теплоизоляционные изделия по ГОСТ 5040–2015 (табл. 1). Физическую нагрузку от слоя стекла и горячей футеровки дна воспринимают ребра жесткости шириной 230 мм, выполненные муллитовым огнеупором МЛТ-1,0. Металлический лист постели пода между ребрами жесткости защищен слоем (65 мм) муллитокремнеземистого огнеупора МКРТ-0,7. Продольные стыки донных брусьев опираются на слои (172 мм) огнеупора МКРТ-0,7, разделенные воздушной прослойкой шириной 228 мм. Дискретная структура холодной футеровки обеспечивает необходимую механическую прочность кладки пода и благодаря низкой теплопроводности воздуха ( $\lambda_{\text{эф}} = 0,0249 + 0,07 \cdot 10^{-3}t - 0,014 \cdot 10^{-6}t^2$ ) создает условия для повышения средней (по площади поверхности) величины суммарного термического сопротивления слоя стекла и кладки пода  $R_{\text{ср}}$ .

Рассмотрим результаты расчета теплопередачи через ванну, заполненную зеленой стекломассой. Для сплошной структуры холодной футеровки дна, выполненной огнеупорами МЛТ-1,0 и МКРТ-0,7,  $R_{\text{ср}}$  ванны в зонах варки и освещения составляет 0,98 и 1,06 м<sup>2</sup>·К/Вт соответственно. При этом  $t_{\text{дн}}$  и потери теплоты в окружающую среду в зонах равны 1251,9 и 1198,4 °С, 1299,6 и 1234,0 Вт/м<sup>2</sup> соответственно. Значительные поте-

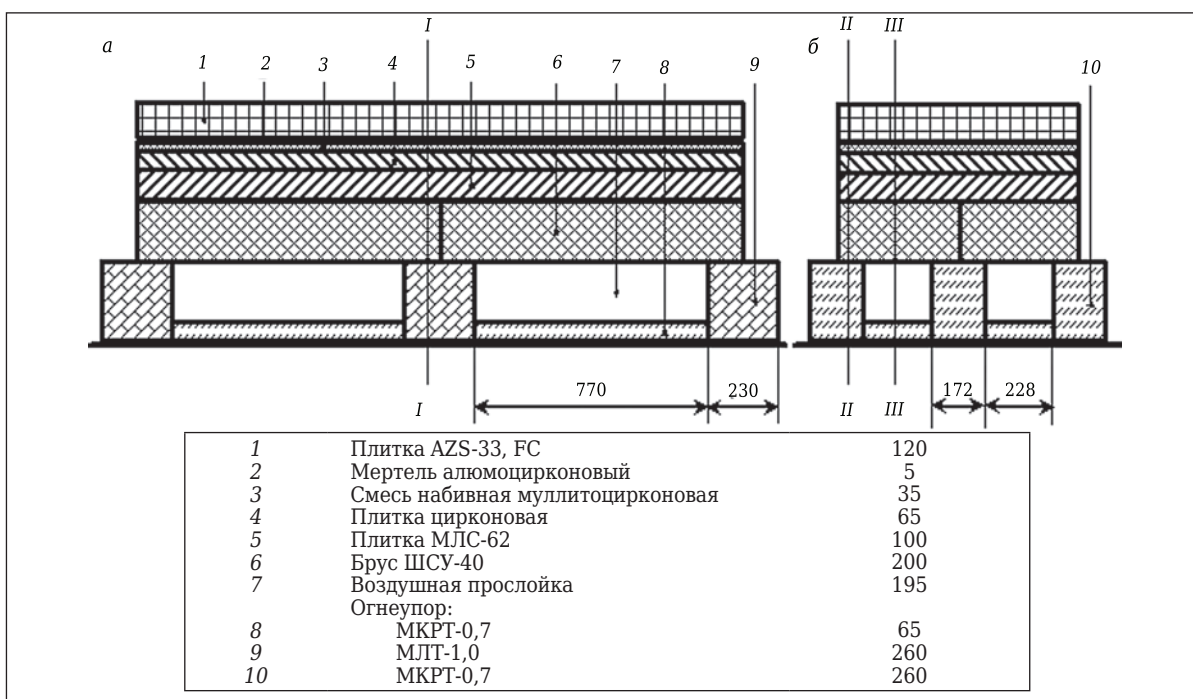


Рис. 2. Фрагмент продольного (а) и поперечного (б) сечения кладки дна ванны (размеры указаны в мм)

