



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
*E02B 9/04 (2021.02); E03B 3/04 (2021.02)*

(21)(22) Заявка: 2020132957, 25.09.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
25.09.2020

Дата регистрации:  
21.04.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 25.09.2020

(45) Опубликовано: 21.04.2021 Бюл. № 12

Адрес для переписки:

614990, г. Пермь, Пермский край, ул. Ленина,  
13а, ПФИЦ УрО РАН, Барях А.А.

(72) Автор(ы):

Любимова Татьяна Петровна (RU),  
Лепихин Анатолий Павлович (RU),  
Богомолов Андрей Владимирович (RU),  
Паршакова Янина Николаевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Пермский государственный  
национальный исследовательский  
университет" (ПГНИУ) (RU),  
Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Пермский федеральный  
исследовательский центр Уральского  
отделения Российской академии наук  
(ПФИЦ УрО РАН) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: ЛЕПИХИН А.П. Особенности  
регулирования качества воды при ее  
селективном заборе из водохранилищ / А.П.  
Лепихин, Т.П. Любимова и др. // Водное  
хозяйство России. - 2017. - N 3. - С. 58. SU  
1617087 A1, 30.12.1990. CN 109853669 A,  
07.06.2019. CN 108396817 A, 14.08.2018.

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО ОТБОРА ВОДЫ ИЗ ПРИДОННЫХ ГОРИЗОНТОВ  
СТРАТИФИЦИРОВАННОГО ВОДНОГО ОБЪЕКТА

(57) Реферат:

Полезная модель относится к области водоснабжения, а именно к повышению качества воды, забираемой из водных объектов на питьевые и технические цели.

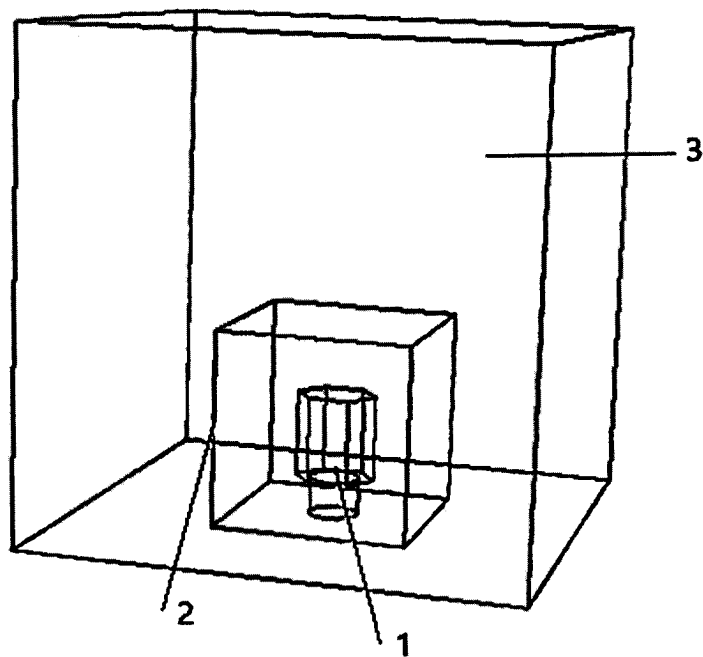
Устройство для селективного отбора воды из приповерхностных горизонтов стратифицированного водного объекта, представляющее собой цилиндр или прямую призму с открытым верхом и нижним основанием, выполненным с возможностью размещения в нем оголовка водозабора и закрепления в грунте донных отложений, при этом вертикальные

стенки выполнены из водонепроницаемого материала, а их высота установлена на основе комплекса натуральных наблюдений и численного моделирования в 3D-постановке потоков, определяющего вертикальную стратификацию водных масс с существенно различными потребительскими характеристиками так, чтобы верхний край устройства находился выше расположения слоя плотностного скачка или был максимально приближен к нему.

