

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202490562 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2024.04.05

(51) Int. Cl. C03B 5/03 (2006.01)
C03B 5/04 (2006.01)
C03B 5/185 (2006.01)
C03B 5/225 (2006.01)
C03B 5/235 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2022.08.18

(54) СЕГМЕНТИРОВАННАЯ СТЕКЛОПЛАВИЛЬНАЯ ПЕЧЬ

(31) 21193304.9; 21200998.9

(72) Изобретатель:

(32) 2021.08.26; 2021.10.05

Бьюль Франсуа, Буржуа Николас,
Хабиби Закариа, Фасило Фабрис (BE)

(33) EP

(86) PCT/EP2022/073108

(74) Представитель:

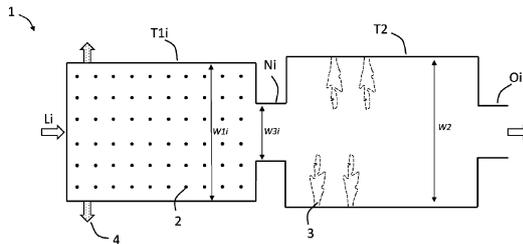
(87) WO 2023/025661 2023.03.02

Квашнин В.П. (RU)

(71) Заявитель:

АГК ГЛАСС ЮРОП (BE)

(57) Настоящее изобретение относится к печи для плавления способных превращаться в стекло материалов, содержащей (i) по меньшей мере один плавильный резервуар T1 с куполом, снабженным средствами электрического нагрева; (ii) резервуар T2 осветления с куполом и снабженный средствами нагрева за счет сгорания; (iii) по меньшей мере один узкий участок с куполом и разделяющий по меньшей мере один плавильный резервуар и резервуар осветления; при этом печь характеризуется следующим: W1 представляет собой по меньшей мере 1,4xW3; W3 представляет собой по меньшей мере 0,1xW2 и максимум 0,6xW2; при этом W1 представляет собой ширину резервуара T1; при этом W2 представляет собой ширину резервуара T2; при этом W3 представляет собой ширину узкого участка. Данная печь является особенно преимущественной, поскольку ее общее потребление энергии, а также ее потребление CO₂ значительно снижаются за счет высокой доли подводимого электричества (т. е. > 20% или даже 30%), при этом не ухудшаются или даже улучшаются ее механическая стабильность и срок службы печи.



202490562
A1

202490562
A1

СЕГМЕНТИРОВАННАЯ СТЕКЛОПЛАВИЛЬНАЯ ПЕЧЬ

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ, К КОТОРОЙ ОТНОСИТСЯ ИЗОБРЕТЕНИЕ

5 [0001] Настоящее изобретение относится к стеклоплавильной печи, предназначенной для непрерывной подачи расплавленного стекла в установки для формования стекла, такие как флоат-установки или прокатные установки. В частности, изобретение относится к стеклоплавильной печи, которая обеспечивает множество преимуществ, особенно с точки зрения потребления энергии, выбросов CO₂ и гибкости процесса.

10 [0002] Изобретение более конкретно относится, но без ограничения, к плавильным печам для плоского стекла, предполагающим большую производительность, т. е. до 1000 тонн в день или более, и потребляемую мощность до 60 МВт.

ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

15 [0003] В уровне техники способные превращаться в стекло материалы или сырьевые материалы для стекла плавят в стеклоплавильной печи, которая обычно содержит:

- резервуар, покрытый куполом, содержащий расплав при использовании печи;
- по меньшей мере одно впускное отверстие, расположенное раньше по ходу потока относительно печи, для загрузки в нее сырьевых материалов для стекла, подлежащих нагреванию;
- 20 - средства нагревания, расположенные в резервуаре, и
- по меньшей мере одно расположенное дальше по ходу потока выпускное отверстие для того, чтобы расплавленное стекло попадало в зону обработки или на рабочий конец.

25 [0004] В такой стеклоплавильной печи стекло обычно расплавляется пламенем, исходящим от сгорания, создаваемого горелками, предусмотренными над поверхностью стекла, и это позволяет нагревать ванну расплавленного стекла/сырьевых материалов сверху. Хорошо известны стеклоплавильные печи с кислородно-топливным или воздушно-топливным сгоранием. Топливом может быть, например, ископаемое топливо, природный газ, биогаз или водород.

30 [0005] Также известно, что в гибридной системе объединяются средства нагревания за счет сгорания и средства электрического нагревания. В такой конфигурации плавильная печь содержит, в дополнение к горелкам, электроды, обязательно погруженные и обычно расположенные на дне резервуара, и которые позволяют электрическому току/энергии проходить через ванну расплавленного стекла и

нагревать ее от основной массы. Следует отметить, что стеклоплавильные печи, в которых мощность нагревания полностью обеспечивается электричеством, могли бы быть одним из вариантов, но они не нашли применения в области техники плоского стекла, когда требуется высококачественное стекло. Действительно, во-первых, температура, необходимая для осветления расплава стекла, должна составлять >1400 °С, предпочтительно выше 1450 °С, в то время как придонная температура резервуара должна поддерживаться на более низком уровне (т. е. < 1300°С) для ограничения коррозии футеровки, чего невозможно достичь только с помощью донных электродов, и во-вторых, для производства высококачественного плоского стекла требуется область, в которой поток расплава стекла является ламинарным и слоистым, а также со свободной поверхностью, чтобы позволить пузырькам выходить из расплава стекла. В данной области техники эти два условия обычно достигаются нагреванием этой свободной поверхности расплава стекла сверху для достижения достаточно высокой температуры, одновременно генерируется слоистый и ламинарный поток стекла. Кроме того, тепло, выделяющееся на каждом электроде, генерировало бы сильную локальную конвекцию стекла, которая полностью нарушила бы требуемый слоистый ламинарный поток стекла.

[0006] Глобальное потепление и требования по сокращению выбросов CO₂ увеличивают давление на производителей стекла, а также цены на энергию и налоги на выбросы CO₂, которые вскоре могут стать серьезной угрозой конкурентоспособности стекольного бизнеса.

[0007] Электрическое плавление могло быть частью решения, поскольку это может помочь уменьшить выбросы CO₂, а также снизить общее потребление энергии плавильной печи (топливо+электричество). Однако традиционные стеклоплавильные печи со сгоранием могут быть «усилены» только электродами. Действительно, в таких «печах со сгоранием с дополнительным электронагревом» доля подводимого электричества ограничена максимум 10-15 % от общей подводимой энергии.

[0008] Основными ограничениями классических конструкций печи со сгоранием с дополнительным электронагревом при увеличении доли подводимого электричества (то есть свыше 15 %) являются:

- (i) значительное повышение температур футеровки дна в зоне плавления, в которой расположены электроды, что, таким образом, вызывает их ускоренную коррозию; и

(i) значительное снижение температур в куполе в зоне плавления, приводящее к повышенной конденсации NaOH в указанной зоне и, следовательно, к повышенной коррозии футеровки купола.

5 [0009] Эти два объединенных явления коррозии (i)-(ii) оказали бы серьезное отрицательное влияние на механическую стабильность и срок службы плавильной печи со значительным дополнительным электронагревом, что совсем нежелательно при инвестировании в стеклоплавильную печь. Действительно, большие стеклоплавильные печи, т. е. печи, имеющие производительность в несколько сотен тонн в день, сконструированы таким образом, чтобы работать без перерыва в течение периодов
10 более десяти лет, и их срок службы в основном определяется коррозией футеровочных материалов, образующих их стенки.

[0010] Таким образом, эти ограничения в максимальной доли подводимого электричества традиционной стеклоплавильной печи со сгоранием препятствуют полному получению выгоды от преимуществ электрического плавления (снижение
15 общего потребления энергии и выбросов CO₂).

[0011] Однако в настоящее время существует потребность в наличии конструкции стеклоплавильной печи, которая сочетает горелки для сгорания и электроды в качестве средств нагревания, которая позволяет значительно увеличить долю подводимого электричества (по сравнению с классической плавильной печью со сгоранием с
20 дополнительным электронагревом) при сохранении или даже улучшении ее механической стабильности и срока службы.

ЦЕЛИ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0012] Целью настоящего изобретения является преодоление недостатков, описанных
25 выше в отношении уровня техники, и решение технической проблемы, то есть за счет предоставления плавильной печи для плоского стекла, сочетающей в себе горелки для сгорания и электроды в качестве средств нагревания, демонстрирующей снижение общего потребления энергии и снижение выбросов CO₂ по сравнению с классической плавильной печью со сгоранием с дополнительным электронагревом.

30 [0013] Дополнительной целью настоящего изобретения является предоставление стеклоплавильной печи, сочетающей в себе горелки для сгорания и электроды в качестве средств нагревания без отрицательного влияния на ее срок службы или даже при этом повышая его.

[0014] Дополнительной целью настоящего изобретения является предоставление стеклоплавильной печи, сочетающей в себе горелки для сгорания и электроды в качестве средств нагрева, с повышенной гибкостью.

5 **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ**

[0015] Настоящее изобретение относится к печи для плавления способных превращаться в стекло материалов, содержащей:

- (i) по меньшей мере один плавильный резервуар T1i, покрытый плавильным куполом C1i и снабженный средствами электрического нагрева;
- 10 (ii) резервуар T2 освещения, покрытый куполом C2 освещения и снабженный средствами нагрева за счет сгорания;
- (iii) по меньшей мере один узкий участок Ni, покрытый куполом C3i и разделяющий по меньшей мере один плавильный резервуар T1i и резервуар T2 освещения;
- 15 (iv) по меньшей мере одно впускное средство Li, расположенное у по меньшей мере одного плавильного резервуара, для загрузки в него способных превращаться в стекло материалов, подлежащих нагреванию; и
- (v) по меньшей мере одно выпускное средство Oi, расположенное дальше по ходу потока относительно резервуара освещения, для протекания
- 20 расплавленного стекла к рабочей зоне.

[0016] Согласно изобретению печь характеризуется следующим:

$$0,1*W2 \leq W3i \leq 0,6*W2;$$

$$W1i \geq 1,4*W3i;$$

при этом W1i представляет собой ширину резервуара T1i;

25 при этом W2 представляет собой ширину резервуара T2;

при этом W3i представляет собой ширину узкого участка Ni.

Следовательно, изобретение основано на новом и обладающем признаками изобретения подходе. В частности, авторы изобретения обнаружили, что за счет отделения одной или нескольких электрически нагреваемых зон плавления и зоны

30 освещения за счет сгорания посредством одного или нескольких узких участков (их количество такое же, как и количество зон плавления) в конкретной конструкции общее потребление энергии, а также выбросы CO₂, печи могут быть существенно сокращены за счет высокой доли подводимого электричества (то есть > 20 % или даже 30–50 %) при отсутствии ухудшения или даже с улучшением механической

стабильности и срока службы печи. Под «долей подводимого электричества» подразумевается часть электричества в общей подводимой энергии печи для плавления/осветления, а именно электричество/(топливо+электричество), при этом общая подводимая энергия является энергией печи в стандартном/нормальном режиме производства, то есть в ее стандартном диапазоне тяги (исключая периоды запуска, технического обслуживания, горячего ремонта, разбития стекла,...).

[0017] Ширина узкого участка (участков) в изобретении была специально разработана авторами изобретения для того, чтобы найти хороший компромисс между двумя противоположными требованиями: с одной стороны, узкий участок (участки) между зоной (зонами) плавления и зоной осветления в идеале должен (должны) быть как можно более узким (узкими), чтобы (1) уменьшить отверстие между плавильными сверхструктурами/куполами и сверхструктурами/куполами осветления и (2) создать препятствие интенсивности общей конвекции расплава стекла в плавильном резервуаре (резервуарах), и, с другой стороны, узкий участок в идеале должен быть как можно шире, чтобы ограничить скорость стекла внутри узкого участка (участков) для ограничения износа/коррозии стенок футеровки узкого участка.