Таблица 1. Характеристика изделий, использованных в футеровке варочного бассейна

№ п/п	Марка изделия	Температура применения, °C	Теплопроводность, Вт/(м·K)
1	AZS-33 (33 % ZrO <sub>2</sub> )	1700	$6,24 - 7,17 \cdot 10^{-3}t + 5,0 \cdot 10^{-6}t^2$
2	AZS-41 (41 % ZrO <sub>2</sub> )	1700	$4,5 - 2,3 \cdot 10^{-3}t + 1,93 \cdot 10^{-6}t^2$
3	Плитка цирконовая (64 % ZrO <sub>2</sub> )	1650	$2,7 - 0,757 \cdot 10^{-3}t + 0,25 \cdot 10^{-6}t^2$
4	ШСУ-40	1400	$1,15 + 0,2 \cdot 10^{-3}t$
5	МЛС-62	1450	$1,787 - 0,519 \cdot 10^{-3}t + 0,216 \cdot 10^{-6}t^2$
6	МЛТ-1,0 (62 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 10 МПа)	1550	$0,583 + 0,333 \cdot 10^{-3}t$
7	МКРТ-0,7 (50 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 3 МПа)	1400	0,4
8	Плита Kaowool™ Board 1400	1400*	$0,057 - 0,00018 \cdot 10^{-3}t + 0,12 \cdot 10^{-6}t^2$
9	Плита Kaowool™ Board 1260	1260*	$0,065 + 0,005 \cdot 10^{-3}t + 0,13 \cdot 10^{-6}t^2$
10	Мертель алюмоцирконовый (31 % ZrO <sub>2</sub> , 49 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1650	—
11	Смесь набивная муллитцирконовая (18 % ZrO <sub>2</sub> , 68 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1650	$2,5 - 1,8 \cdot 10^{-3}t + 0,8 \cdot 10^{-6}t^2$

\* Классификационная температура.

ри теплоты и низкая  $t_{\text{дн}}$  стекла в зоне освещения обусловлены недостаточным  $R$  футеровки пода.

Дискретная структура холодной футеровки пода в зонах варки и освещения (см. рис. 2) характеризуется  $R_{\text{ср}} = 1,38 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$  (табл. 2). Как следствие, в зоне варки среднее значение придонной температуры  $t_{\text{дн,ср}}$  возрастает на 46 °C, а средний тепловой поток  $q_{\text{ср}}$  уменьшается на 360,8 Вт/м<sup>2</sup> (27,8 %). В зоне освещения  $t_{\text{дн,ср}}$  повышается на 70,4 °C, а  $q_{\text{ср}}$  снижается на 338,4 Вт/м<sup>2</sup> (27,4 %). По сравнению со сплошной футеровкой дискретный вариант характеризуется уменьшением градиента температуры: в зоне варки от 117,6 до 82,2 °C/м, в зоне освещения от 114,1 до 78,9 °C/м. При этом средняя температура расплава в зонах варки и освещения повышается на 22,5 и 35,2 °C соответственно.

Из рассматриваемых марок стекла наибольшую радиационную теплопроводность имеет коричневое стекло (см. рис. 1). Поэтому несмотря на относительно низкое значение  $R$  кладки пода при сплошной структуре холодной футеровки (в зонах варки и освещения  $R_{\text{ср}}$  равно соответственно 0,93 и 0,96 м<sup>2</sup>·К/Вт),  $t_{\text{дн,ср}}$  (1313,1 и 1288,3 °C) удовлетворяет технологическим требованиям. Недостатком сплошной структуры теплоизоляции является высокий уровень потерь теплоты в окружающую среду: для зоны варки и освещения  $q_{\text{ср}}$  составляет соответственно 1374,0 и 1341,6 Вт/м<sup>2</sup>.

