

А.В. ШУШЛЯКОВ¹, Д.А. ШУШЛЯКОВ¹, Л.В. КИРИЧЕНКО¹, Н.И. ПРОСКУРНЯ²

¹Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры, г. Харьков

²Полтавский национальный технический университет им. Ю. Кондратюка, г. Полтава

АППАРАТЫ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЧИСТКИ ГАЗОВ И ОРАШАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ ОТ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

Исследована аэродинамика мультивихревого турбулентного аппарата для очистки термальной воды от взвешенных примесей и газов. Выполнены расчеты распределения скоростей жидкости и газа вдоль радиусов и по высоте рабочей камеры, бункера и сепарационной камеры. Рассчитана эффективность десорбции газов из термальной воды.

В газах, удаляемых от технологического оборудования, как правило, содержатся примеси загрязняющих веществ техногенного, микробиологического, растительного, животного и минерального происхождения (композиционные примеси), которые могут отличаться свойствами, агрегатным состоянием и концентрациями. Перед выбросом в атмосферу газы подвергаются очистке от этих примесей комплексным способом, с помощью сухих или мокрых аппаратов [1].

Схема аппарата для комплексной сухой очистки газа представлена на рис. 1, а принцип работы газоочистной установки (ГОУ) и характеристики аппарата приведены в работах [1, 2].

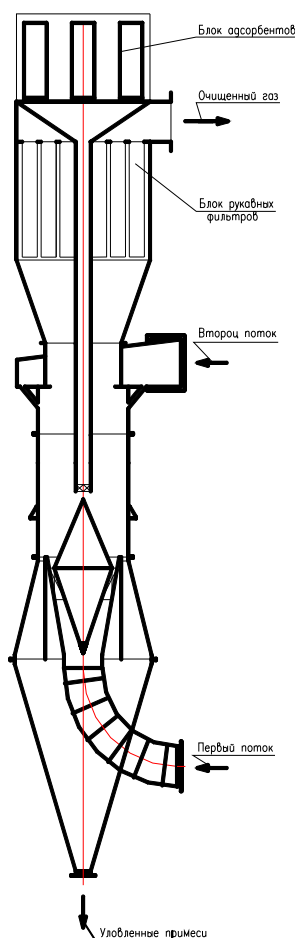


Рис. 1. Пылеуловитель вихревой с центральной трубой для комплексной очистки газа сухим способом

При комплексной очистке газов с использованием воды из оборудования ГОУ удаляется вода с уловленными примесями, которую тоже необходимо очищать. Так как очистка воды от загрязняющих веществ представляет собой энергоемкий процесс, который требует специального оборудования и затрат ручного труда, то целесообразно применять для очистки газа мокрым способом такое оборудование, в котором одновременно производилась бы очистка газа и жидкости.

В настоящее время для комплексной мокрой очистки газа используются вихревые турбулентные промыватели (ВТП) [3, 4], которые внедрены на многих предприятиях и показали высокую эффективность и надежность в работе. Так, при очистке аспирационного воздуха, удаляемого от оборудования подготовки табака, ВТП улавливают взвешенные примеси с эффективностью 99,8%, а водорастворимые газы – с эффективностью 96%-97% [5]. При этом расход орошающей воды по сравнению со скрубберами Вентури меньше на порядок. На очистку 20000 м³/час аспирационного воздуха в холодный период года расходуется 1,0 м³/в смену воды, а в теплый период – 2 м³/в смену.

С целью расширения применения ВТП на других предприятиях для очистки газов от нерастворимых в воде газов была предложена конструкция вихревого турбулентного промывателя с ионизатором газа (ВТПИ), а вместо воды предложено использовать абсорбенты. Такая конструкция аппаратов позволяет улавливать взвешенные, паро- и газообразные примеси, а также адсорбировать запахи. Известно, что озон является сильным окислителем, способным окислить опасные примеси до соответствующих кислот, поэтому метод обезвреживания газов и жидкости с помощью озонирования широко применяется на производстве. Схема ВТПИ показана на рис.2.

Принцип работы ВТПИ отличается от ВТП тем, что за счет ионизации газа происходит адсорбция ионов и более активное взаимодействие молекул разных газов, их окисление, при этом изменяются состав и свойства газов, уменьшается их негативное влияние на биологические объекты.