[0018] Авторы изобретения доказали, что печь согласно изобретению обеспечивает множество преимуществ в отношении потребления энергии/выбросов CO₂ и/или в отношении механической стабильности/срока службы печи. В частности, печь согласно изобретению с ее особой сегментированной конструкцией позволяет:

- отсекают тепловое излучение от пламени в резервуаре осветления в направлении плавильного резервуара (резервуаров), чтобы эффективно ограничивать энергию сгорания в зоне, в которой необходимы высокие температуры (зона осветления);
- дополнительно разделять атмосферы между резервуарами плавильными и осветления, тем самым ограничивая возврат коррозионных испарений из резервуара осветления в плавильный резервуар (резервуары);
- создавать ограничение общего потока расплавленного стекла, что преимущественно снижает интенсивность конвекции стекла в плавильном резервуаре и снижает скорость стекла, и, таким образом, уменьшает износ и коррозию футеровки дна;
- полностью разграничить размеры (длины, ширины и высоты купола) и свойства футеровок плавильных резервуаров и резервуаров осветления и,

следовательно, оптимизировать каждый резервуар с учетом энергоэффективности, качества стекла и механических/конструктивных/других ограничений.

5 [0019] В настоящем подробном описании и формуле изобретения специалисту в данной области техники хорошо известно, что используемые в настоящем документе термины в единственном или множественном числе означают по меньшей мере «один» и не должны ограничиваться «только одним», если явно не указано обратное. Также при указании диапазона включены его крайние значения. Кроме того, все целые и дробные значения в числовом диапазоне прямо включены, как если бы они были явно написаны.

10 Наконец, термины «раньше по ходу потока» и «дальше по ходу потока» относятся к направлению потока стекла и следует понимать в их обычном смысле, а именно как означающие вдоль усредненного направления движения способных превращаться в

15 стекло материалов/расплава стекла (определенного в настоящем документе как «поток стекла») от впускного средства (впускных средств) к выпускному средству (выпускным средствам) при работе печи согласно изобретению, то есть вдоль направления, идущего слева направо на фиг. 2, например.

[0020] Согласно изобретению и как обычно принято в области техники стекла под термином «плавильный резервуар» подразумевается резервуар, определяющий зону, в которую загружают способные превращаться в стекло материалы, и которые плавятся

20 при нагревании, и содержащий, когда печь находится в работе, расплав и «слой» из нерасплавленных способных превращаться в стекло материалов, который плавает на расплаве и постепенно расплавляется, и, следовательно, уменьшается от положения раньше по ходу потока к положению дальше по ходу потока плавильного резервуара.

[0021] Согласно изобретению и как обычно принято в области техники стекла под термином «резервуар осветления» подразумевается резервуар, определяющий зону, в которой больше нет «слоя» из нерасплавленных способных превращаться в стекло

25 материалов, который плавает на расплаве, и в которой расплав стекла нагревается при температурах, превышающих температуры плавильного резервуара (обычно выше 1400 °C или даже выше 1450 °C), для осветления стекла (главным образом путем

30 удаления большей части пузырьков). Этот резервуар осветления также обычно называют «резервуаром очищения» в данной области техники.

[0022] Для ясности согласно изобретению и как обычно принято в данной области техники под «узким участком» N_i подразумевается: (i) сужение в ширине и в высоте (купола) по сравнению с по меньшей мере одним плавильным резервуаром T_i и

резервуаром T2 осветления, и (ii) отверстие узкого участка Ni находится только частично под свободной поверхностью расплава стекла/слоя шихты, таким образом оставляя свободное отверстие над расплавом стекла/слоем шихты. Таким образом, это определение исключает «горлышко», которое имеет свое «отверстие» полностью под свободной поверхностью расплава стекла/слоя (тем самым не оставляя свободного пространства над расплавом стекла/слоем шихты), как это обычно принято в данной области техники.

5 [0023] Под «шириной» в изобретении в настоящем документе и во всем подробном описании и формуле изобретения, если не указано иное, подразумевается размер (в среднем), перпендикулярный потоку стекла.

10 [0024] Другие признаки и преимущества изобретения станут более понятны при изучении следующего описания предпочтительных вариантов осуществления и фигур, приведенных в качестве простых иллюстративных и неограничивающих примеров.

15 [0025] На фиг. 1 представлен схематический вид в перспективе варианта осуществления печи согласно изобретению в конфигурации «один плавильный резервуар».

[0026] На фиг. 2 представлен схематический вид в плане (горизонтальное поперечное сечение) печи на фиг. 1.

20 [0027] На фиг. 3 представлен схематический вид в плане (горизонтальное поперечное сечение) варианта осуществления печи согласно изобретению.

[0028] На фиг. 4 представлен схематический вид в плане (горизонтальное поперечное сечение) варианта осуществления печи согласно изобретению.

25 [0029] На фиг. 5 представлен схематический вид в плане (горизонтальное поперечное сечение) варианта осуществления печи согласно изобретению в конфигурации «два плавильного резервуара».

[0030] Печь 1 на фиг. 1–3 (**конфигурация «один плавильный резервуар»**) содержит один плавильный резервуар T1i, один узкий участок Ni и один резервуар T2 осветления. Узлы T1i, Ni и T2 обычно изготавливают из футеровочных материалов, устойчивых к температурам, коррозии испарений и агрессивному воздействию расплавленных материалов. Иллюстративный уровень расплава в резервуаре показан пунктирной линией.

30 [0031] Согласно изобретению печь 1 снабжена способными превращаться в стекло материалами в плавильном резервуаре T1i благодаря по меньшей мере одному впускному средству Li. Предпочтительно и как известно в данной области техники по

меньшей мере одно впускное средство L_i расположено либо раньше по ходу потока относительно плавильного резервуара T_{1i} , либо расположено в верхней части плавильного резервуара T_{1i} .

5 **[0032]** В одном варианте осуществления по меньшей мере одно впускное средство L_i расположено раньше по ходу потока относительно плавильного резервуара T_{1i} либо по ширине указанного резервуара (как проиллюстрировано на фиг. 1-2), либо по бокам по его длине. В этом варианте осуществления для улучшения распределения по поверхности резервуара T_{1i} может быть преимущественно предусмотрено несколько впускных средств, расположенных раньше по ходу потока относительно плавильного резервуара, т. е. два впускных средства.

10 **[0033]** В альтернативном варианте осуществления по меньшей мере одно впускное средство L_i расположено в верхней части плавильного резервуара. Это впускное средство известно в данной области техники как «устройство для загрузки шихты сверху». Данный конкретный вариант осуществления является преимущественным, поскольку он позволяет загружать сырьевые материалы непосредственно поверх расплава стекла, особенно по всей поверхности плавильного резервуара T_{1i} , тем самым позволяя получить слой шихты, покрывающий всю поверхность расплава стекла, и, следовательно, избежать высоких разниц температур, пагубных для купола C_{1i} (как в ситуации, в которой покрытие слоя варьируется в процессе плавления).

15 Преимущественно это может быть устройство типа «вращающееся устройство для загрузки шихты» или «линейное устройство для загрузки шихты в направлениях X-Y», расположенное над расплавом стекла и под куполом C_{1i} . На фиг. 3 впускное средство L_i расположено в верхней части плавильного резервуара T_{1i} и представляет собой тип «линейное устройство для загрузки шихты в направлениях X-Y» в виде

20 распределительного рычага, который можно перемещать в обоих направлениях X-Y, а именно по длине и ширине плавильного резервуара. «Устройство для загрузки шихты сверху» согласно этому варианту осуществления может также представлять собой тип, известный как «вращающееся устройство для загрузки шихты под куполом», т. е. как предложено Sorg®.

30 **[0034]** Печь 1 содержит плавильный резервуар T_{1i} , снабженный средствами 2 электрического нагревания. Средства 2 электрического нагревания согласно изобретению предпочтительно расположены в нижней части резервуара T_{1i} и предпочтительно также состоят из погруженных электродов. Электроды преимущественно расположены

в виде решетки (шахматной доски), кратной 3 или 2, для облегчения подключения к трансформаторам и балансировки электрического тока. Например, количество электродов спроектировано для ограничения максимальной мощности каждого электрода до 200 кВт при помощи соблюдения максимальной плотности тока в 1,5 А/см² на поверхности электрода. Также, например, высота погруженных электродов составляет в от 0,3 до 0,8 раза больше высоты расплава стекла.

[0035] Согласно варианту осуществления плавильный резервуар T1i не содержит каких-либо средств сгорания, например, какой-либо горелки.

[0036] Купол C1i согласно изобретению может быть обычно дугообразным или сводчатым, или альтернативно он может быть плоским. Купол C1i может быть плоским, особенно если ширина W1i плавильного резервуара уменьшена по сравнению с обычной стеклоплавильной печью и по сравнению с шириной W2 резервуара 2 освещения (купол с малым пролетом). Когда купол C1i дугообразный/сводчатый, он может преимущественно состоять из футеровок типа оксида алюминия или шпинели, которые обладают лучшей устойчивостью к коррозии и, следовательно, большим сроком службы (но меньшим сопротивлением ползучести, что может быть компенсировано более малым пролетом купола).

[0037] Купол C1i согласно изобретению предпочтительно имеет высоту H1i, которая меньше высоты H2 купола C2 резервуара T2 освещения ($H1i < H2$). Действительно, меньшая высота H1i купола приведет к меньшей горизонтальной теплопередаче излучения и впоследствии к лучшей теплопередаче от дымовых газов к расплаву стекла в случае отвода дымовых газов из резервуара T2 освещения к плавильному резервуару T1i. Под «высотой» купола в изобретении подразумевается средняя внутренняя высота (т. е. в случае дугообразного/сводчатого купола) от внутренней поверхности указанного купола до расплава стекла (исключая слой шихты при наличии).

[0038] Согласно изобретению печь содержит резервуар T2 освещения, покрытый куполом C2 освещения и снабженный средствами 3 нагревания за счет сгорания.

[0039] Купол C2 освещения согласно изобретению является предпочтительно дугообразным или сводчатым.

[0040] Средства 3 нагревания за счет сгорания согласно изобретению, в частности, состоят из горелок, расположенных в резервуаре T2, и обычно расположены вдоль боковых стенок указанного резервуара с каждой его стороны для распространения пламени по практически всей ширине резервуара. Горелки расположены на расстоянии друг от друга, чтобы распределять подачу энергии по части (т. е. ~50 % длины)

резервуара T2 освещения. Они также обычно расположены рядами по обе стороны резервуара.

5 **[0041]** Горелки могут быть снабжены топливом и воздухом или топливом и кислородом, или топливом и газом, который обогащен кислородом. Топливом может быть ископаемое топливо, природный газ, биогаз, водород, аммиак, синтетический газ или их смесь.

10 **[0042]** Согласно изобретению печь содержит по меньшей мере один узкий участок Ni, покрытый куполом C3i и разделяющий по меньшей мере один плавильный резервуар T1i и резервуар T2 освещения; Основание узкого участка Ni может быть расположено по существу на уровне пола/дна плавильного резервуара T1i. Более того, основание узкого участка Ni может быть расположено по существу на уровне пола/дна резервуара T2 освещения или выше указанного уровня, или ниже указанного уровня.

15 **[0043]** Согласно варианту осуществления узкий участок Ni не содержит каких-либо средств нагревания, например, каких-либо средств электрического нагревания и/или средств сгорания.

20 **[0044]** Купол C3i согласно изобретению может быть дугообразным или сводчатым, или альтернативно он может быть плоским. Купол C3i узкого участка Ni может предпочтительно иметь высоту H3i, которая равна высоте H2 купола C2 резервуара T2 освещения или меньше нее ($H3i \leq H2$). Также предпочтительно узкий участок Ni может иметь высоту H3i, которая равна высоте H1i купола C1i плавильного резервуара T1i или меньше нее ($H3i \leq H1i$). Более предпочтительно $H3i \leq H2$ и $H3i \leq H1i$.