Технический результат, достигаемый полезной моделью, заключается в осуществлении забора

воды с требуемыми потребительскими свойствами  
из верхних слоев водоема при расположении

водозаборного оголовка в придонной области.  
1 з.п. ф-лы, 3 фиг.



Фиг.1

RU 203775 U1

RU 203775 U1

Полезная модель относится к области водоснабжения, а именно к повышению качества воды, забираемой из водных объектов на питьевые и технические цели.

Сегодня во многих городах мира существует острая проблема обеспечения промышленных комплексов и населения водой требуемого качества. Возобновляемыми источниками водоснабжения являются поверхностные водные объекты. Однако многие из них, в первую очередь озера и водохранилища, характеризуются существенной вертикальной стратификацией, связанной с плотностной неоднородностью водных масс, обусловленной неоднородностью распределения как температуры, так и минерализации воды. Весьма часто в качестве лимитирующего показателя требуемого качества воды, как для питьевого, так и промышленного водопользования, выступают минеральные соли, в первую очередь соли кальция и магния, формирующие жесткость воды. Проблема снижения жесткости забираемой воды весьма актуальна, но технические, аппаратные методы очень дороги. Для поддержания устойчивого водообеспечения, наиболее актуален забор воды с пониженной минерализацией и жесткостью. Такие водные массы, как менее плотные, располагаются в поверхностном горизонте, а более плотные (более минерализованные) в придонном горизонте.

Водные объекты характеризуются существенной как внутригодовой, так и междугодичной изменчивостью, поэтому оголовки водозаборов, как правило, вынуждены располагать на глубине, достаточной для парирования этих, как естественных, так техногенных, колебаний уровней воды. Возникает серьезная проблема совмещения размещения оголовков водозаборов в придонной области, с забором воды лучшего качества из поверхностных горизонтов. Для ее решения требуется организация селективного отбора воды необходимого качества из водного объекта.

С этой целью, как правило, используется водозаборы с расположением заборных окон на различных горизонтах. В зависимости от уровня и расположения слоя воды требуемого качества забор воды проводится с необходимого горизонта.

Из уровня техники известно водоприемное сооружение для забора воды из поверхностных источников (RU 2601040 E02B 9/04, E03B 3/04, опубликован 27.10.2016) оборудованное в виде берегового водозабора, содержащее водоприемную камеру, всасывающую камеру с насосами первого подъема, водоприемное сооружение выполнено в виде поплавка с воздушной камерой в нижней части водоприемного сооружения и крепится к вертикальным направляющим опорами с помощью кольцевых муфт, отличающееся тем, что в стенке водоприемной камеры введены два патрубка, на выходе которых размещены перекрываемые клапаны с поплавковым приводом, размещенным в водоприемной камере, причем нижний клапан соединен со штоком поплавка шарнирно в виде рычажного привода, а верхний клапан соединен с рычагом, закрепленным на горизонтальной оси его вращения, с возможностью вертикального перемещения относительно друг друга. Наличие в конструкции сооружения двух патрубков с двумя клапанами и поплавковым приводом позволяют в результате различных наполнений в источнике и его насыщенности наносами повысить устойчивый гидравлический напор в водоприемной камере, учитывая и скоростные характеристики водоисточника.

Также известны и другие устройства предназначенные для забора воды из поверхностных источников, где наблюдаются колебания уровней воды в течение времени, например, в период паводков, межени (RU 2630901 E03B 3/04 опубликован 14.09.2017; RU 2534576 E02B 9/04, E03B 3/04 опубликован 27.11.2014; RU 2373327 E02B 3/04 опубликован 20.11.2009; RU 2364680 E02B 9/04, E03B 3/04 опубликован 20.08.2009).

Однако такие водозаборы очень сложны конструктивно и весьма дорогостоящи.

Кроме того, они не позволяют организовать селективный отбор воды из поверхностных горизонтов на уже действующем водозаборе с придонным расположением оголовка.