Недостатком этих аппаратов является то, что удаляемая из аппаратов вода содержит все уловленные примеси загрязняющих веществ и ее тоже необходимо очищать.

Для того чтобы одновременно очищать газы и орошающую жидкость от композиционных примесей загрязняющих веществ, кроме сухого, мокрого и электрического способов очистки, необходимо еще использовать комплекс высокоинтенсивных физических факторов. К таким факторам относится использование импульсного коронного разряда с расширенной зоной ионизации (ИКРРЗИ). Коронный разряд воздействует на очищаемые газы и жидкость сильными импульсными электрическим и магнитным полями, плазмой разряда, содержащей электроны с электронной температурой, превышающей температуру тяжелых частиц (атомов и ионов), протоны, гидроксильные радикалы ОН, атомарный кислород, молекулы кислорода и другие частицы [6]. Коронные разряды формируют широкополосное излучение, в спектре которых есть ультрафиолетовое и более короткие излучения. За счет того, что электронная температура может превышать 10эВ, молекулы загрязняющих веществ могут быть разбиты прямым электронным ударом [7].

Наиболее эффективная очистка газа и воды от опасных примесей достигается при воздействии ИКРРЗИ на смесь газа и капельной жидкости или на поверхность жидкости, так как при этом возникают цепные реакции, обусловленные влиянием гидроксильных радикалов из озонгидроксильной смеси [6, 7]. Именно такие условия создаются в объеме ВТПКР, где в потоке газов и капельной жидкости происходит слияние и деление капель и постоянное обновление поверхности контакта жидкости, а значит, газы и жидкость будут подвергаться всестороннему воздействию всех перечисленных факторов ИКРРЗИ. Схема вихревого турбулентного промывателя с устройством для генерации коронных электрических разрядов (ВТПКР) показана на рис. 3.

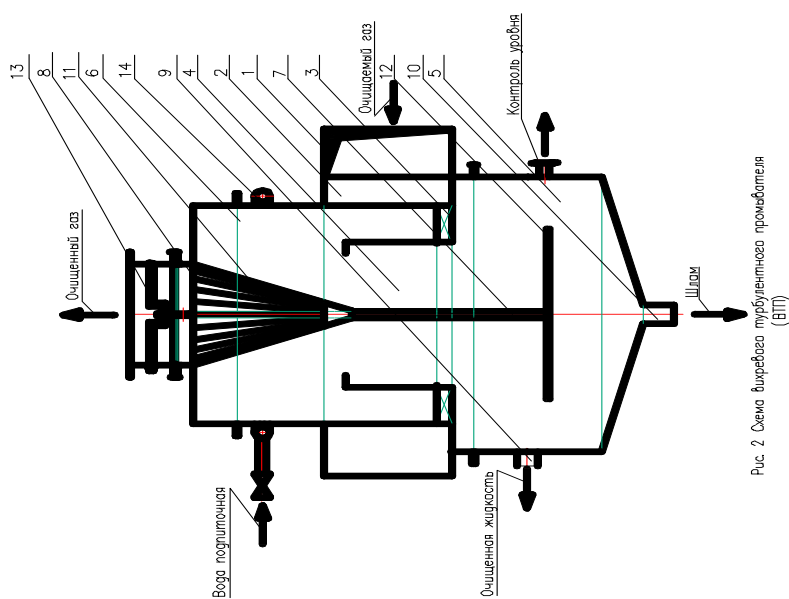


Рис. 2. Схема вихревого турбулентного промывателя (ВТ)

1. Патрубок очищаемого газа; 2. Распределительная камера; 3. Заборник; 4. Рабочая камера; 5. Бункер; 6. Сепарационная камера; 7. Шток для поворота диска; 8, 9, 10. Патрубки очищаемого газа, вода, удаления шлака; 11. Коллекулатор; 12. Диск; 13. Подъемное устройство.