Дискретный вариант холодной футеровки (см. рис. 2) характеризуется следующими параметрами теплопередачи (табл. 3). В зоне варки  $R_{\text{ср}} = 1,34 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ ,  $t_{\text{дн,ср}} = 1342,5 \text{ °C}$  и  $q_{\text{ср}} = 971,9 \text{ Вт}/\text{м}^2$ , в зоне освещения  $R_{\text{ср}} = 1,37 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ ,  $t_{\text{дн,ср}} = 1332,6 \text{ °C}$  и  $q_{\text{ср}} = 969,4 \text{ Вт}/\text{м}^2$ . Таким образом, в зоне варки средняя температура расплава повышается на 14,7 °C, а средний тепловой поток уменьшается на 402,1 Вт/м<sup>2</sup> (29,3 %), в зоне освещения — на 22,2 °C и 372,2 Вт/м<sup>2</sup> (27,7 %) соответственно. Уменьшение тепловых потерь в окружающую среду способствует снижению градиента температуры по глубине ванны. По сравнению со сплошной футеровкой градиент температуры в зоне варки изменяется от 70,5 до 47,9 °C/м, в зоне освещения от 69,2 до 47,0 °C/м.

По сравнению с коричневым стеклом теплопередача через ванну, заполненную желто-зеленым расплавом, при сплошной структуре холодной футеровки дна характеризуется более высоким  $R$  и более низкими  $q_{\text{ср}}$  в окружающую среду: для зоны варки и освещения  $R_{\text{ср}}$  составляет 1,02 и 1,13 м<sup>2</sup>·К/Вт,  $q_{\text{ср}}$  1253,7 и 1148,3 Вт/м<sup>2</sup> соответственно. В то же время температура придонного слоя стекла (1216,9 и 1133,8 °C), его средняя температура (1310,8 и 1280,2 °C) и градиент температуры в зонах (144,5 и 146,4 °C/м) свидетельствуют о недостаточной энерго-

Таблица 2. Результаты расчета теплопередачи через ванну с расплавом зеленого стекла\*

Параметр	Глубина зоны варки 1,3 м			Глубина зоны освещения 2,0 м		
	I-I	II-II	III-III	I-I	II-II	III-III
$t_{\text{пл}}$ , °C	1404,8	1404,8	1404,8	1426,6	1426,6	1426,6
$t_{\text{дн}}$ , °C	1209,0	1264,3	1363,0	1136,6	1215,6	1363,2
$t_{1-2}$ , °C	1168,5	1235,9	1355,0	1096,3	1187,0	1355,2
$t_{2-3}$ , °C	1125,0	1203,6	1345,0	1056,1	1156,0	1345,2
$t_{3-4}$ , °C	1076,6	1167,2	1333,3	1011,4	1121,3	1333,5
$t_{4-5}$ , °C	967,6	1085,6	1307,3	910,6	1043,2	1307,6
$t_{5-6}$ , °C	722,7	907,0	1252,8	681,5	871,0	1253,0
$t_{6-7}$ , °C	—	—	130,4	—	—	130,5
$t_{\text{нар}}$ , °C	145,5	123,6	68,1	139,7	120,7	68,1
$R$ , м <sup>2</sup> ·К/Вт	0,79	1,07	3,48 (2,93)	0,86	1,13	3,55 (2,93)
$q$ , Вт/м <sup>2</sup>	1615,2	1205,3	383,4	1500,1	1154,5	383,5
$t_{\text{дн,ср}}$ , °C	1297,9	1297,9	1297,9	1268,8	1268,8	1268,8
$t_{\text{нар,ср}}$ , °C	107,6	107,6	107,6	104,9	104,9	104,9
$R_{\text{ср}}$ , м <sup>2</sup> ·К/Вт	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38
$q_{\text{ср}}$ , Вт/м <sup>2</sup>	938,8	938,8	938,8	895,6	895,6	895,6

\*  $t_{1-2}$  — температура между слоями футеровки;  $t_{\text{нар}}$  — температура наружной поверхности футеровки; I-I — номер расчетного сечения (см. рис. 2); остальные обозначения — в тексте.