25 **[0045]** Согласно преимущественному варианту осуществления печь характеризуется $W1i \leq W2$. Более предпочтительно печь согласно изобретению характеризуется $W1i < W2$ или лучше $W1i < 0,8 * W2$. Это позволяет дополнительно снизить напряжение внутри плавильного купола C1i за счет уменьшения его пролета. Действительно, известно, что коррозия и изменения температур являются наиболее критичными в зоне плавления. Путем снижения уровня напряжения внутри плавильного купола станет возможно использовать футеровочные материалы, которые более устойчивы к коррозии и менее устойчивы к ползучести.

30 **[0046]** Согласно изобретению печь 1 характеризуется $0,1 * W2 \leq W3i \leq 0,6 * W2$. Предпочтительно печь согласно изобретению характеризуется $0,2 * W2 \leq W3i \leq 0,6 * W2$. Более предпочтительно печь согласно изобретению характеризуется $0,3 * W2 \leq W3i \leq 0,5 * W2$. Это позволяет достичь лучшего компромисса, как показано выше в абзаце [0017].

[0047] Согласно изобретению печь 1 характеризуется $W_{1i} \geq 1,4 * W_{3i}$. Предпочтительно печь согласно изобретению характеризуется $W_{1i} \geq 1,5 * W_{3i}$ или даже $W_{1i} \geq 1,8 * W_{3i}$. Более предпочтительно печь согласно изобретению характеризуется $W_{1i} \geq 2 * W_{3i}$. Это позволяет достичь большего ограничения ширины в узком участке N_i и усилить вышеупомянутые преимущества печи согласно изобретению (отсекать тепловое излучение, необязательно разделять атмосферы, создавать ограничение потока расплавленного стекла).

5
10
15
20
25

[0048] Согласно преимущественному варианту осуществления изобретения печь дополнительно содержит средство 4 отвода дымового газа (генерируемого в резервуаре T_2 осветления) из места, расположенного раньше по ходу потока относительно по меньшей мере одного плавильного резервуара T_{1i} , предпочтительно вблизи впускного средства (впускных средств) L_i , для рекуперации и передачи тепла от дымового газа расплаву стекла и/или нерасплавленным способным превращаться в стекло материалам в плавильном резервуаре. Дополнительно или альтернативно печь может содержать средство отвода дымового газа (генерируемого в резервуаре T_2 осветления), расположенное дальше по ходу потока относительно по меньшей мере одного плавильного резервуара T_{1i} . Также дополнительно или альтернативно печь может дополнительно содержать средство отвода дымового газа из расположенной раньше по ходу потока части резервуара T_2 осветления.

30

[0049] Согласно еще одному преимущественному варианту осуществления изобретения печь может содержать съемную стенку, расположенную в по меньшей мере одном узком участке N_i (например, пеноотделительный брус, выступающий из боковой стенки узкого участка), чтобы (i) возможно останавливать нерасплавленные способные превращаться в стекло материалы, которые могли бы поступать в конец плавильного резервуара, и тем самым предотвращать их прохождение через узкий участок к резервуару осветления и (ii) управлять интенсивностью обратного потока расплава стекла от резервуара осветления к плавильному резервуару или устранять его..

[0050] Согласно изобретению печь 1 содержит по меньшей мере одно выпускное средство O_i , расположенное дальше по ходу потока относительно резервуара T_2 осветления, для достижения расплавленным стеклом рабочей зоны. Согласно варианту осуществления выпускное средство O_i состоит обычно из узкого участка, чтобы направлять расплав к рабочей зоне, обычно называемой «рабочим концом» или также «местом томления», или также «зоной кондиционирования». Альтернативно выпускное средство O_i состоит из горлышка, чтобы направлять расплав к рабочей зоне,

содержащей, например, переднюю сердцевину (передние сердцевины). Рабочая зона согласно изобретению может содержать, например, зону кондиционирования, в которой осуществляют тепловое кондиционирование посредством регулируемого охлаждения перед тем, как расплав стекла покинет указанную зону через выпускное отверстие в зону формования. Такая зона формования может содержать, например, флотат-установку и/или прокатную установку.

5 [0051] В варианте осуществления изобретения, проиллюстрированном на фиг. 4, печь для плавления способных превращаться в стекло материалов содержит плавильный резервуар T1i, увеличенный в поперечном направлении и снабженный впускным средством (впускными средствами) Li и Lii, расположенными на каждой боковой стороне, так что плавильный резервуар содержит две расположенные раньше по ходу потока зоны с двумя противоположными потоками стекла (при работе печи), сходящимися через центральную расположенную дальше по ходу потока зону. В такой конфигурации ширина W1i плавильного резервуара T1i определена как размер (в
10 среднем), взятый перпендикулярно потоку стекла в узком участке Ni.

[0052] В очень предпочтительном варианте осуществления изобретения печь для плавления способных превращаться в стекло материалов находится в конфигурации с двумя плавильными резервуарами T1i, T1ii; двумя узкими участками Ni, Nii; и по меньшей мере двумя впускными средствами Li, Lii. Согласно этому
20 преимущественному варианту осуществления печь согласно изобретению дополнительно содержит:

- плавильный резервуар T1ii, покрытый плавильным куполом C1ii и снабженный средствами электрического нагрева, расположенными на дне указанного резервуара;
- 25 - узкий участок Nii, покрытый куполом C3ii и разделяющий указанный плавильный резервуар T1ii и резервуар T2 освещения;
- по меньшей мере одно впускное средство Lii, расположенное в плавильном резервуаре T1ii, для загрузки в него способных превращаться в стекло материалов, подлежащих нагреванию;

30 печь дополнительно характеризуется следующим:

$$0,1*W2 \leq W3ii \leq 0,6*W2;$$

$$W1ii \geq 1,4*W3ii;$$

при этом W1ii представляет собой ширину резервуара T1ii;

при этом W_{3ii} представляет собой ширину узкого участка N_{ii} .

[0053] В этой конфигурации «два плавильных резервуара» печь для плавления способных превращаться в стекло материалов, следовательно, содержит:

- 5 (i) два плавильных резервуара T_{1i} , T_{1ii} ; при этом каждый покрыт плавильным куполом C_{1i} , C_{1ii} соответственно и снабжен средствами электрического нагрева, расположенными на дне указанных резервуаров;
- (ii) резервуар T_2 освещения, покрытый куполом C_2 освещения и снабженный средствами нагрева за счет сгорания;
- 10 (iii) узкий участок N_i , покрытый куполом C_{3i} и разделяющий указанный плавильный резервуар T_{1i} и резервуар T_2 освещения;
- (iv) узкий участок N_{ii} , покрытый куполом C_{3ii} и разделяющий указанный плавильный резервуар T_{1ii} и резервуар T_2 освещения;
- (v) по меньшей мере одно впускное средство L_i , расположенное в плавильном резервуаре T_{1i} , для загрузки в него способных превращаться в стекло
- 15 материалов, подлежащих нагреванию;
- (vi) по меньшей мере одно впускное средство L_{ii} , расположенное в плавильном резервуаре T_{1ii} , для загрузки в него способных превращаться в стекло материалов, подлежащих нагреванию;
- (vii) по меньшей мере одно выпускное средство O_i , расположенное дальше по
- 20 ходу потока относительно резервуара освещения, для протекания расплавленного стекла к рабочей зоне;

печь характеризуется следующим:

$$0,1*W_2 \leq W_{3i} \leq 0,6*W_2;$$

$$0,1*W_2 \leq W_{3ii} \leq 0,6*W_2;$$

$$25 \quad W_{1i} \geq 1,4*W_{3i};$$

$$W_{1ii} \geq 1,4*W_{3ii};$$

при этом W_{1i} представляет собой ширину резервуара T_{1i} ;

при этом W_{1ii} представляет собой ширину резервуара T_{1ii} ;

при этом W_2 представляет собой ширину резервуара T_2 ;

30 при этом W_{3i} представляет собой ширину узкого участка N_i ;

при этом W_{3ii} представляет собой ширину узкого участка N_{ii} .

[0054] Этот конкретный вариант осуществления проиллюстрирован на фиг. 5 с впускными средствами L_i и L_{ii} , расположенными раньше по ходу потока относительно плавильного резервуара T_{1i} и T_{1ii} соответственно.

[0055] Этот вариант осуществления является особенно преимущественным по сравнению с конфигурацией с одним плавильным резервуаром (фиг. 1–3), поскольку он позволяет:

- 5 - уменьшить пролет купола каждого плавильного резервуара при одинаковой общей области плавильного резервуара и длине печи (длина, как правило, является большим ограничением, чем ширина). Уменьшение пролета купола позволяет
 - (i) уменьшить напряжение внутри материалов купола и, таким образом, снизить риск в отношении ползучести материала и провисания купола тогда станет возможным использование футеровочных материалов, которые более устойчивы к коррозии и менее устойчивы к ползучести, таких как оксид алюминия или шпинель, и тем самым увеличится срок службы печи;
 - (ii) уменьшить среднюю высоту купола в случае дугообразной формы купола С3 узкого участка, что приводит к снижению горизонтального передачи излучения и, следовательно, к лучшей теплопередаче от дымового газа к расплаву стекла в случае отвода дымового газа из плавильных резервуаров;
- при одинаковой общей ширине узкого участка ($W_{3i}+W_{3ii}$) и в случае дугообразной формы купола С3 узкого участка уменьшить поверхность отверстия между плавильным резервуаром и резервуаром освещения;
- 20 - при одинаковой общей ширине узкого участка ($W_{3i}+W_{3ii}$) снизить интенсивность конвекции стекла в плавильном резервуаре;
- облегчить техническое обслуживание печи в зоне плавления. Действительно, с 2 плавильными резервуарами возможно изолировать один плавильный резервуар от остальной части печи и охлаждать его, продолжая производство с помощью другого плавильного резервуара. Тогда возможно увеличить общий срок службы печи путем замены изношенных футеровочных материалов в зонах плавления, которые являются наиболее критичной областью относительно износа/коррозии.

[0056] В этом преимущественном варианте осуществления, в котором печь имеет два узких участка, два плавильных резервуара и по меньшей мере два впускных средства (печь с «двумя плавильными резервуарами», как проиллюстрировано на фиг. 5), каждый узкий участок, каждый плавильный резервуар и каждое впускное средство могут быть сконструированы независимо от другого узкого участка, плавильного резервуара и впускного средства соответственно согласно описанию выше.

[0057] Конкретные преимущественные признаки, описанные выше относительно печи с конфигурацией «один плавильный резервуар», т. е. те, которые связаны с $T1i$, $C1i$, $L1i$, применимы к конфигурации «два плавильных резервуара» с теми же преимуществами. Следовательно, для ясности, признаки, описанные выше относительно $T1i$, применимы к $T1ii$, признаки, описанные выше относительно $C1i$, применимы к $C1ii$, а признаки, описанные выше относительно $L1i$, применимы к $L1ii$.

[0058] В частности, купол $C3ii$ узкого участка Nii может предпочтительно иметь высоту $H3ii$, которая равна высоте $H2$ купола $C2$ резервуара $T2$ освещения или меньше нее ($H3ii \leq H2$). Также предпочтительно узкий участок Nii может иметь высоту $H3ii$, которая равна высоте $H1ii$ купола $C1ii$ плавильного резервуара $T1ii$ или меньше нее ($H3ii \leq H1ii$).

[0059] Предпочтительно печь с «двумя плавильными резервуарами» характеризуется $0,2*W2 \leq W3ii \leq 0,6*W2$. Более предпочтительно она характеризуется $0,3*W2 \leq W3ii \leq 0,5*W2$.