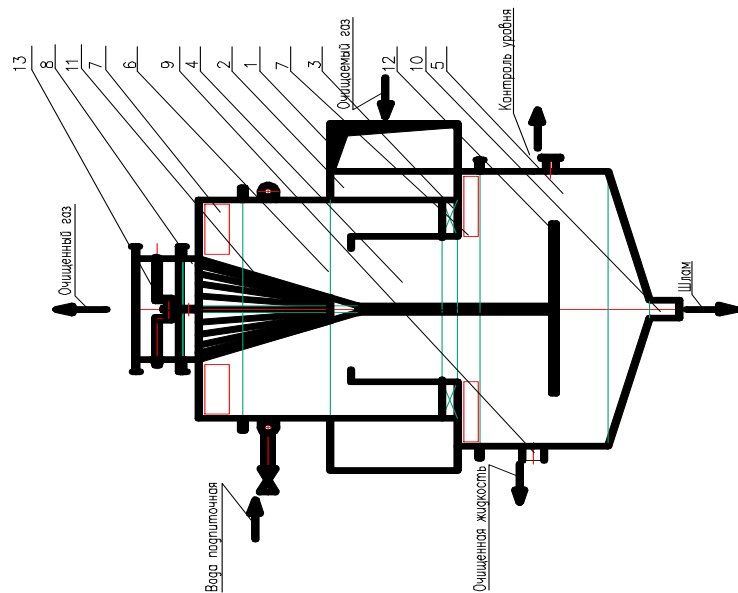


Рис. 2. Схема вихревого турбулентного промывателя с изолятором очищаемого газа (ВТИ)

1. Патрубок очищаемого газа; 2. Распределительная камера; 3. Заборник; 4. Рабочая камера; 5. Бункер; 6. Сепарационная камера; 7. Генератор коронарных разрядов; 8, 9, 10. Патрубки очищаемого газа, вода, удаления шлака; 11. Коллекулатор; 12. Диск со шпоном; 13. Подъемное устройство.

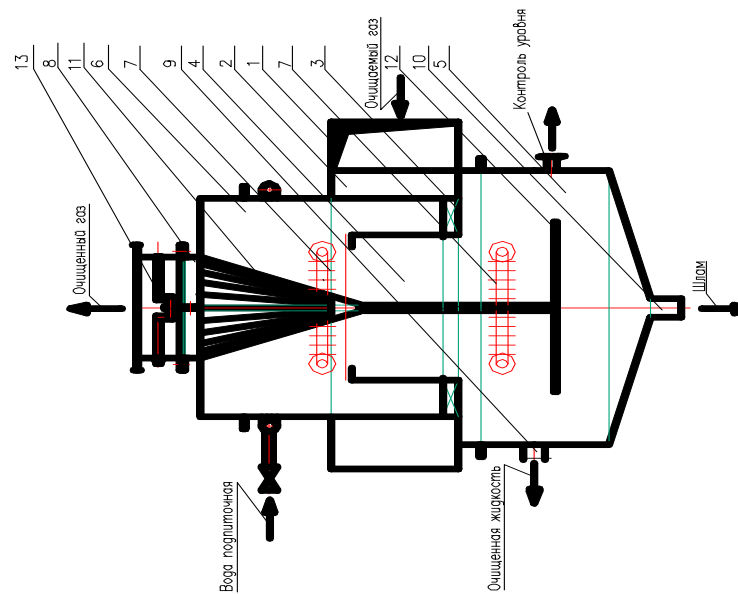


Рис. 4. Схема вихревого турбулентного промывателя с устройством для генерации коронарных разрядов (ВПКР)

1. Патрубок очищаемого газа; 2. Распределительная камера; 3. Заборник; 4. Рабочая камера; 5. Бункер; 6. Сепарационная камера; 7. Генератор коронарных разрядов; 8, 9, 10. Патрубки очищаемого газа, вода, удаления шлака; 11. Коллекулатор; 12. Диск со шпоном; 13. Подъемное устройство.

Опыты очистки воды от сернистого ангидрида, оксидов углерода, бензола, толуола, фенола, ацетона и диоксинов подтвердили, что использование ИКРРЗИ в ВТПКР обеспечивает комплексную высокоэффективную очистку воды от перечисленных примесей [6].