Создание вокруг водозаборного оголовка донного барьера, отсекающего поступление на водозабор воды из придонных горизонтов, предполагает также возможность  
5 изменения высоты стенки барьера для парирования колебаний слоя раздела водных масс. Подвижность, изменяемость высоты стенок ограждающего барьера очень серьезно удорожает организацию селективного отбора воды.

Жесткая необходимость обеспечения забора воды с лучшими потребительскими свойствами обуславливает, при наличии устойчивой вертикальной стратификации воды  
10 водного объекта, использование различных схем селективного выборочного отбора воды. Наиболее часто такие схемы используются на ТЭЦ для забора воды из нижних, наиболее охлажденных слоев воды. Если вода с требуемыми потребительскими свойствами располагается на поверхностных горизонтах, то необходим селективный отбор воды из поверхностных горизонтов.

15 При организации донного барьера принципиально важно выполнение следующих двух условий:

- высота барьера должна быть выше расположения слоя плотностного скачка;
- интенсивность забора воды не должна нарушать устойчивость рассматриваемого слоя скачка.

20 Высота слоя скачка должна определяться на основе комплекса натуральных гидрологических и гидрохимических наблюдений, а для оценки устойчивости слоя скачка, а соответственно, и размера донного барьера при задаваемом расходе забираемой воды, предложены многочисленные полуэмпирические расчетные соотношения на основе плотностного числа Фруда -  $Fr$  и Ричардсона -  $Ri$ . Их обзор  
25 дается в следующих публикациях: Аверкиев А.Г., Макаров Т.И., Сипятин В.И. «Бесплотинные водозаборные сооружения», Л.: «Энергия», 1965, 163 с.; Васильев О.Ф. и др. «Стратифицированные течения», Итоги науки и техники. Гидромеханика, т. 8, изд. ВИНТИ, 1975, с. 74-119; Войнович А.П. «Забральные стенки для глубинного и поверхностного водозабора», тр. Координационного совещания по гидротехнике, вып.  
30 39, Л.: «Энергия», 1968, с. 116-123.

Данные требования достаточно легко выполняются, если водоснабжение организуется из искусственного водного объекта, специально созданного для решения данной  
проблемы. Если водоснабжение организуется из естественного водного объекта, характеризующегося существенной внутригодовой изменчивостью гидрологического  
35 режима или из водохранилища, регулирование которого проводится, в первую очередь, исходя из интересов других водопользователей, то обеспечение устойчивости селективного отбора воды с использованием донного барьера встречает значительные трудности, на преодоление которых направлена данная полезная модель.

Из уровня техники известно устройство («особенности регулирования качества воды при ее селективном заборе из водохранилищ», А.П. Лепихин, Т.П. Любимова и др.,  
40 журнал «Водное хозяйство России», №3, 2017, стр. 58), принятое за прототип, представляющее собой водозаборный оголовок, вокруг которого создан донный барьер, способный отсекающий забор воды из нижних горизонтов. В данном источнике информации рассматривается технология селективного забора воды, в то же время не раскрываются  
45 особенности выполнения донного барьера, который заявляется на регистрацию в качестве полезной модели. Не известно из каких материалов выполнен донный барьер и каким образом выбрана оптимальная высота вертикальных стенок донного барьера.

Принципиальным отличием заявляемого устройства селективного отбора воды от

известных заключается то, что все известные технические решения ориентированы на строительство, создание новых водозаборов, а не модернизацию действующих. В то же время заявляемое устройство позволяет организовать селективный забор воды на уже действующем водозаборе с традиционным расположением водозаборного оголовка в придонной области.