Таблица. 3. Результаты расчета теплопередачи через ванну с расплавом коричневого стекла

Параметр	Глубина зоны варки 1,3 м			Глубина зоны освещения 2,0 м		
	I-I	II-II	III-III	I-I	II-II	III-III
$t_n, ^\circ\text{C}$	1404,8	1404,8	1404,8	1426,6	1426,6	1426,6
$t_{\text{дн}}, ^\circ\text{C}$	1284,0	1321,3	1381,0	1243,1	1300,6	1391,2
$t_{\text{нар}}, ^\circ\text{C}$	151,6	127,0	68,8	148,3	125,8	69,1
$R, \text{м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$	0,79	1,02	3,42 (2,91)	0,78	1,05	3,44 (2,90)
$q, \text{Вт}/\text{м}^2$	1737,7	1265,3	391,0	1670,5	1243,4	395,3
$t_{\text{дн. ср}}, ^\circ\text{C}$	1342,5	1342,5	1342,5	1332,6	1332,6	1332,6
$t_{\text{нар. ср}}, ^\circ\text{C}$	109,6	109,6	109,6	109,5	109,5	109,5
$R_{\text{ср}}, \text{м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$	1,34	1,34	1,34	1,37	1,37	1,37
$q_{\text{ср}}, \text{Вт}/\text{м}^2$	971,9	971,9	971,9	969,4	969,4	969,4

эффективности теплоизоляции пода. Относительно низкая радиационная теплопроводность желто-зеленого стекла (см. рис. 1), обусловленная повышенным содержанием оксида железа, предполагает применение теплоизоляции дна с более высоким термическим сопротивлением.

На примере желто-зеленого стекла с высокой оптической плотностью наиболее ярко проявляется энергоэффективность дискретной структуры теплоизоляции (см. рис. 2). Включение в структуру холодной футеровки пода участков с воздушной прослойкой позволяет обеспечить не только технологически обусловленный уровень  $t_{\text{дн. ср}}$  расплава, но и низкие  $q_{\text{ср}}$  в окружающую среду (табл. 4). В зоне варки  $R_{\text{ср}} = 1,44 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$ ,  $t_{\text{дн. ср}} = 1282,2 ^\circ\text{C}$  и  $q_{\text{ср}} = 906,3 \text{ Вт}/\text{м}^2$ , в зоне освещения  $R_{\text{ср}} = 1,55 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$ ,  $t_{\text{дн. ср}} = 1250 ^\circ\text{C}$  и  $q_{\text{ср}} = 835,1 \text{ Вт}/\text{м}^2$ . При этом средняя температура расплава в зонах варки и освещения равна 1343,5 и 1338,3  $^\circ\text{C}$  соответственно, градиент температуры 94,3 и 88,3  $^\circ\text{C}/\text{м}$  соответственно, что сопоставимо с параметрами теплопередачи зеленого стекла. Результаты расчета теплопередачи свидетельствуют о том, что применение дискретной структуры холодной футеровки пода ванны

обеспечивает технологически обусловленный уровень придонной температуры при варке промышленных марок окрашенных стекол.

Для теплоизоляции боковых стен ванны используют легковесный кирпич и стекловолоконистые огнеупорные плиты, изготовленные по СТО 05802307-1-016-2011. Вертикальные швы примыкания палисадных бадделейтокорундовых брусев не изолируются (рис. 3). Первый слой теплоизоляции выполняют муллитовым огнеупором МЛТ-1,0, второй слой (огнеупор МКРТ-0,7) устанавливают с разрывом 140 мм. Замкнутую воздушную полость внутри второго слоя перекрывают плитами Kaowool™ Board 1400 (50 мм) и Kaowool™ Board 1260 (50 и 20 мм).

Расчет теплопередачи через боковую стенку ванны, заполненной коричневой стекломассой, выполнен при средней температуре внутренней поверхности бруса AZS в зонах варки и освещения  $t_{\text{вн. ср}}$  1369,4 и 1373,3  $^\circ\text{C}$  соответственно (табл. 5). Комбинированная структура теплоизоляции характеризуется  $R_{\text{ср}} = 1,51 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$ . По сравнению со сплошной изоляцией тепловой поток в окружающую среду в зонах варки и освещения уменьшается на 13,2 и 13,8 % соответственно.