Принцип работы ВТПКР заключается в следующем: поток очищаемого газа поступает в аппарат через патрубок 1 и по распределительной камере переменного сечения 2 равномерно подводится к каналам завихрителя 3. Закрученный в каналах завихрителя 3 поток газа поступает в рабочую камеру 4 и вращается над неподвижной поверхностью воды, предварительно залитой в бункер 5. Под действием центробежных сил верхний слой жидкости сдвигается в приосевую зону бункера и выносится потоком газа в рабочую камеру 4. За счет аэродинамических и инерционных сил жидкость дробится на капли размером 20-60 мкм, которые центробежными силами отбрасываются к стенкам рабочей камеры 4, но отжимаются от стенок потоком очищаемого газа, который вытекает из завихрителя 3. Таким образом, в рабочей камере 4 образуется цилиндрическая вращающаяся капельнозернистая поверхность, через которую фильтруется очищаемый газ. По мере накопления жидкости в рабочей камере часть ее вместе с уловленными примесями сбрасывается в бункер 5, обеспечивая многократную циркуляцию жидкости (из бункера – в рабочую камеру – и снова в бункер) и интенсивное орошение очищаемого газа.

В приосевой зоне, ниже рабочей камеры и выше поверхности воды в бункере 5, а также над рабочей камерой 4 (в сепарационной камере 6) крепятся неподвижно устройства 7, с помощью которых генерируются коронные разряды.

Частота коронных разрядов составляет 10^7 разрядов в секунду. Молекулы в потоках газа и капельной жидкости в объеме аппарата, а также в слое жидкости глубиной не менее 100 мм в бункере, подвергаются воздействию комплекса факторов, обусловленных действием коронных разрядов. Молекулы паро- и газообразных загрязняющих веществ под действием коронных разрядов диссоциируются, а затем восстанавливаются, образуя вещества не опасные для здоровья. Техногенные взвешенные примеси более активно вступают в реакции, образуют укрупненные конгломераты и выпадают в осадок, а грибки, бактерии и вирусы полностью инактивируются. Ионам тяжелых металлов также сообщается дополнительная энергия, что способствует образованию более крупных частиц, которые выпадают в осадок. Экспериментальные исследования очистки загрязненной воды [6] с использованием коронных разрядов показали, что эффективность удаления тяжелых металлов из воды составляет примерно 80%. Очищенный газ из ВТПКР удаляется через патрубок 8, а вода и шлам, соответственно, через патрубки 9 и 10.

Механизм взаимодействия примесей в газах и жидкостях под воздействием коронных разрядов еще глубоко не изучен, но результаты экспериментальных исследований позволяют утверждать, что ВТПКР являются новым поколением оборудования, с помощью которого могут решаться отдельные экологические проблемы.

В настоящее время на промышленных предприятиях внедрены вихревые турбулентные промыватели производительностью 12000 м³/час очищаемого газа [8, 9]. Увеличение производительности аппаратов приводит к непропорциональному росту сопротивления для прохода газа, что приводит к увеличению энергозатрат. С целью уменьшения сопротивления аппаратов ВТП, ВТПИ и ВТПКР при увеличении объемов очищаемого газа была предложена конструкции мультивихревых аппаратов: МВТП, МВТПИ, МВТПКР [9]. Особенностью таких аппаратов является то, что в одном корпусе монтируются по параллельной схеме несколько модулей вихревых аппаратов. Общая производительность по очищаемому газу при этом увеличивается пропорционально числу модулей, а сопротивление мультивихревого аппарата по сравнению с одним ВТП изменяется незначительно.

Перечисленные аппараты могут использоваться также для удаления газов из воды. Это особенно важно при использовании ВТП для удаления из воды горючих или агрессивных газов при подготовке термальной воды (десорбции) в котельных на ТЭЦ и на других объектах. Процесс десорбции газов в основном зависит от размеров капель и температуры жидкости, при этом степень диспергации жидкости является определяющим фактором, который зависит от скорости потоков жидкости и газов.

Зависимость размеров капель от свойств жидкости и скорости потока можно представить в виде критерия Вебера [9]:

$$W = \frac{\rho v^2 d}{2\sigma} \quad (1)$$

где: ρ - плотность жидкости; v, d - скорость и размер капли; σ - сила поверхностного натяжения.

Дробление жидкости на капли и крупных капель на более мелкие капли может протекать простым делением на целое число капель или «со сдиром», с образованием мелких капель и пленки жидкости, либо в виде «взрывного кипения», когда кипение происходит во всем объеме жидкости, а после взрыва образуется много капель разных размеров. Дробление жидкости на капли характеризуется произведением критериев Рейнольдса и Вебера: ReW .