Поэтому для обеспечения селективного отбора предлагается создание донного барьера фиксированной оптимальной высоты. Высота барьера определяется расположением с одной стороны слоя плотностного скачка, а с другой она должны обеспечивать возможность устойчивой работы водозабора в наиболее неблагоприятных условиях, при этом возможное повышение слоя раздела водных масс выше стенки донного барьера предлагается парировать изменением, повышением забора воды. При этом характеристики ограждающего барьера, его высота определяется исходя из особенностей гидрологического, гидрохимического режима водного объекта, конструктивной особенности оголовка водозабора, его мощности на основе гидродинамических расчетов в 3D-постановке. Данная схема организации селективного водозабора может быть актуальной не только для снижения жесткости забираемой воды, но и для улучшения других показателей качества воды, характеризующейся существенной вертикальной стратификацией.

Задача, на решение которой направлена полезная модель, заключается в организации селективного забора воды из верхних слоев водоема на уже действующем водозаборе традиционной конструкции с расположением водозаборного оголовка в придонной области.

Технический результат, достигаемый полезной моделью, заключается в осуществлении забора воды с требуемыми потребительскими свойствами из верхних слоев водоема при расположении водозаборного оголовка в придонной области.

Технический результат достигается за счет использования заявляемой полезной модели, представляющей собой донный барьер, выполненный в форме цилиндра или прямой призмы с открытым верхом и нижним основанием, выполненным с возможностью размещения в нем оголовка водозабора и закрепления в грунте донных отложений, при этом вертикальные стенки, выполнены из водонепроницаемого материала. Высота вертикальных стенок определяется исходя из высоты расположения слоя плотностного скачка и обеспечения устойчивого забора воды в наиболее неблагоприятные периоды эксплуатации водозабора с учетом толщины ледового покрова и возможных минимальных уровней воды в водном объекте на основе численного моделирования в 3D-постановке потоков так, чтобы верхний край устройства располагался выше слоя плотностного скачка или максимально приближался к нему.

Донный барьер устанавливают на дно водоема таким образом, чтобы оголовок водозабора, расположенный в придонной области водоема, находился внутри донного барьера.

Характер материала из которого выполняется донный барьер не имеет принципиального значения, главное, чтобы он был водонепроницаем и устойчив к действию воды, чтобы эффективно отсекал забор воды из нижних горизонтов.

Размеры основания донного барьера определяются из установленной мощности водозабора, и особенности соотношения расположения слоя плотностного скачка и высоты донного барьера.

Устройство для селективного отбора воды из придонных горизонтов стратифицированного водного объекта в виде устанавливаемого вокруг оголовка

водозабора донного барьера в отличие от водозаборов с расположенными на различной глубине заборными окнами отличается простотой и удобством изготовления. При этом возможные превышения расположения границ раздела водных масс, вследствие изменения гидрологического режима водного объекта, предлагается парировать путем изменения расходов заборов воды. Для этих целей предлагается технология расчетов изменения параметров забора воды на основе численного гидродинамического моделирования в 3D-постановке.

Для реализации функции 3D-постановки, осуществляют сбор данных о стратификации водоема, и глубине расположения слоев воды с разными потребительскими свойствами. Далее массив данных за период регулярных наблюдений не менее года обрабатывают с помощью современных программ статистической обработки. Для анализа возможных экстремальных лимитирующих ситуаций осуществляют численное моделирование в 3D-постановке потоков и концентрации примесей в водоеме, которое позволяет объективно оценить наиболее вероятное расположение слоя воды с требуемыми для забора потребительскими свойствами (слоя скачка) и, таким образом, определить высоту вертикальных стенок устройства отбора воды, так чтобы верхний край устройства находился выше слоя плотностного скачка или был бы максимально приближен к нему. Такая конструкция устройства (донного барьера) позволяет при работе водозаборного оголовка забирать внутрь устройства воду из слоя с требуемыми характеристиками.

Использование донных барьеров с фиксированной высотой стенок позволяет принципиально снизить стоимость по сравнению с устройствами с подвижными стенками, в то же время позволяет существенно повысить устойчивость отбора воды требуемого качества.

Полезная модель поясняется следующими чертежами:

Фиг. 1 - Общий вид устройства для селективного отбора воды из придонных горизонтов стратифицированного водного объекта.