[0060] Согласно преимущественному варианту осуществления печь с «двумя плавильными резервуарами» характеризуется $W1ii \leq W2$. Более предпочтительно печь согласно изобретению характеризуется $W1ii < W2$ или лучше $W1ii < 0,8*W2$. Это позволяет дополнительно снизить напряжение внутри плавильного купола $C1i$ за счет уменьшения его пролета. Действительно, известно, что коррозия и изменения температур являются наиболее критичными в зоне плавления.

[0061] Также предпочтительно печь с «двумя плавильными резервуарами» характеризуется $W1ii \geq 1,5*W3ii$ или даже $W1ii \geq 1,8*W3ii$. Более предпочтительно печь с «двумя плавильными резервуарами» характеризуется $W1ii \geq 2*W3i$.

[0062] В печи с «двумя плавильными резервуарами» согласно изобретению два плавильных резервуара $T1i$, $T1ii$ предпочтительно соединены с резервуаром освещения узкими участками Ni , Nii , расположенными по ширине $W2$ указанного резервуара освещения (как проиллюстрировано на фиг. 5). Альтернативно в печи с «двумя плавильными резервуарами» согласно изобретению один плавильный резервуар соединен с резервуаром освещения узким участком, расположенным по ширине $W2$ резервуара освещения, а другой плавильный резервуар соединен с резервуаром освещения узким участком, расположенным по длине резервуара освещения (с правой или левой стороны) и вблизи положения раньше по ходу потока относительно резервуара освещения (т. е. в первой трети его длины). Эта последняя конфигурация может быть преимущественной, например, когда пространства, существующего в

объекте для размещения печи, недостаточно для размещения двух плавильных резервуаров бок о бок.

[0063] В печи с «двумя плавильными резервуарами» согласно изобретению в случае, когда два плавильных резервуара T1i, T1ii соединены с резервуаром освещения узкими участками Ni, Nii, расположенными по ширине W2 указанного резервуара освещения, расстояние D между двумя плавильными резервуарами T1i и T1ii предпочтительно составляет по меньшей мере 1 м и более предпочтительно по меньшей мере 2 м или лучше по меньшей мере 3 м. Это является преимущественным, поскольку это обеспечивает доступ к зоне для работ по техническому обслуживанию и нанесения покрытия на стенки резервуара.

[0064] В альтернативном варианте осуществления изобретения печь для плавления способных превращаться в стекло материалов находится в конфигурации с тремя плавильными резервуарами T1i, T1ii, T1iii; тремя узкими участками Ni, Nii, Niii; и тремя впускными средствами Li, Lii, Liii. Согласно этому преимущественному варианту осуществления печь согласно изобретению дополнительно содержит:

- плавильный резервуар T1iii, покрытый плавильным куполом C1iii, снабженный средствами электрического нагрева, расположенными на дне указанных резервуаров;
- узкий участок Niii, покрытый куполом C3iii и разделяющий указанный плавильный резервуар T1iii и резервуар T2 освещения;
- по меньшей мере одно впускное средство Liii, расположенное в плавильном резервуаре T1iii, для загрузки в него способных превращаться в стекло материалов, подлежащих нагреванию;

печь дополнительно характеризуется следующим:

$$0,1*W2 \leq W3iii \leq 0,6*W2;$$

$$W1iii \geq 1,4*W3iii;$$

при этом W1iii представляет собой ширину резервуара T1iii;

при этом W3iii представляет собой ширину узкого участка Niii.

[0065] В этой конфигурации «три плавильных резервуара» печь для плавления способных превращаться в стекло материалов, следовательно, содержит:

- (i) три плавильных резервуара T1i, T1ii, T1iii; при этом каждый покрыт плавильным куполом C1i, C1ii, C1iii соответственно и снабжен средствами

электрического нагрева, расположенными на дне указанных резервуаров;

- (ii) резервуар T2 освещения, покрытый куполом C2 освещения и снабженный средствами нагрева за счет сгорания;
- 5 (iii) узкий участок Ni, покрытый куполом C3i и разделяющий указанный плавильный резервуар T1i и резервуар T2 освещения;
- (iv) узкий участок Nii, покрытый куполом C3ii и разделяющий указанный плавильный резервуар T1ii и резервуар T2 освещения;
- (v) узкий участок Niii, покрытый куполом C3iii и разделяющий указанный плавильный резервуар T1iii и резервуар T2 освещения;
- 10 (vi) по меньшей мере одно впускное средство Li, расположенное в плавильном резервуаре T1i, для загрузки в него способных превращаться в стекло материалов, подлежащих нагреванию;
- (vii) по меньшей мере одно впускное средство Lii, расположенное в плавильном резервуаре T1ii, для загрузки в него способных превращаться в стекло материалов, подлежащих нагреванию;
- 15 (viii) по меньшей мере одно впускное средство Liii, расположенное в плавильном резервуаре T1iii, для загрузки в него способных превращаться в стекло материалов, подлежащих нагреванию;
- 20 (ix) по меньшей мере одно выпускное средство Oi, расположенное дальше по ходу потока относительно резервуара освещения, для протекания расплавленного стекла к рабочей зоне;

печь характеризуется следующим:

$$0,1 \cdot W2 \leq W3i \leq 0,6 \cdot W2;$$

$$25 \quad 0,1 \cdot W2 \leq W3ii \leq 0,6 \cdot W2;$$

$$0,1 \cdot W2 \leq W3iii \leq 0,6 \cdot W2;$$

$$W1i \geq 1,4 \cdot W3i;$$

$$W1ii \geq 1,4 \cdot W3ii;$$

$$W1iii \geq 1,4 \cdot W3iii;$$

- 30 при этом W1i представляет собой ширину резервуара T1i;
- при этом W1ii представляет собой ширину резервуара T1ii;
- при этом W1iii представляет собой ширину резервуара T1iii;
- при этом W2 представляет собой ширину резервуара T2;
- при этом W3i представляет собой ширину узкого участка Ni;

при этом W_{3ii} представляет собой ширину узкого участка N_{ii} ;

при этом W_{3iii} представляет собой ширину узкого участка N_{iii} .

[0066] Этот вариант осуществления является особенно преимущественным по сравнению с конфигурацией с одним плавильным резервуаром таким же образом, как и для конфигурации «два плавильных резервуара».

[0067] При «трех плавильных резервуарах» каждый узкий участок, каждый плавильный резервуар и каждое впускное средство могут быть сконструированы независимо от других узких участков, плавильных резервуаров и впускных средств соответственно согласно описанию выше.

[0068] Конкретные преимущественные признаки, описанные выше относительно печи с конфигурациями «один плавильный резервуар» и «два плавильных резервуара», т. е. те, которые связаны с T_{1i} , T_{1ii} , C_{1i} , C_{1ii} , L_i , L_{ii} , применимы к конфигурации «три плавильных резервуара» с теми же преимуществами. Следовательно, для ясности, признаки, описанные выше относительно T_{1i} , T_{1ii} , применимы к T_{1iii} , признаки, описанные выше относительно C_{1i} , C_{1ii} , применимы к C_{1iii} , а признаки, описанные выше относительно L_i , L_{ii} , применимы к L_{iii} .

[0069] В частности, купол C_{3iii} узкого участка N_{iii} может предпочтительно иметь высоту H_{3iii} , которая равна высоте H_2 купола C_2 резервуара T_2 освещения или меньше нее ($H_{3iii} \leq H_2$). Также предпочтительно узкий участок N_{iii} может иметь высоту H_{3iii} , которая равна высоте H_{1iii} купола C_{1iii} плавильного резервуара T_{1iii} или меньше нее ($H_{3iii} \leq H_{1iii}$).

[0070] Предпочтительно печь с «тремя плавильными резервуарами» характеризуется $0,2 \cdot W_2 \leq W_{3iii} \leq 0,6 \cdot W_2$. Более предпочтительно она характеризуется $0,3 \cdot W_2 \leq W_{3iii} \leq 0,5 \cdot W_2$.

[0071] Предпочтительно печь с «тремя плавильными резервуарами» характеризуется $W_{1iii} < W_2$. Более предпочтительно она характеризуется $W_{1iii} < 0,8 \cdot W_2$. Это позволяет дополнительно снизить напряжение внутри плавильного купола C_{1i} за счет уменьшения его пролета. Действительно, известно, что коррозия и изменения температур являются наиболее критичными в зоне плавления.

[0072] Также предпочтительно печь с «тремя плавильными резервуарами» характеризуется $W_{1iii} \geq 1,5 \cdot W_{3iii}$ или даже $W_{1iii} \geq 1,8 \cdot W_{3iii}$. Более предпочтительно печь с «тремя плавильными резервуарами» характеризуется $W_{1iii} \geq 2 \cdot W_{3ii}$.

[0073] В печи с «тремя плавильными резервуарами» согласно изобретению три плавильных резервуара T_{1i} , T_{1ii} , T_{1iii} могут быть соединены с резервуаром освещения

узкими участками N_i , N_{ii} , N_{iii} , расположенными по ширине W_2 указанного резервуара освещения. Альтернативно в печи с «тремя плавильными резервуарами» согласно изобретению один плавильный резервуар может быть соединен с резервуаром освещения узким участком, расположенным по ширине W_2 резервуара освещения, а
5 два других плавильных резервуара могут быть соединены с резервуаром освещения узким участком, расположенным по длине резервуара освещения и вблизи положения раньше по ходу потока относительно резервуара освещения (т. е. в первой трети его длины), причем первый находится с правой стороны, а второй с левой стороны резервуара освещения. Эта последняя конфигурация может быть преимущественной,
10 например, когда пространства, существующего в объекте для размещения печи, недостаточно для размещения трех плавильных резервуаров бок о бок, и/или когда проектные размеры для плавильных резервуаров и узких участков (особенно W_{1i} , W_{1ii} , W_{1iii} и W_{3i} , W_{3ii} , W_{3iii} и) не могут быть реализованы по ширине W_2 резервуара освещения.

15 **[0074]** В печи с «тремя плавильными резервуарами» согласно изобретению в случае, когда по меньшей мере два плавильных резервуара соединены с резервуаром освещения узкими участками, расположенными по ширине W_2 указанного резервуара освещения, расстояние D между двумя плавильными резервуарами предпочтительно составляет по меньшей мере 1 м и более предпочтительно по меньшей мере 2 м или
20 лучше по меньшей мере 3 м. Независимо в печи с «тремя плавильными резервуарами» согласно изобретению в случае, когда три плавильных резервуара соединены с резервуаром освещения узкими участками, расположенными по ширине W_2 указанного резервуара освещения, расстояние D между двумя плавильными резервуарами T_{1i} и T_{1ii} предпочтительно составляет по меньшей мере 1 м и более
25 предпочтительно по меньшей мере 2 м; а расстояние D' между двумя плавильными резервуарами T_{1ii} и T_{1iii} T_{1ii} также предпочтительно составляет по меньшей мере 1 м и более предпочтительно по меньшей мере 2 м.

[0075] Во всех конфигурациях печи согласно изобретению, а именно в конфигурациях «один плавильный резервуар», «два плавильных резервуара» и «три плавильных
30 резервуара», для облегчения распределения способных превращаться в стекло материалов для загрузки для каждого плавильного резервуара может быть предусмотрено более одного впускного средства, т. е. два впускных средства на плавильный резервуар.

[0076] Во всех конфигурациях печи согласно изобретению предпочтительно общая область поверхности плавильного резервуара (плавильных резервуаров) находится в диапазоне от 25 до 400 м². Предпочтительно также согласно изобретению область поверхности резервуара освещения находится в диапазоне от 25 до 400 м².