Режим взрывного кипения капель может быть обусловлен неустойчивостью Рэлея-Ламба-Тэйлора поверхности капли с наветренной стороны. Темп развития такой неустойчивости связан с ускорением капли. Критерием, характеризующим режим взрывного кипения, является число Бонда [10].

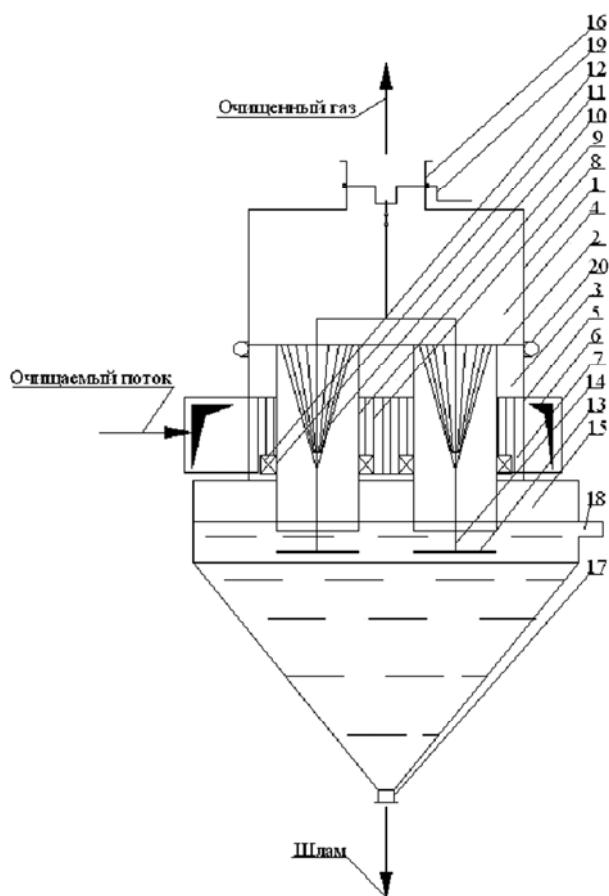


Рис. 4. Мультивихревой турбулентный промыватель (МВТП)

1. Корпус МВТП; 2. Горизонтальная перегородка; 3. Нижняя камера; 4. Верхняя камера; 5. Отверстие в корпусе нижней камеры; 6. Распределительная камера; 7. Лопатки завихрителя МВТП; 8. Завихритель МВТП; 9. Модуль; 10. Каплеотделитель; 11. Отверстие в корпусе модуля; 12. Завихритель модуля; 13. Диск; 14. Шток; 15. Бункер; 16. Патрубок для удаления, очищенного газа; 17. Патрубок для удаления шлама; 18. Патрубок для слива воды; 19. Устройство для подъема диска со штоком; 20. Коллектор воды.

$$B = \alpha f d^2 \sigma \geq B^* \quad (2)$$

где: α – ускорение; f , d – площадь и размер капли; $B^* = 5 \cdot 10^3$ – критическое число Бонда.

В зависимости от значений ReW и B можно выделить три режима дробления капель:

При	$4 \leq W \leq 20$	
	$0.1 \leq Re^{-0.5} W \leq 0.8$	дробление без «здира»;
При	$10 \leq W \leq 10^4$	
	$0.5 \leq Re^{-0.5} W \leq 10$	дробление со «здиrom»;
При	$10^3 \leq W \leq 10^5$	
	$10 \leq Re^{-0.5} W \leq 10^2$	дробление взрывное;

Зависимость размеров капель от скорости капельнозернистого потока в рабочей камере вихревых турбулентных промывателей можно представить в виде эмпирической зависимости:

$$d = -426.4V^3 + 1087V^2 + 961V + 327,0 \quad (3)$$

где: V – скорость жидкости.

За счет дробления капель увеличивается площадь поверхности тепломассообмена, что существенно повышает эффективность комплексной очистки газа или десорбции газообразных примесей из воды. Расход жидкости, циркулирующей (бункер – рабочая камера – бункер) в аппарате, регулируется с помощью диска 12, который имеет возможность вертикального перемещения.

