

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **047893**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2024.09.26**

(51) Int. Cl. **F03B 13/06** (2006.01)

(21) Номер заявки  
**202290274**

(22) Дата подачи заявки  
**2020.07.06**

---

(54) **СПОСОБ СТРОИТЕЛЬСТВА ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ВО  
ВПАДИНЕ ЗЕМЛИ**

---

(31) **10 2019 118 725.7**

(56) DE-A1-102013020984

(32) **2019.07.10**

JP-A-H1037840

(33) **DE**

CN-A-108643140

(43) **2022.05.20**

DE-U1-202017002559

(86) **PCT/EP2020/069028**

(87) **WO 2021/005016 2021.01.14**

(71)(72)(73) Заявитель, изобретатель и  
патентовладелец:

**ШМИДТ-БЁКИНГ ХОРСТ; ЛЮТЕР  
ГЕРХАРД (DE)**

(74) Представитель:  
**Фелицына С.Б. (RU)**

---

(57) Энергетический поворот включает в себя почти полное покрытие энергоснабжения за счет возобновляемых источников энергии, таких как солнечные или ветровые установки. Из-за вызванных естественными процессами колебаний своей мощности они требуют, однако, использования больших аккумуляторов энергии, реализация которых представляет собой в настоящее время еще существенную проблему. Благодаря изобретению создано решение, которое гарантирует всю требуемую для энергетического поворота в Германии (и даже в Европе) емкость краткосрочных хранилищ. Для этого предложено, в частности, построить в карьере Хамбах гидроаккумулирующую электростанцию большой мощности, в результате чего он может быть подвергнут длительному последующему использованию. Далее изобретение относится к строительству и частичному пуску в эксплуатацию параллельно с "затухающим" использованием, в частности, бурогольного разреза (до 2038 г.), так что не происходит никакого заметного сокращения прежних рабочих мест. Порой после строительства возможен срок службы свыше 100 лет или даже более, так что можно обеспечить особую долговечность.

**B1**

**047893**

**047893**

**B1**

Изобретение относится к строительству подводной гидроаккумулирующей электростанции в осушенной, однако затапливаемой впадине земли, в частности в закрытом или еще эксплуатируемом карьере. Изобретение подходит, в частности, для последующего использования карьера Хамбаха или других буроугольных бассейнов и уже при реализации в Рейнском бассейне обладает потенциалом создания общей, требуемой после энергетического перехода в Германии (а, при случае, даже в Европе) емкости краткосрочных хранилищ. Далее изобретение относится к строительству и частичному пуску в эксплуатацию параллельно с "затухающей" разработкой, в частности, бурого угля (до 2038 г.), так что не происходит никакого заметного сокращения прежних рабочих мест.

Энергетический поворот требует кратко- и долгосрочных хранилищ.

"Энергетический поворот" включает в себя почти полное покрытие энергоснабжения за счет возобновляемой энергии (ВЭ) и здесь, прежде всего, за счет ветра и фотовольтаики (ФВ), причем в то же время использование тока должно распространяться также на области отопления и транспорта (секторная связь). Из-за обусловленного погодными и астрономическими условиями неравномерного наличия ВЭ, причем могут возникать даже кратковременные настоящие "наплывы темноты", энергетический поворот может осуществляться только с использованием хранилищ. В противоположность отпугивающим расчетам, которые исходят исключительно из краткосрочных хранилищ (например, гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС)) и предупреждают тогда об "энергетическом повороте в никуда" (/Sinn 2013/), проблема хранилищ решается только за счет комбинации кратко- и долгосрочных хранилищ (в виде газовых хранилищ P2G). Эта комбинация моделировалась с помощью "модели двух хранилищ" (напр., /LuSchmB 2014/, /AKE2014F/, /Lu2016/, /Düren 2017/). Оказалось, что для Германии достаточно емкости краткосрочного хранилища всего 0,20-0,30 суток полной нагрузки (/Lu2016/), если не предположить экстраординарные повышения затрат.

При этом, однако, специалисты исходили из времени отбора 5 или 6 ч, типичном для ГАЭС. Если бы удалось заметно уменьшить частичные удельные затраты на чистый объем хранилищ, то можно было бы подумать также о наличии больших объемов, которые, правда, отбираются реже, и продолжать использовать тогда турбины уже энергетически опорожненных краткосрочных хранилищ. Здесь следует сослаться на соответствующие рассуждения в отношении "резервных хранилищ" (/LuSchmB Bergei2/) и, в частности, на главу "3.3 Reserve-Tiefspeicher 1b: Blindschächte für etwas längere Speicherzeiten".