5 **[0077]** Специалисту в данной области техники понятно, что настоящее изобретение никоим образом не ограничивается предпочтительными вариантами осуществления, описанными выше. Напротив, многие модификации и вариации возможны в пределах объема прилагаемой формулы изобретения. Следует дополнительно отметить, что
10 изобретение относится ко всем возможным сочетаниям признаков и предпочтительным признакам, описанным в настоящем документе и перечисленным в формуле изобретения.

[0078] Следующие примеры представлены в целях иллюстрации и не предназначены для ограничения объема этого изобретения.

15 **ПРИМЕРЫ**

[0079] Были вычислены примеры печей согласно изобретению и сравнительный пример традиционной печи со сгоранием (необязательно с дополнительным электронагревом).

[0080] Оптимизация и проектирование плавильных печей являются сложными,
20 рискованными и очень медленными без математического моделирования. Действительно, печи очень дороги и их срок службы составляет более 15 лет, даже до 20 лет. Кроме того, существует только несколько возможностей для проведения исследования и изменений проекта, и существует большое давление для снижения риска, связанного с этими изменениями. Таким образом, математическое
25 моделирование процесса плавления в работающих стеклоплавильных печах было тщательно разработано в области техники стекла и хорошо известно среди производителей стекла. Использование математических моделей предоставляет подробные поля температуры и скорости расплава стекла в резервуаре (резервуарах) и газов в пространстве (пространствах) сгорания/освещения. Результаты этого
30 существующего математического моделирования были подтверждены на многих работающих печах путем сравнения с измерениями (термопарами и инфракрасными камерами).

[0081] Для настоящих вычислений были рассмотрены следующие печи с одинаковой тягой стекла:

- **печь 1** (сравнительная): традиционная стеклоплавильная печь со сгоранием: один резервуар, содержащий зоны плавления и осветления, оснащенный горелками, питаемыми газовойдушной смесью, и электродами для необязательного дополнительного электронагрева.
- 5 - **печь 2**: печь согласно изобретению в конфигурации «один плавильный резервуар», оснащенная:
 - плавильным резервуаром T1i с шириной W1i = 13,0 м резервуара и средней высотой H1i = 1,35 м купола
 - впускным средством Li, расположенным раньше по ходу потока относительно
 - 10 плавильного резервуара,
 - электродами в плавильном резервуаре, достигающими общей установленной мощности, равной 16,0 МВт
 - узким участком Ni с шириной W3i = 4,5 м = 0,35 W1i и средней высотой H3i = 0,35 м купола
 - 15 - резервуаром T2 осветления с шириной W2 = 13,0 м резервуара и средней высотой H2 = 3,5 м купола
 - кислородными горелками, питаемыми чистым кислородом и природным газом, в резервуаре осветления с общей установленной мощностью, равной 16,0 МВт;
 - выпускным средством O;
 - 20 - средством отвода для отвода дымового газа, расположенным в расположенной раньше по ходу потока части плавильного резервуара, вблизи впускного отверстия, куда загружают способные превращаться в стекло материалы;
 - **печь 3**: печь согласно изобретению в конфигурации «два плавильных резервуара». В этом рассмотренном вычислении оба плавильных резервуара
 - 25 имеют идентичные размеры и расположены симметрично (см. фиг. 3). Расстояние между обоими плавильными резервуарами равно 4,8 м. Печь 3 оснащена:
 - плавильным резервуаром T1i с шириной резервуара W1i = 8,4 м и средней высотой H1i = 0,95 м купола
 - плавильным резервуаром T1ii с W1ii = W1i и H1ii = H1i
 - 30 - впускным средством Li, расположенным раньше по ходу потока относительно плавильного резервуара T1i,
 - впускным средством Lii, расположенным раньше по ходу потока относительно плавильного резервуара T1i,

- электродами в плавильных резервуарах с установленной мощностью, равномерно распределенной между обоими резервуарами,
 - узким участком N_i с шириной $W_{3i} = 3,6$ м и средней высотой $H_{3i} = 0,54$ м купола
- 5
- узким участком N_{ii} с шириной $W_{3ii} = W_{3i}$ и $H_{3ii} = H_{3i}$,
 - резервуаром Т2 освещения с размерами резервуара, равными размерам печи 2,
 - горелками, питаемыми газозвоздушной смесью, в резервуаре освещения с признаками, идентичными таковым печи 2,
 - выпускным средством О,
- 10
- средством отвода для отвода дымового газа из плавильного резервуара.

[0082] Для этих печей 1–3 были оценены потребление энергии (газ/электричество), придонные температуры, температуры в куполе и циркуляция стекла.

Потребление энергии

- 15 **[0083]** В таблице 1 показаны вычисленные значения потребления газа, потребления электричества и общего потребления энергии, а также доля подводимого электричества для печей 1–3.

- 20 **[0084]** Для традиционной печи 1 были рассмотрены две ситуации: ситуация полного сгорания (100 % энергии газа) и ситуация с максимально возможным дополнительным электронагревом этой печи (превышение этого максимума придонных температур и температур в куполе привело бы к высокой коррозии футеровки и серьезному повреждению печи).

Таблица 1

	Потребление газа (в МВт)	Потребление электричества (в МВт)	Общее потребление (в МВт)	Доля подводимого электричества
Печь 1 (сравнительная)	47	0	47	0

Печь 1 с возможным максимальным дополнительным электронагревом, 5 МВт (сравнительная)	37	5	43	12 %
Печь 2	15	15	30	50 %
Печь 3	15	16	31	52 %

[0085] В таблице 1 очень хорошо показано, что по сравнению с классической плавильной печью со сгоранием с дополнительным электронагревом печи согласно изобретению позволяют снизить общее потребление энергии (на ~30 %) при одновременном увеличении доли подводимого электричества (достигая значений до 50 %) и тем самым значительном снижении выбросов CO₂.

Придонные температуры

[0086] На фиг. 6 показана динамика температур футеровки дна согласно расстоянию (в метрах), начиная от впускного средства до выпускного средства в печи 1 с нереалистичной электрической мощностью 16 МВт (принимая во внимание эквивалентные электрические мощности, может быть достигнуто справедливое сравнение с печами согласно изобретению), печи 2 и печи 3. Ось у дает значение ($T_{\text{bottom}} - T_{\text{ref}}$) в градусах Цельсия, где T_{bottom} является температурой у дна печи 1 с дополнительным электронагревом, печи 2 и печи 3, а T_{ref} является максимальной температурой у дна для печи 1 без дополнительного электронагрева (традиционной печи, работающей только на топливе). Печи 1–3 согласно изобретению схематически изображены в верхней части фигуры, чтобы определить местоположение соответствующей зоны в каждой конфигурации и обеспечить возможность сравнения.

[0087] На данной фигуре проиллюстрировано, что существует значительное повышение придонных температур при увеличении подводимой электрической мощности в традиционной печи, в то время как печи согласно изобретению, при том же показателе подводимого электричества, позволяют поддерживать более низкое

значение, что является преимущественным для предотвращения коррозии и, тем самым, увеличения срока службы печи.

Температуры в куполе

- 5 **[0088]** На фиг. 7 показана динамика температур футеровки купола согласно расстоянию (в метрах), начиная от впускного средства до выпускного средства в печи 1 с дополнительным электронагревом 16 МВт (сравнительной), печи 2 и печи 3. Ось у
- 10 дает значение ($T_{\text{bottom}} - T_{\text{ref}}$) в градусах Цельсия, где T_{bottom} это температура у купола печи 1 с дополнительным электронагревом, печи 2 и печи 3, а T_{ref} является максимальной температурой у купола печи 1 без дополнительного электронагрева (традиционной печи, работающей только на топливе). Традиционная печь 1 с
- 15 дополнительным электронагревом и печи 2–3 согласно изобретению схематически изображены в верхней части фигуры, чтобы определить местоположение соответствующей зоны в каждой конфигурации и обеспечить возможность сравнения.
- 20 **[0089]** На данной фигуре проиллюстрировано, что традиционная печь 1 и печи 2–3 согласно изобретению показывают снижение температур в куполе в зоне плавления по сравнению с традиционной печью без дополнительного электронагрева (ref). В печи с дополнительным электронагревом это является огромным недостатком, поскольку это приводит к серьезному явлению коррозии в куполе (из-за конденсации NaOH,
- 25 образующейся в основном при освещении). В печах согласно изобретению этим снижением температуры купола легче управлять, поскольку, (i) если дымовой газ отведен из резервуара освещения, атмосферы из зоны освещения и зоны плавления разделяют по меньшей мере одним узким участком, тем самым давая возможность ограничить или избежать возврата коррозионных испарений (NaOH) из резервуара
- 30 освещения в плавильный резервуар (плавильные резервуары), и (ii) если дымовой газ отведен из плавильного резервуара (плавильных резервуаров), поскольку пролет купола может быть ограничен (в частности, в случае нескольких плавильных резервуаров), это делает использование футеровок на основе оксида алюминия практически осуществимым вариантом (зная, что оксид алюминия более устойчив к

Циркуляция стекла

[0090] На фиг. 8 показана динамика циркуляции расплавленного стекла согласно расстоянию (в метрах), начиная от впускного средства до выпускного средства в печи 1

с дополнительным электронагревом 16 МВт (сравнительной), печи 2 и печи 3. Ось y дает значение ($m_{\text{backward}}/m_{\text{pull}}$), где m_{backward} является обратным потоком массы, а m_{pull} является тяговым потоком массы. Традиционная печь 1 с дополнительным электронагревом и печи 2–3 согласно изобретению схематически изображены в верхней части фигуры, чтобы определить местоположение соответствующей зоны в каждой конфигурации и обеспечить возможность сравнения.

[0091] На данной фигуре проиллюстрировано, что печи 2–3 согласно изобретению создают значительное уменьшение общей циркуляции расплавленного стекла в зонах плавления и осветления, что преимущественно снижает скорость расплавленного стекла и, тем самым, уменьшает коррозию футеровки дна.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Печь для плавления способных превращаться в стекло материалов, содержащая
- 5 (i) по меньшей мере один плавильный резервуар T1i, покрытый плавильным куполом C1i и снабженный средствами электрического нагревания;
- (ii) резервуар T2 осветления, покрытый куполом C2 осветления и снабженный средствами нагревания за счет сгорания;
- 10 (iii) по меньшей мере один узкий участок Ni, покрытый куполом C3i и разделяющий по меньшей мере один плавильный резервуар T1i и резервуар T2 осветления;
- (iv) по меньшей мере одно впускное средство Li, расположенное у по меньшей мере одного плавильного резервуара, для загрузки в него способных превращаться в стекло материалов, подлежащих нагреванию; и
- 15 (v) по меньшей мере одно выпускное средство Oi, расположенное дальше по ходу потока относительно резервуара осветления, для протекания расплавленного стекла к рабочей зоне;

печь характеризуется следующим:

$$0,1*W2 \leq W3i \leq 0,6* W2;$$

$$W1i \geq 1,4*W3i;$$

- 20 при этом W1i представляет собой ширину резервуара T1i;
при этом W2 представляет собой ширину резервуара T2;
при этом W3i представляет собой ширину узкого участка Ni.

2. Печь по п. 1, отличающаяся тем, что купол C1i имеет высоту H1i, которая меньше высоты H2 купола C2.
- 25 3. Печь по любому из предыдущих пунктов, отличающаяся тем, что купол C3i имеет высоту H3i, которая равна высоте H2 купола C2 или меньше нее.
4. Печь по любому из предыдущих пунктов, отличающаяся тем, что купол C3i имеет высоту H3i, которая равна высоте H1i купола C1i или меньше нее.
5. Печь по любому из предыдущих пунктов, отличающаяся тем, что она
- 30 характеризуется $W1i \geq 1,5*W3i$.
6. Печь по любому из предыдущих пунктов, отличающаяся тем, что она характеризуется $0,2*W2 \leq W3i \leq 0,6*W2$.
7. Печь по любому из предыдущих пунктов, отличающаяся тем, что по меньшей мере одно впускное средство Li расположено раньше по ходу потока относительно

плавильного резервуара T1i или расположено в верхней части плавильного резервуара T1i.