Таблица. 4. Результаты расчета теплопередачи через ванну с расплавом желто-зеленого стекла

Параметр	Глубина зоны варки 1,3 м			Глубина зоны освещения 2,0 м		
	I-I	II-II	III-III	I-I	II-II	III-III
$t_n, ^\circ\text{C}$	1404,8	1404,8	1404,8	1426,6	1426,6	1426,6
$t_{\text{дн}}, ^\circ\text{C}$	1151,3	1233,5	1358,9	1024,6	1158,2	1358,3
$t_{\text{нар}}, ^\circ\text{C}$	140,9	121,8	68,0	130,4	117,1	68,0
$R, \text{м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$	0,84	1,10	3,50 (2,93)	0,98	1,18	3,56 (2,93)
$q, \text{Вт}/\text{м}^2$	1523,2	1173,2	381,7	1326,7	1095,0	381,5
$t_{\text{дн. ср}}, ^\circ\text{C}$	1282,2	1282,2	1282,2	1250,0	1250,0	1250,0
$t_{\text{нар. ср}}, ^\circ\text{C}$	105,6	105,6	105,6	101,0	101,0	101,0
$R_{\text{ср}}, \text{м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$	1,44	1,44	1,44	1,55	1,55	1,55
$q_{\text{ср}}, \text{Вт}/\text{м}^2$	906,3	906,3	906,3	835,1	835,1	835,1

Таблица. 5. Результаты расчета теплопередачи через боковую стенку ванны (коричневое стекло)

Параметр	Зона варки		Зона освещения	
	сплошная изоляция	дискретная изоляция	сплошная изоляция	дискретная изоляция
$t_{\text{вн. ср}}, ^\circ\text{C}$	1369,4	1369,4	1373,3	1373,3
$t_{1-2}, ^\circ\text{C}$	1319,5	1339,1	1323,3	1342,9
$t_{2-3}, ^\circ\text{C}$	1256,7	1301,1	1260,3	1304,8
$t_{3-4}, ^\circ\text{C}$	1097,9	837,5	1100,7	839,8
$t_{4-5}, ^\circ\text{C}$	801,9	582,8	804,3	584,6
$t_{5-6}, ^\circ\text{C}$	366,7	249,6	368,0	250,5
$t_{\text{нар}}, ^\circ\text{C}$	99,8	77,3	100,0	77,4
$q, \text{Вт}/\text{м}^2$	977,3	597,1	982,1	599,8
$q_{\text{ср}}, \text{Вт}/\text{м}^2$	847,8	847,8	846,4	846,4



При этом температура наружной поверхности холодной футеровки не превышает 93 °С.

Неоднородная температура по длине варочного бассейна предполагает дифференцированный подход к выбору материалов для теплоизоляции боковых стен. Принципиально важным является формирование структуры холодной футеровки с внутренней воздушной полостью.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка стекловаренных печей с инновационными параметрами технической эффективности предусматривает использование универсальной структуры теплоизоляции варочного бассейна. При определении требований к холодной футеровке ванны следует учитывать не только ее энергоэффективность, но и пригодность к варке стекла различного химического состава. Последнее условие является особенно важным в современной практике промышленного производства, ориентированной на конъюнктуру рынка.

### Библиографический список

1. **Hottel, H.** Radiant transfer / H. Hottel, A. Sarofim. — N. Y. : McGraw-Hill, 1967. — 520 p.
2. **Дзюзер, В. Я.** Проектирование энергоэффективных стекловаренных печей : монография / В. Я. Дзюзер, В. С. Швыдкий. — М. : Теплотехник, 2009. — 340 с.
3. **Endrys, I.** Study of the high-temperature spectral behavior of container glass / I. Endrys, F. Geotti-Bianchini, De Riu Luca // Glass science and technology. — 1997. — Vol. 70, № 5. — P. 126–136.
4. **Дзюзер, В. Я.** Расчет и конструирование варочного бассейна стекловаренных печей тарного стекла / В. Я. Дзюзер // Стекло и керамика. — 2009. — № 11. — С. 3–8.
5. **Дзюзер, В. Я.** Граничные условия для расчета футеровки стекловаренной печи с инновационными параметрами технической эффективности / В. Я. Дзюзер, В. С. Швыдкий // Новые огнеупоры. — 2015. — № 12. — С. 9–12.