Фиг. 2 - Схема функционирования ограждающего барьера при расположении слоя скачка ниже высоты ограждающего барьера

(где  $F_{гр}$ ,  $F_{кр}$   $\rho$  - соответственно, плотностное число Фруда и его критическое значение,  $R_{р}$ ,  $R_{кр}$   $\rho$  - соответственно, число Ричардсона и его критическое значение,  $V$  - скорость течения,  $z$  - вертикальная координата)

Фиг. 3-Схема функционирования ограждающего барьера при расположении слоя скачка выше высоты ограждающего барьера

(где  $q$  - расход забираемой воды,  $F$  - площадь живого сечения,  $\omega$  - критическая скорость, определяющая устойчивость слоя скачка,  $\rho$  - плотность воды,  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  - плотность воды, соответственно, выше и ниже слоя скачка,  $g$  - ускорение свободного падения,  $H$  - уровень воды,  $C_{ж1}$  - жесткость воды выше слоя скачка,  $H_c$  - высота слоя скачка,  $H_b$  - высота донного барьера,  $V_z$  - скорость забора воды)

Устройство для селективного отбора воды из придонных горизонтов стратифицированного водного объекта представляющее собой цилиндр или прямую призму 2 с открытым верхом и нижним основанием, выполненным с возможностью размещения в нем оголовка 1 водозабора и закрепления в грунте донных отложений, при этом вертикальные стенки, выполнены из водонепроницаемого материала, а их высота установлена на основе натуральных наблюдений и численного моделирования в 3D-постановке, определяющего вертикальную стратификацию водных масс с существенно различными потребительскими характеристиками, с тем чтобы верхний край устройства располагался выше слоя плотностного скачка или находился

максимальном приближении к нему.

Устройство работает следующим образом. Донный барьер 2, устанавливают на дне водоема таким образом, чтобы водозаборный оголовок 1 находился в периметре нижнего основания барьера, между вертикальными стенками. При включении насоса (на фиг. отсутствует) водозабора создается тяга, при помощи которой в водозаборный оголовок 2 через верхнее открытое основание донного барьера, поступают водные массы 3 с требуемыми потребительскими свойствами (пониженной минерализацией и жесткостью) из приповерхностного слоя, при этом вертикальные стенки донного барьера, выполненные из водонепроницаемого материала, эффективно отсекают забор воды из нижних придонных горизонтов.

Примеры реализации донного барьера.

Экспериментальное испытание повышения эффективности использования селективного отбора воды для решения задач питьевого водоснабжения осуществлялось в условиях Чусовского водозабора г. Перми (ЧОС), расположенного на р. Чусовой (Чусовской плес Камского водохранилища), характеризующейся устойчивой вертикальной стратификацией водных масс. Для отработки технологии обеспечения устойчивого забора воды с требуемыми потребительскими свойствами выполнены детальные натурные исследования и вычислительные эксперименты. Серия вычислительных экспериментов по влиянию расходов заборов воды на качество отбираемой воды через отдельный водозаборный оголовок проводилась в 3D-постановке при помощи пакета вычислительной гидродинамики ANSYS Fluent. Задача решалась в рамках нестационарного изотермического подхода. Получены выводы как по улучшению качества забираемой воды при значимой неоднородности химических, физических свойств по глубине водных объектов, так и по обеспечению эффективной и устойчивой работы селективного отбора воды.

Пример 1. Осуществления полезной модели.

Исходя из расположения слоя плотностного скачка, уровней максимальной сработай Камского водохранилища, толщины ледяного покрова, формируемого в зимний период, а также проектной мощности водозабора, были приняты следующие размеры донного барьера. Высота барьера- 8 м, размеры основания 8\*8 м. Материал выполнения тестового образца - дерево. Результаты опытной эксплуатации показали его высокую эффективность, приведены в таблице 1.