8. Печь по любому предыдущему пункту, отличающаяся тем, что по меньшей мере одно впускное средство Li расположено раньше по ходу потока относительно плавильного резервуара T1i.

9. Печь по любому из предыдущих пунктов, отличающаяся тем, что она дополнительно содержит:

- плавильный резервуар T1ii, покрытый плавильным куполом C1ii и снабженный средствами электрического нагревания, расположенными на дне указанного резервуара;
- узкий участок Nii, покрытый куполом C3ii и разделяющий указанный плавильный резервуар T1ii и резервуар T2 осветления;
- по меньшей мере одно впускное средство Lii, расположенное в плавильном резервуаре T1ii, для загрузки в него способных превращаться в стекло материалов, подлежащих нагреванию;

печь дополнительно характеризуется следующим:

$$0,1*W2 \leq W3ii \leq 0,6*W2;$$

$$W1ii \geq 1,4*W3ii;$$

при этом W1ii представляет собой ширину резервуара T1ii;

при этом W3ii представляет собой ширину узкого участка Nii.

10. Печь по предыдущему пункту, отличающаяся тем, что купол C1ii имеет высоту H1ii, которая меньше высоты H2 купола C2.

11. Печь по пп. 9–10, отличающаяся тем, что купол C3ii имеет высоту H3ii, которая равна высоте H2 купола C2 или меньше нее.

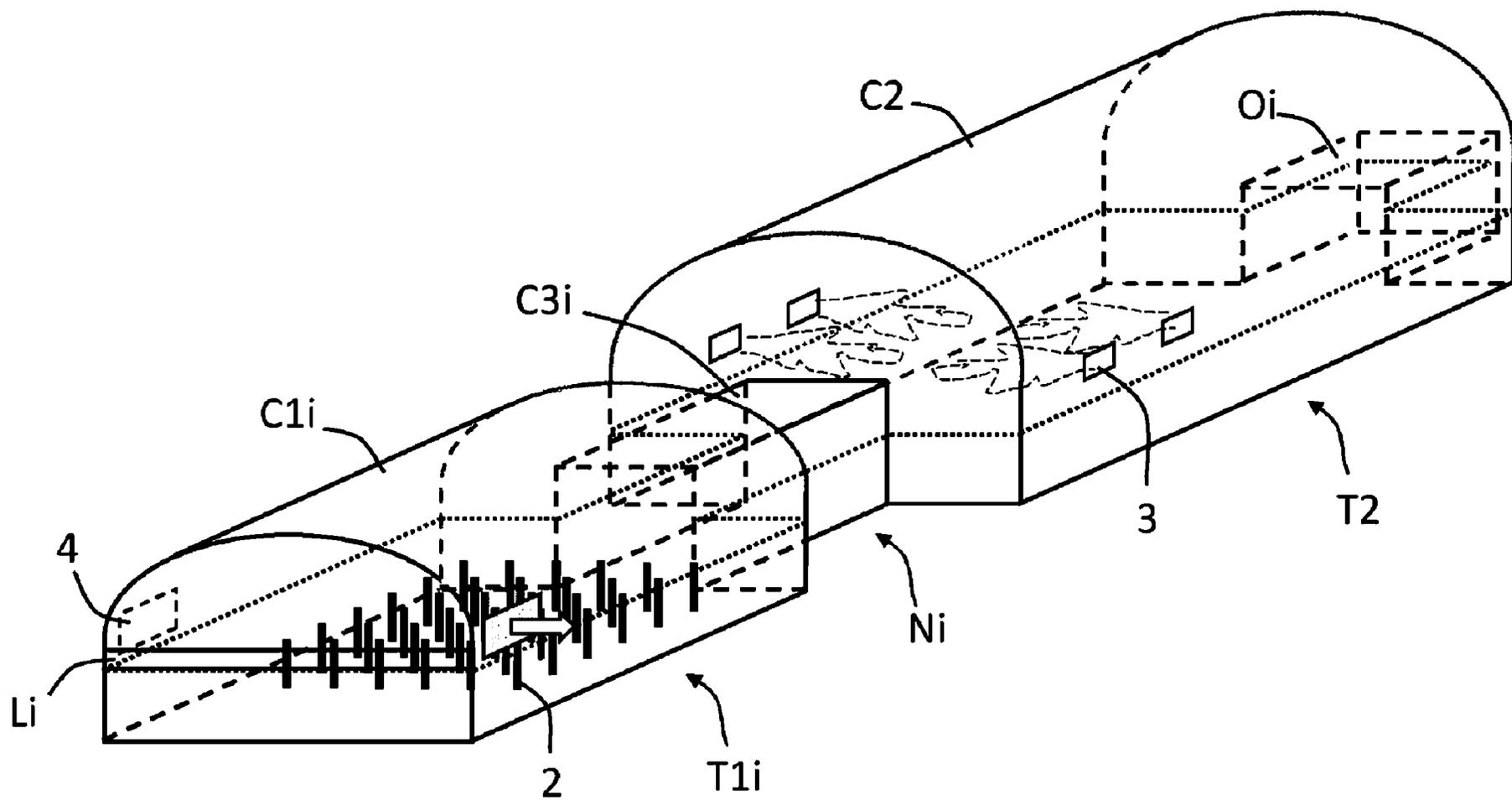
12. Печь по пп. 9–11, отличающаяся тем, что купол C3ii имеет высоту H3ii, которая равна высоте H1ii купола C1ii или меньше нее.

13. Печь по пп. 9–12, отличающаяся тем, что она характеризуется: $W1ii \geq 1,5*W3ii$.

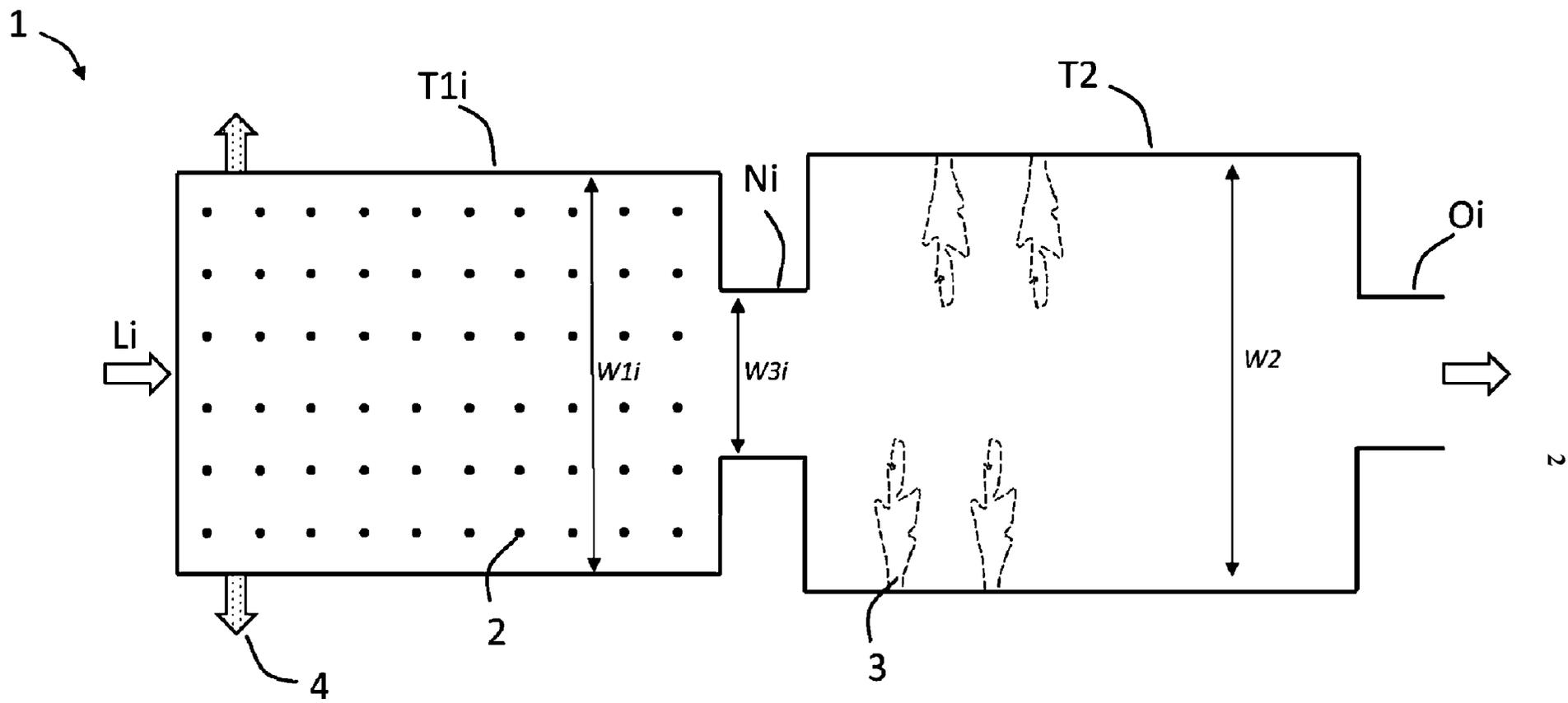
14. Печь по пп. 9–13, отличающаяся тем, что она характеризуется $0,2*W2 \leq W3ii \leq 0,6*W2$.

15. Печь по любому из пп. 9–14, отличающаяся тем, что по меньшей мере одно впускное средство Lii расположено раньше по ходу потока относительно плавильного резервуара T1i или расположено в верхней части плавильного резервуара T1i.