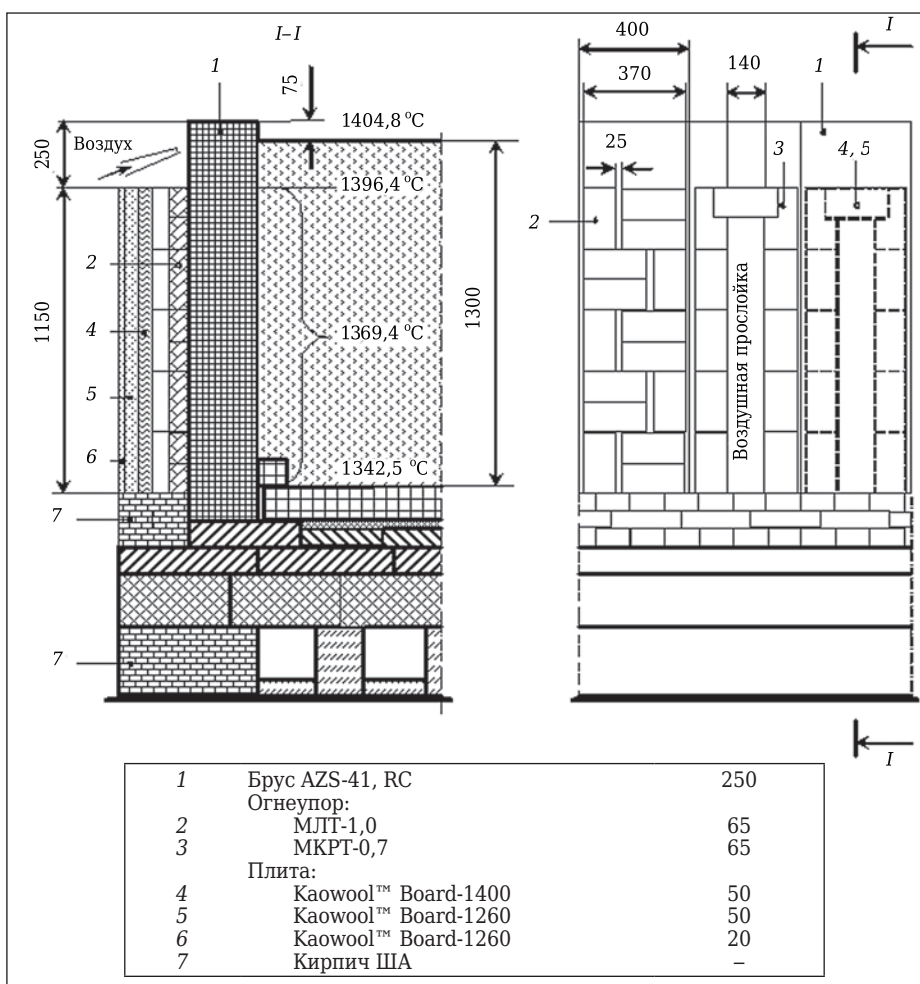


Рис. 3. Структура дискретной теплоизоляции боковой стенки ванны в зоне варки (размеры указаны в мм)

**Dzyuzer, V. Ya.** Boundary conditions for designing the lining of a glass-founding furnace with innovative parameters to improve technical efficiency / V. Ya. Dzyuzer, V. S. Shvydkii // Refractories and Industrial Ceramics. — 2016. — Vol. 56, № 6. — P. 597–600.

6. **Дзюзер, В. Я.** Энергоэффективная тепловая изоляция бадделеитокорундовой кладки в стекловаренных печах / В. Я. Дзюзер // Новые огнеупоры. — 2013. — № 10. — С. 13–16.

**Dzyuzer, V. Ya.** Energy-efficient thermal insulation for the baddeleyite-corundum lining of glass-founding furnaces / V. Ya. Dzyuzer // Refractories and Industrial Ceramics. — 2014. — Vol. 54, № 5. — P. 358–361.

7. **Дзюзер, В. Я.** Основы разработки теплоизолированного пода стекловаренной печи / В. Я. Дзюзер // Новые огнеупоры. — 2014. — № 9. — С. 31–34.

**Dzyuzer, V. Ya.** Basis for the development of the heat-insulating floor of a glassmaking furnace / V. Ya. Dzyuzer // Refractories and Industrial Ceramics. — 2015. — Vol. 55, № 5. — P. 444–447. ■

Получено 06.07.17  
© В. Я. Дзюзер, 2018 г.