Для предотвращения выноса капельной жидкости из аппаратов в сепарационной камере монтируется неподвижно конусный каплеотделитель 11. Взвешенные примеси из шлама отделяются с помощью гидроциклона. Вода, с остатками примесей, после гидроциклона направляется в сборный бак для доочистки и повторного использования.

Проведенные исследования подтвердили: чем больше компонентов загрязняющих веществ содержится в воздухе и в воде, тем больше способов и методов необходимо использовать одновременно в одном аппарате для обеспечения высокоэффективной комплексной очистки газа и воды.

1. Пат. 29941А В01Д53/34-53/36 Україна. Апарат для комплексної очистки газу. Шушляков О.В., Шило В.В., Харитонova В.С., Шушляков Д.О. Бюл.№6,11, 15.11.2000.

2. Шушляков А.В. Массообмен в рабочей камере модуля аппарата комплексной очистки газа // Науковий вісник будівництва. – Харків:ХДТУБА. – 1998. – С.101-107.

3. Шушляков А.В., Пранцуз О.С. Очистка воздуха от композиционных примесей // Науч. тр. КГПУ. Кременчук. –2001. вип. 2(11). – С.401-405.

4. Шушляков А.В. Проскурня Н.И., Кравцова Е.Л. Повышение эффективности очистки газов перед выбросом их в атмосферу // Проблемы создания новых машин и технологий. Науч. тр. КГПУ. Кременчук, 2001. вип. 1(10) С.546-549.

5. Шушляков О.В., Проскурня М.И. Вплив тютюнового виробництва на навколишнє середовище і обладнання, що забезпечує його ефективне зниження // Захист довкілля від антропогенного навантаження. Зб. наук. праць Харків. –Кременчук, 2002. № 1 – С. 5-11.

6. Бойко Н.И. Высоковольтные импульсные электротехнологии очистки и обеззараживания воды и газовых выбросов // Вода и экология. Очистка и обеззараживания сточных вод, 2001. №1, – С.60-72.

7. Пискарев И.М., Спиров Г.М. Очистка воды в открытых водоемах за счет цепных реакций, инициированных гидроксильными радикалами / Высокоинтенсивные физические факторы в биологии, медицине, сельском хозяйстве и экологии. Тр. межд. конф./ Под ред.. В.Д. Селемира, Г.М. Спирина, В.Н. Карелина.-Саров:РФЯЦ-ВНИИЭФ,2005. – С. 338-345.

8. Шушляков О.В. Зниження втрат енергії на очистку газів, які видаляються від електродугових сталеливарних пічей// Захист довкілля від антропогенного навантаження. Київ – Кременчук – Харків. 2006. вип.12(14). –с.141-146.

9. Шушляков О.В., Бойко М.І., Шушляков Д.О. Паламарчук О.Ю.,Кириченко Л.В., Овчаренко С.В. Вихровий турбулентний промивач з іонізатором . Патент України.

10. Борисов А.А., Гельфанд Б.Е., Натанзон М.С., Косов О.М. О режимах дробления капель и критериях их существования. ИФЖ 1981, т.40, №1, С.64-70.

О.В. Шушляков, Д.О. Шушляков, Л.В. Кириченко, М.І. Проскурня

**АПАРАТИ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЇ ОЧИЩІВКИ ГАЗІВ І ЗРОШУЮЧИХ РІДИН
ВІД КОМПОЗИЦІЙНИХ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН**

Досліджена аеродинаміка мультівихрового турбулентного промивача для очистки термальної води від зважених домішок та газів. Виконані розрахунки розподілу швидкостей рідини та газу вздовж радіусів та по висоті робочої камери, бункера та сепараційної камери. Розрахована ефективність десорбції газів з термальної води.

A.V. Shushlyakov, D.A. Shushlyakov, L.V. Kirichenko, N.I. Proskurnia

**DEVICES FOR COMPREHENSIVE TREATMENT OF GASES AND IRRIGATING
LIQUIDS FROM COMPOSITE CONTAMINATED SUBSTANCES**

Aerodynamics of the multivortex turbulent washer device for thermal water clearing of the suspended impurities and gases is investigated. The calculations of liquid and gas speeds distribution along radiuses and on height of the working chamber, the bunker and separation chambers are executed. Efficiency of extraction gases from thermal water is calculated.