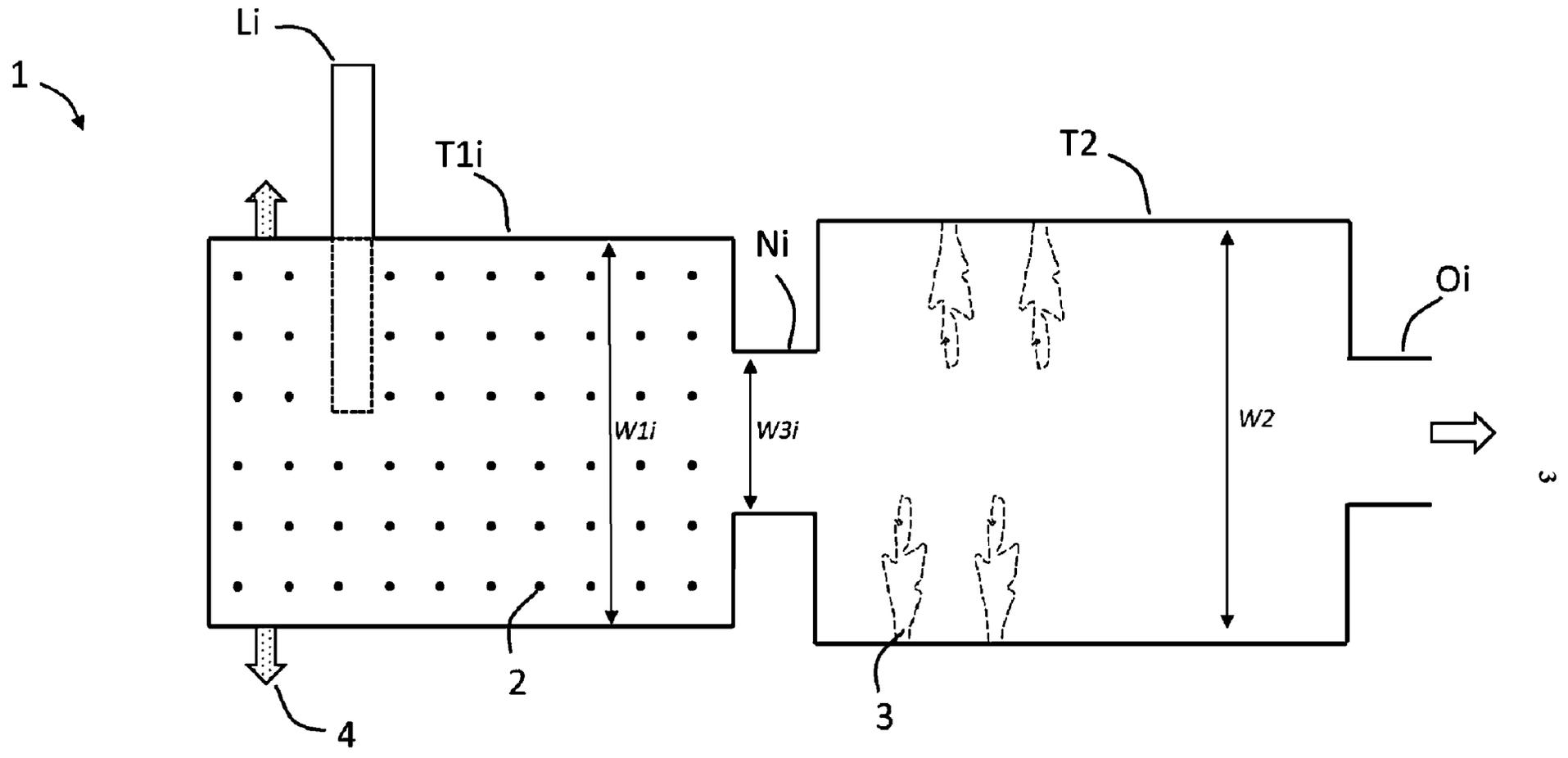
16. Печь по предыдущему пункту, отличающаяся тем, что по меньшей мере одно впускное средство L_{ii} расположено раньше по ходу потока относительно плавильного резервуара T_{1i} .
17. Печь по пп. 9–16, отличающаяся тем, что она дополнительно содержит:
- 5 - плавильный резервуар T_{1iii} , покрытый плавильным куполом C_{1iii} , снабженный средствами электрического нагрева, расположенными на дне указанных резервуаров;
- узкий участок N_{iii} , покрытый куполом C_{3iii} и разделяющий указанный плавильный резервуар T_{1iii} и резервуар T_2 освещения;
- 10 - по меньшей мере одно впускное средство L_{iii} , расположенное в плавильном резервуаре T_{1iii} , для загрузки в него способных превращаться в стекло материалов, подлежащих нагреванию;
- печь дополнительно характеризуется следующим:
- $0,1*W_2 \leq W_{3iii} \leq 0,6*W_2$;
- 15 $W_{1iii} \geq 1,4*W_{3iii}$;
- при этом W_{1iii} представляет собой ширину резервуара T_{1iii} ;
- при этом W_{3iii} представляет собой ширину узкого участка N_{iii} .
18. Печь по предыдущему пункту, отличающаяся тем, что купол C_{1iii} имеет высоту H_{1iii} , которая меньше высоты H_2 купола C_2 .
- 20 19. Печь по пп. 17–18, отличающаяся тем, что купол C_{3iii} имеет высоту H_{3iii} , которая равна высоте H_2 купола C_2 или меньше нее.
20. Печь по пп. 17–19, отличающаяся тем, что купол C_{3iii} имеет высоту H_{3iii} , которая равна высоте H_{1iii} купола C_{1iii} или меньше нее.
21. Печь по пп. 17–20, отличающаяся тем, что она характеризуется: $W_{1ii} \geq 1,5*W_{3iii}$.
- 25 22. Печь по пп. 17–21, отличающаяся тем, что она характеризуется $0,2*W_2 \leq W_{3iii} \leq 0,6*W_2$.
23. Печь по любому из пп. 17–22, отличающаяся тем, что по меньшей мере одно впускное средство L_{iii} расположено раньше по ходу потока относительно плавильного резервуара T_{1i} или расположено в верхней части плавильного резервуара T_{1i} .
- 30 24. Печь по предыдущему пункту, отличающаяся тем, что по меньшей мере одно впускное средство L_{iii} расположено раньше по ходу потока относительно плавильного резервуара T_{1i} .