35

40

45

Таблица 1 – Результаты натурального эксперимента по параллельному забору воды на 3 очереди (наличие донных барьеров) и старой (без донных барьеров вокруг оголовков) насосных станциях ЧОС (по данным оператора системы водоснабжения г. Перми ООО Новогор-Прикамье)

Дата отбора проб воды	Жесткость воды в ед. жесткости	
	Насосная станция 1 подъема (3 очередь)	Насосная станция 1 подъема (старая)
13.01.2017	6,8	12,6
14.01.2017	6,7	14,1
15.01.2017	6,3	13,5
16.01.2017	5,8	12,8
17.01.2017	6,5	14,3
18.01.2017	5,8	13,0
19.01.2017	5,9	13,2
20.01.2017	6,2	13,4
21.01.2017	7,6	13,0
22.01.2017	8	17,2
23.01.2017	6,5	12,9
24.01.2017	6,5	12,9
25.01.2017	6,0	13,1

Пример 2. Функционирование донного барьера при расположении слоя скачка выше высоты донного барьера.

В первую очередь, возникают существенные сложности в реализации высоты донного барьера, гарантированно выше расположения слоя плотностного скачка. Колебания гидрологического режима при наличии мощного ледяного покрова часто требуют установления высоты донного барьера на уровне среднего положения плотностного скачка в рассматриваемом водном объекте. В связи с этим, при определенных гидрологических условиях, слой плотностного скачка может быть несколько выше установленной высоты донного барьера (фиг. 2). Для обеспечения устойчивости водоснабжения в этих условиях крайне важна технология, позволяющая парировать возможные колебания слоя скачка.

Если слой плотностного скачка располагается выше отметки барьера, возможны две принципиально различные ситуации:

- скорость забора воды, определяемая мощностью насосов, мала и может не «пробить» верхний «запирающий слой», в этом случае, как следует из фиг. 2, в оголовок водозабора будет поступать из нижнего более плотного слоя вода ненормативного качества.

- если забор воды достаточно интенсивен, скорость забора воды достаточно велика  $V_z > \omega$ , где  $V_z \sim q/F$ , где  $q$  - расход забираемой воды,  $F$  - площадь живого сечения,  $\omega \sim (\Delta\rho/\rho \cdot \Delta H \cdot g)^{1/2}$ ,  $\Delta\rho = \rho_2 - \rho_x$   $\omega$  - критическая скорость, определяющая устойчивость



слоя скачка,  $\rho$  - плотность воды,  $\rho_1, \rho_2$  - плотность воды, соответственно, выше и ниже слоя скачка,  $g$  - ускорение свободного падения, то происходит «пробивка» запирающего слоя, и на водозабор будет поступать вода нормативно высокого качества (фиг. 3).

5

(57) Формула полезной модели

1. Устройство для селективного отбора воды из приповерхностного слоя стратифицированного водного объекта, представляющее собой донный барьер с открытым верхом и нижним основанием, выполненным с возможностью размещения в нем оголовка водозабора и закрепления в грунте донных отложений, отличающееся тем, что вертикальные стенки донного барьера выполнены из водонепроницаемого материала и имеют фиксированную высоту, определенную исходя из высоты расположения плотностного скачка.

2. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что высота вертикальных стенок установлена на основе детальных натурных наблюдений и численного моделирования в 3D-постановке в негидростатическом приближении, определяющем вертикальную стратификацию водных масс с существенно различными потребительскими характеристиками так, чтобы верхний край устройства находился выше слоя плотностного скачка или был максимально приближен к нему.