В настоящее время энергопотребление в Германии составляет в год около 600 ТВтч. Из-за секторной связи мы исходим для завершеного энергетического поворота, несмотря на все старания по экономии, из заметного повышения энергопотребления и в основу наших расчетов кладем ежегодный расход  $Q_a = 1000$  ТВтч, что соответствует суточному расходу  $Q_d = 2,74$  ТВтч. Средняя мощность составляет тогда 114 ГВт.

Буроугольный разрез в качестве места расположения ГАЭС.

В частности, можно сказать, что в Германии наблюдается высокая исследовательская активность в области подземных ГАЭС в отношении добычи каменного угля, однако имеются лишь отдельные публикации по последующему использованию буроугольных разрезов. Это отражается, например, также в публикациях на странице по теме "Подземные ГАЭС" (<http://www.upsw.de/index.php/de/startseite.html>).

Однако ранее уже была обнаружена большая проблема закрытых поверхностей буроугольных разрезов в качестве места расположения ГАЭС. Так, Siol (/Siol 1995/) в DE 19513817 B4 описывает насосно-аккумулирующую электростанцию (НАЭС), отличающуюся тем, что "нижний и верхний аккумулирующие бассейны расположены в существующем или выработанном месторождении бурого угля".

Уровень техники представлен двумя исследовательскими отчетами Юлихского исследовательского центра. В STE-Research Report 08/2011 (/Baufumé e.a. 2011/), кратком синопсисе по теме "Подземные насосные электростанции", глава III.2 посвящена ГАЭС в буроугольном разрезе. Различают две принципиальные концепции.

1. В концепции "Подземная ГАЭС" по /Schreiber e.a. 2010/ уже во время эксплуатации разреза на самой нижней подошве укладываются необходимые позднее трубы, делаются полости, устанавливается оборудование, и оснащаются компоненты машин. Затем осуществляется перекрытие вскрышной породой, и, наконец, на покрытии устраивается верхний бассейн в виде остаточного озера.

2. В концепции "ГАЭС в руднике с остаточным озером" по /Schulz 2009/ два частичных озера отделяются друг от друга плотиной. Расположенное в более плоской зоне частичное озеро служит верхним бассейном, а лежащее существенно глубже частичное озеро - нижним бассейном, уровень которого понижен настолько, что возникает максимально большая разность высот, и оставшийся объем может перекачиваться в сначала пустое верхнее озеро.

В STE-Research Report 03/2012 (/Stenzel e.a. 2011/) "Unkonventionelle Energiespeicher" обе концепции продолжают освещаться в главах IV 1.5 и IV 1.6, указываются варианты и проекты, и, в частности, исследуются эксплуатационные свойства.

Следующая глава IV 1.7 этого отчета посвящена принципу аккумулятора с полыми шарами, у которого полые шары опускаются с поверхности моря на его дно. При этом обсуждается возможное использование этих аккумуляторов в морской зоне, и рассматриваются "перспективные" береговые зоны.

Новое исследование Вуппертальского института (/Thema 2019/) показывает в простом грубом рас-

чете для широкомасштабной НАЭС на современных рудниках Хамбах, Гарцвайлер и Инден, что там имеется значительный технический потенциал аккумулирования, по их подсчету, до 400 ГВт; это соответствует, в общей сложности, приблизительно десятикратной мощности всех германских ГАЭС.

Подход авторов заключается в том, что используются большой и глубокий рудник в качестве нижнего бассейна и меньший рудник в качестве верхнего бассейна. При аккумулировании энергии вода нижнего бассейна, за исключением небольшого остатка, полностью перекачивается в опорожненный сначала в значительной степени верхний бассейн.

Эта традиционная идея используется в самом глубоком и самом большом в настоящее время бурогольном руднике Хамбах в качестве нижнего бассейна, а соседние, гидравлически соединяемые между собой меньшие рудники Гарцвайлер и Инден - в качестве верхних бассейнов. Для эксплуатации ГАЭС предполагается, что в любом эксплуатационном состоянии соблюдается разность высот 100 м.

При реализации пришлось бы, пожалуй, критически возразить, что обусловленное эксплуатацией, попеременно почти полное опорожнение бассейнов представляет собой максимально насильственное изменение ландшафта и отменяет требование рекультивации. Рассматривавшееся когда-то в качестве временного допущения "карьерных дыр" продолжало бы без изменений существовать; поступающие до сих пор в карьерную дыру грунтовые воды пришлось бы продолжать откачивать.

Подземные и подводные ГАЭС.