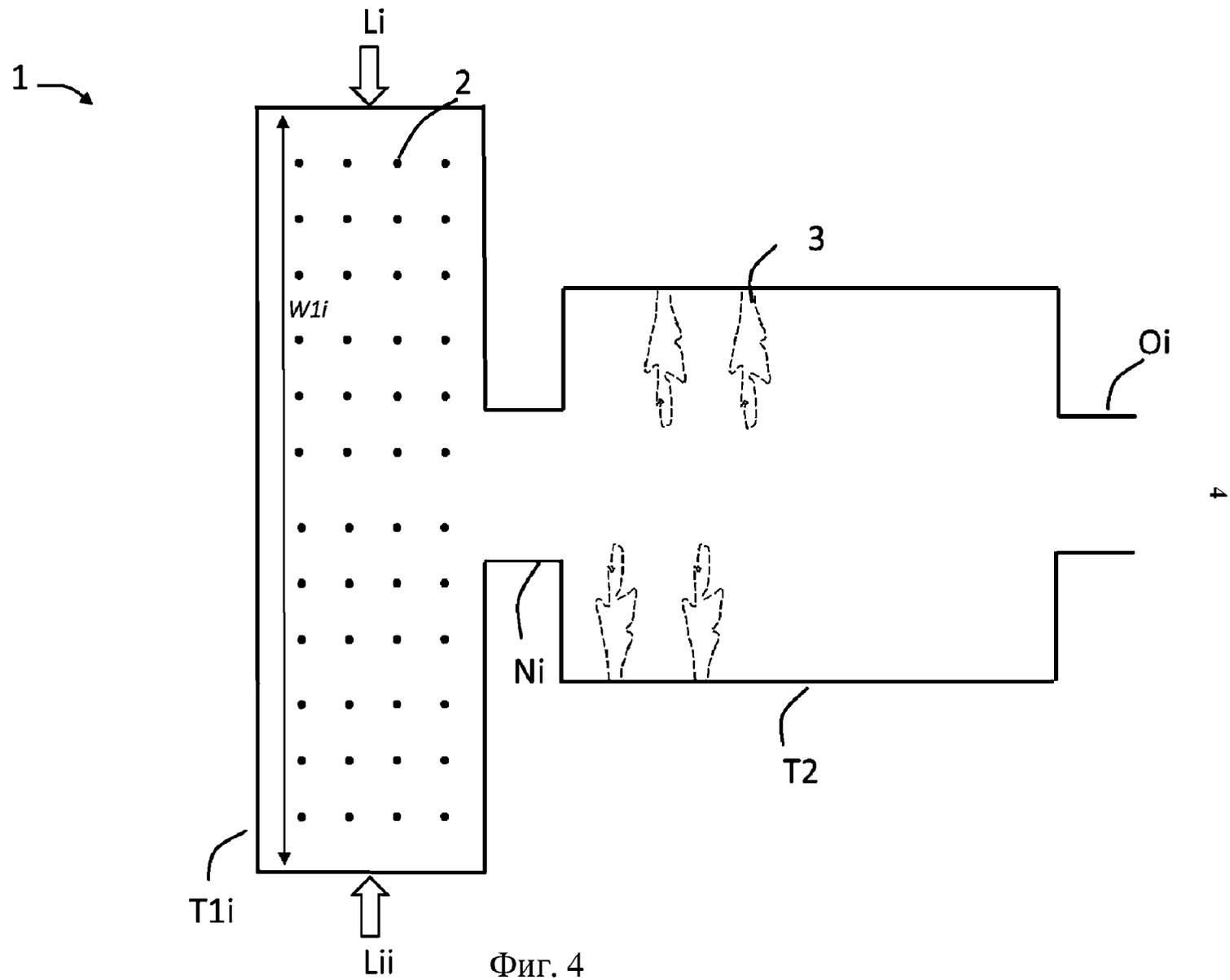
Фиг. 1



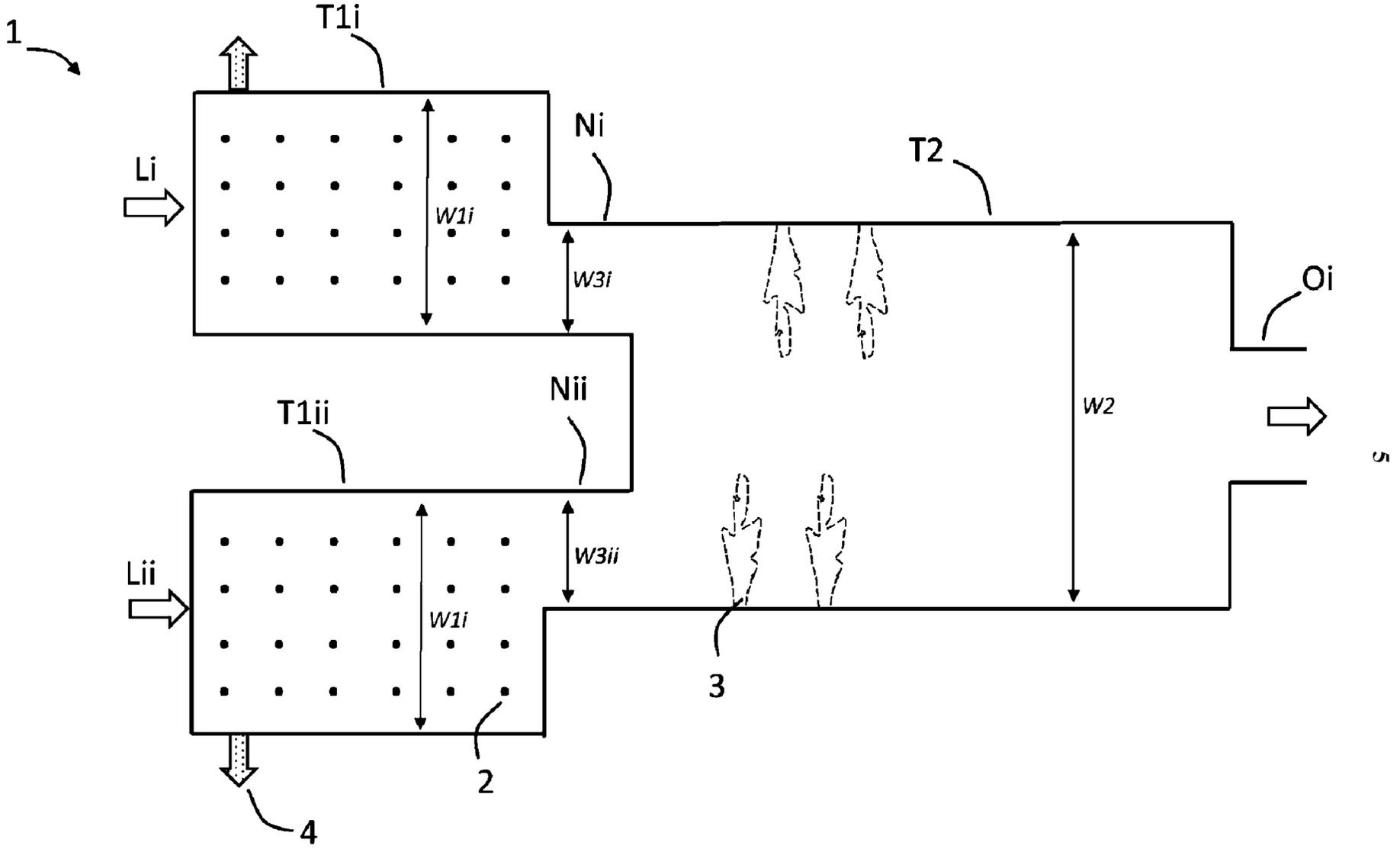
Фиг. 2



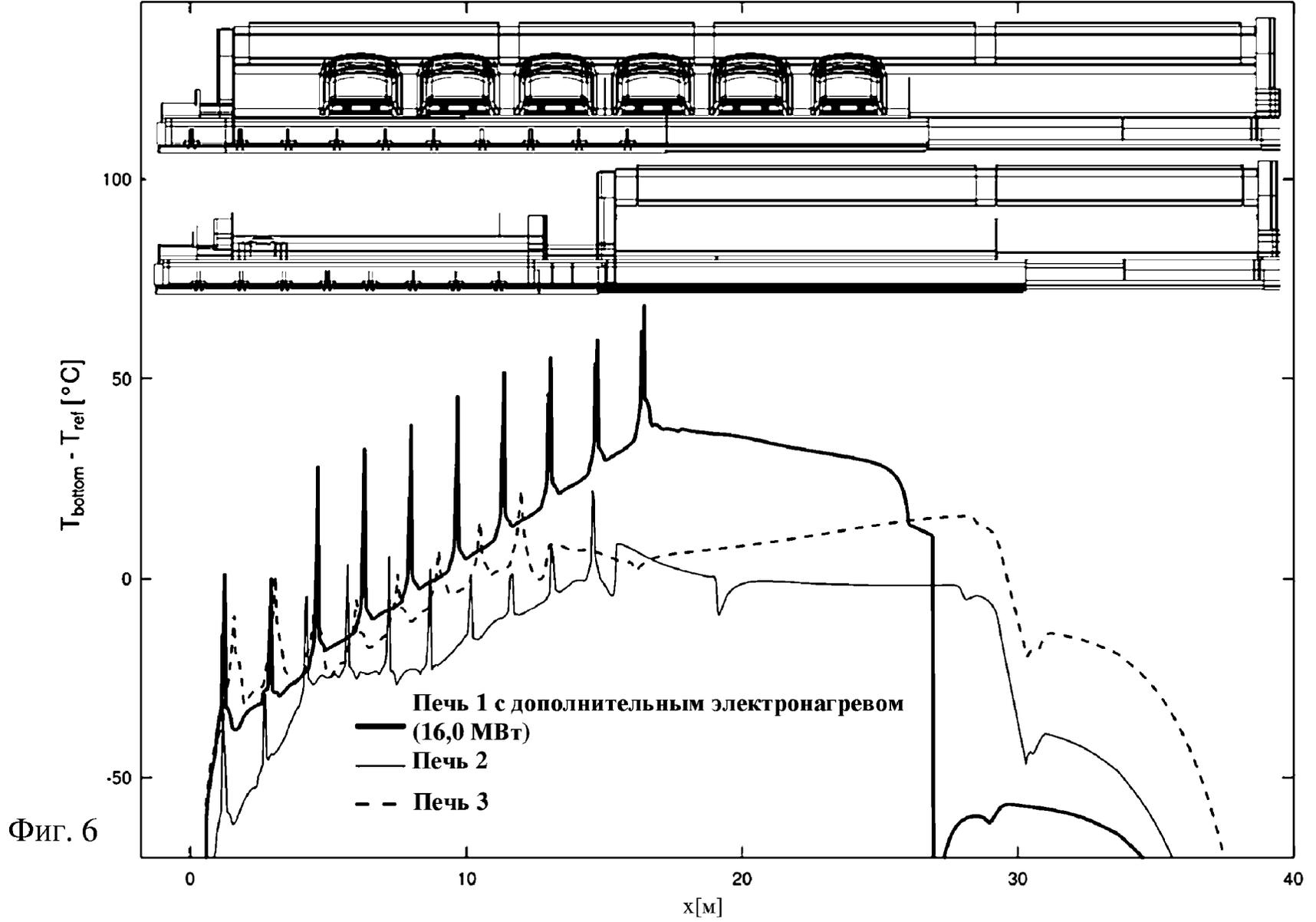
Фиг. 3

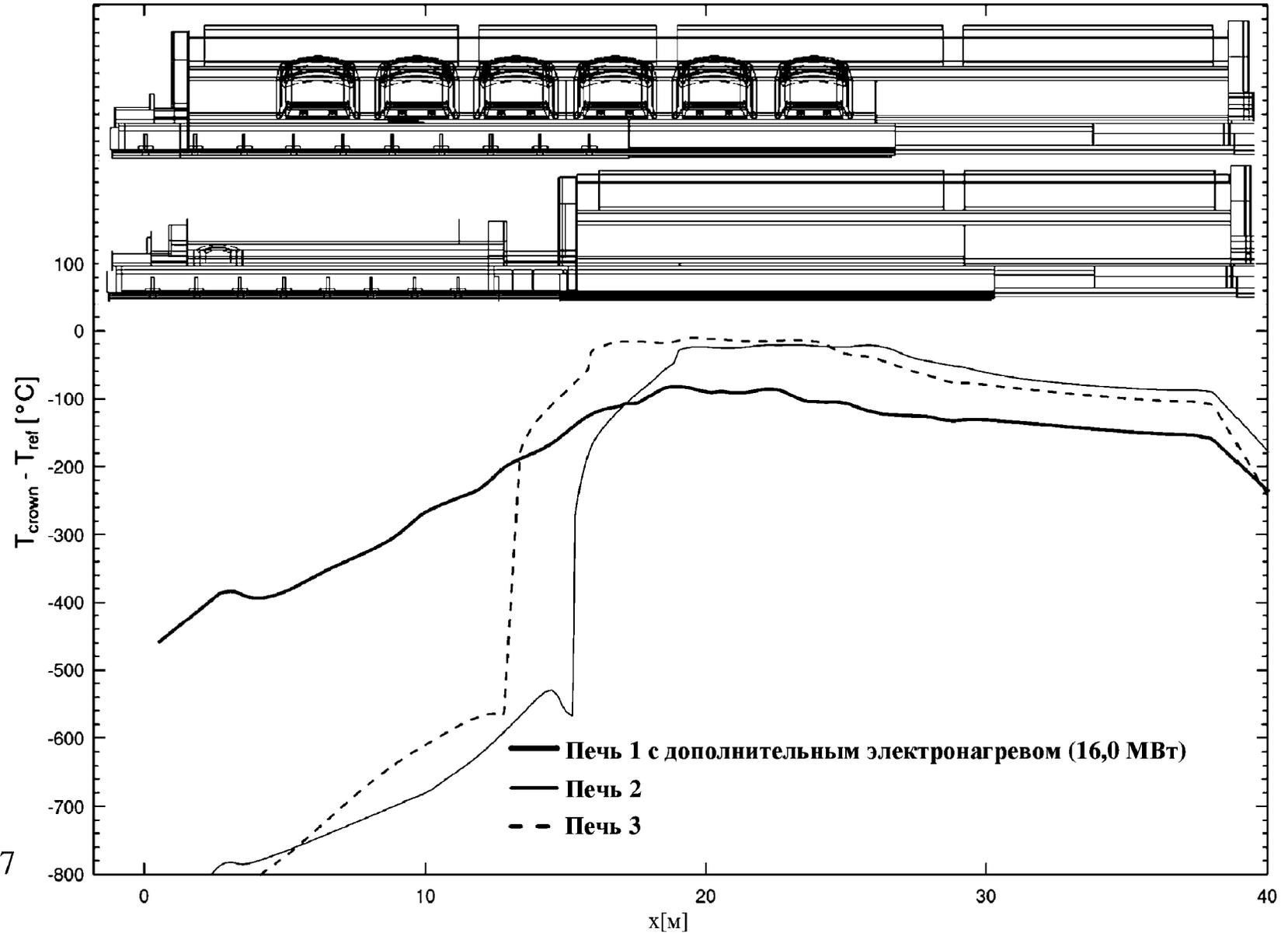


Фиг. 4

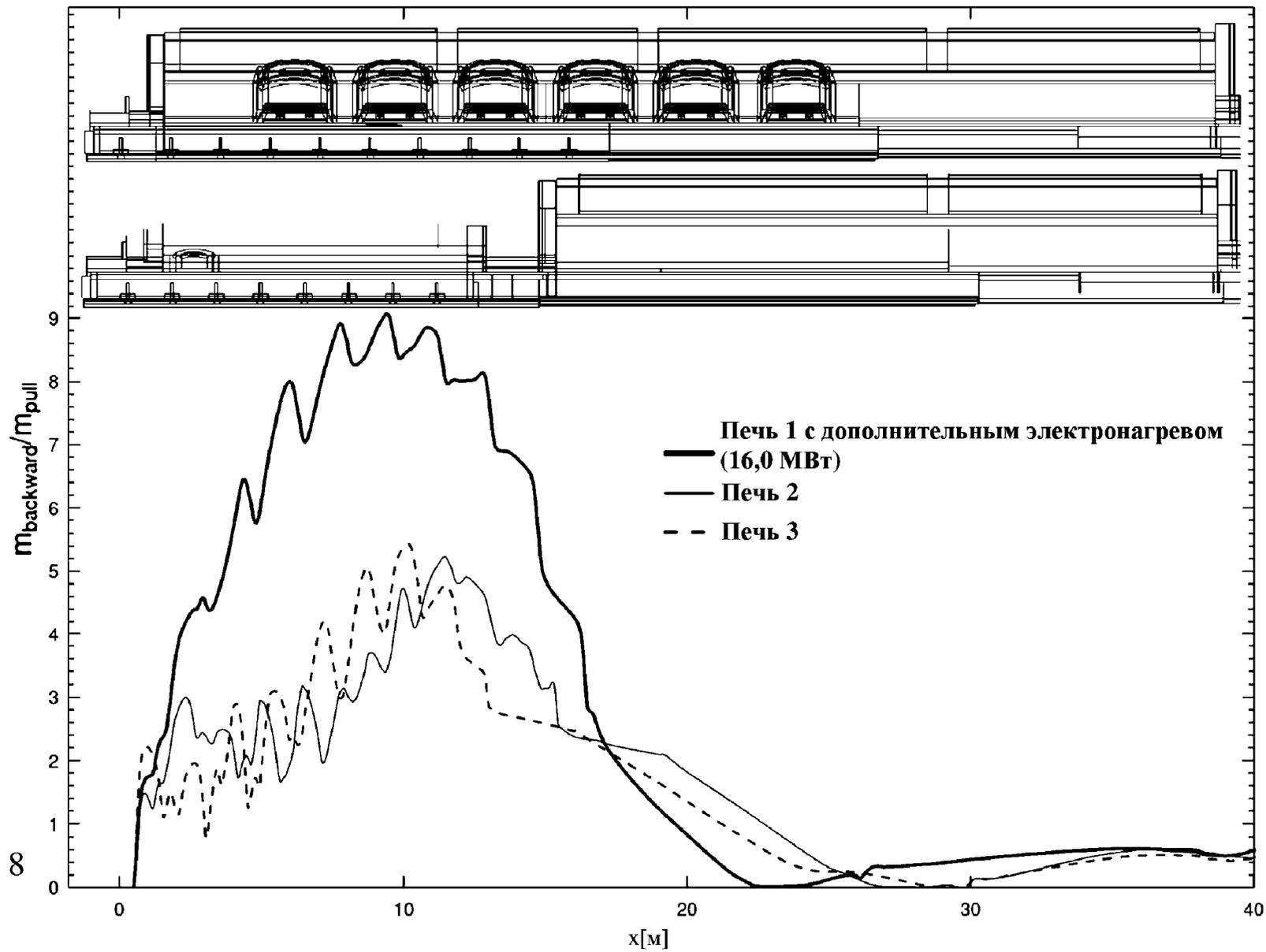


Фиг. 5





Фиг. 7



Фиг. 8