20

25

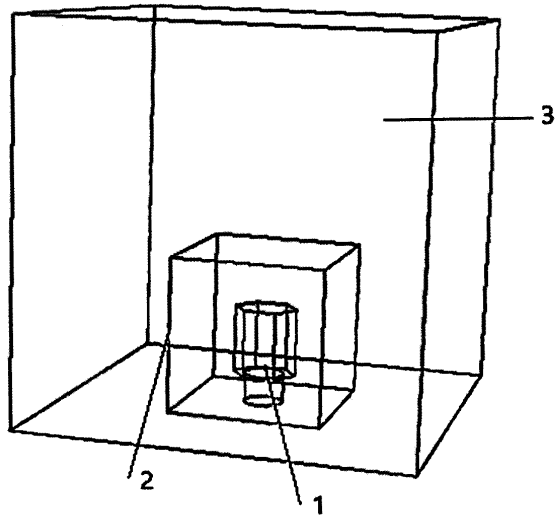
30

35

40

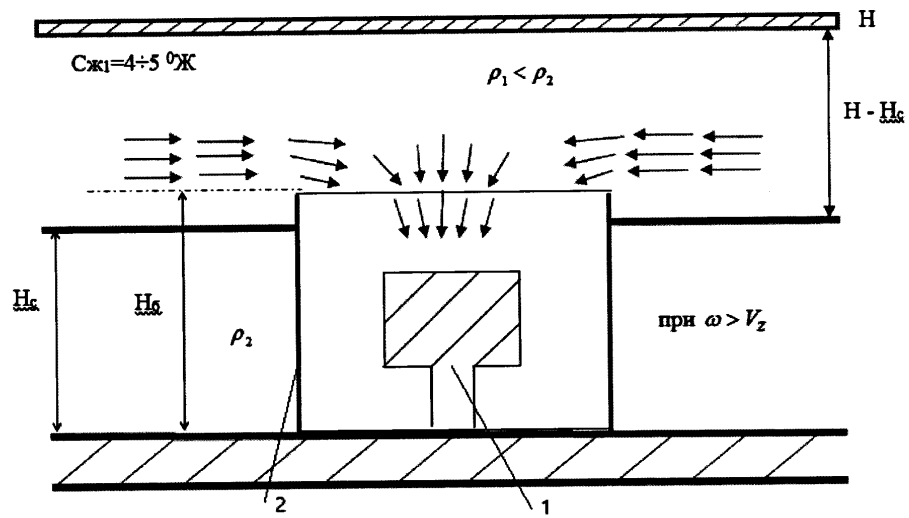
45

1

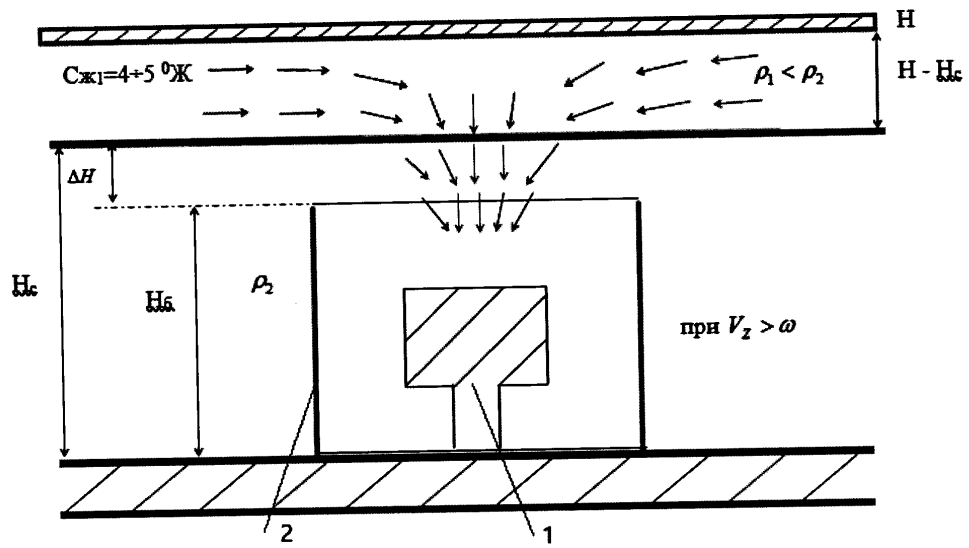


Фиг.1

2



Фиг. 2



Фиг.3