"Принцип Meerei" (морское яйцо): этот принцип, заключающийся в выполнении искусственно созданной полости на морском дне и ее использования там в качестве нижнего бассейна ГАЭС с самим морем в качестве верхнего бассейна, был опубликован независимо друг от друга и дополняя друг друга Александром Слокумом и сотрудниками (/Slocum/), с одной стороны, и Шмидт-Бёкингом и Лутером (/Meerei\_1, Meerei\_2/), с другой стороны. Идея "морского яйца" нашла резонанс в ежедневной прессе (/Küffner FAZ 2011.0401/) и была подхвачена в Германии консорциумом под руководством фирмы "Hochtief" в виде проекта StEnSea (Stored Energy in the Sea) (/StEnSea/). Результаты предварительного планирования были представлены фирмой "Hochtief-Solutions AG" в докладе на 7-й Международной конференции по сохранению возобновляемой энергии, 7<sup>th</sup> IRES Conference 7-12 ноября 2012 г., и опубликованы в трудах этой конференции в виде файлов PPT (/Garg e.a. 2012/). В качестве результата был представлен запланированный пилотный проект "морское яйцо" со следующими данными:

полый шар внутренним диаметром около 30 м,

толщина стенки около 3 м,

объем хранилища около 12000 м<sup>3</sup>,

мощность хранилища около 20 МВтч при глубине воды 700 м,

турбонасосный агрегат на 5-6 МВт; если мы интерпретируем указание меньшей мощности как мощность турбины, то время отбора составляет, следовательно, 4 ч.

Для этой установки были представлены конструктивно-целевые затраты ("Construction Target Costs"), основанные на следующих единых ценах:

расходы на бетон, включая опалубку и усиление ("reinforcement") = 225 евро/м<sup>3</sup>; это соответствует в расчете на установленную мощность удельным затратам 413 евро/кВт,

турбонасосный агрегат и электромеханические принадлежности = 525 евро/кВт.

Дополнительно в смету были включены значительные затраты на монтаж полого шара на морском дне, которые при нормировании на установленную мощность составили 300 евро/кВт. Также с этими затратами проект "морское яйцо" был бы конкурентоспособным с другими ГАЭС.

Как видно из сравнения внутреннего диаметра с указанным объемом, речь идет у данных о грубых и "округленных" на нескольких уровнях расчетных значениях, которые математически не всегда строго подходят друг к другу. Ниже мы будем часто ссылаться на сообщенные данные под названием "StEnSea-шар" и при этом, однако, чтобы облегчить последующий расчет, относить все зависимые от объема значения к указанному внутреннему диаметру 30 м, что соответствует "идеальному" объему 14100 м<sup>3</sup>.

Далее было показано, что цель разработки заключается в размещении и объединении очень большого числа отдельных шаров в одну большую ГАЭС. При этом в качестве возможной области применения была указана "норвежская траншея", см., например, /BMWi2017/.

В /LuSchmB 2011+13 - Bergei 1+2/ описано далее применение внутри построенного в целях аккумулирования горнодобывающего предприятия, в котором глуболежащие слепые шахтные стволы используются в качестве накопительных резервуаров, шахты больших размеров - в качестве напорных трубопроводов с промежуточными станциями для турбонасосных агрегатов, а поверхностные воды - в качестве верхнего бассейна. В /LuSchmB 2014 - langeSaar/ представлен способ, с которым федеральные водные пути за счет проактивной эксплуатации своих бьефов могут значительно повысить свой объем в качестве верхнего бассейна ГАЭС большой мощности с подземными хранилищами.

В отчете фирмы "Ruhr Uni" (/Ruhr Uni 2013/) несколько отдельных статей описывают конструктивный проект и оптимизацию бетонных конструкций в качестве нижнего бассейна на дне устроенного на бывшем бурогольном руднике остаточного озера, которое служит верхним бассейном. Все проекты отличаются тем, что они содержат центральную башню для вентиляции, снабжения и доступа к нижележащей каверне. Вода из протяженного аккумулирующего сооружения сливается в эту каверну и подается

там к турбонасосным агрегатам.

В качестве нижних бассейнов исследуются различные конструкции. Sanio и Mark исследуют куполообразный плоский аккумулирующий нижний бассейн, который поддерживается поперечными стенами или столбами или анкеруется сваями в основании (см. стр. 151 /Sanio-Mark 2013/).

Perau и Korn (/Perau-Korn 2013/) исследуют немного более общие геотехнические проблемы при строительстве подземных ГАЭС. Они хотят предотвратить результирующие подъемные силы аккумулирующей конструкции за счет подсыпки всей аккумулирующей конструкции отложениями (см. стр. 141, 144 /Perau-Korn 2013/).

#### **Задача изобретения**

В основе изобретения лежит задача обеспечить строительство ГАЭС большой мощности, чтобы создать необходимую емкость краткосрочных хранилищ для энергетического поворота и при этом, несмотря на огромную емкость, поддерживать на минимальном уровне вмешательство в экологию. Конструкция ГАЭС должна быть как можно более простой, гибкой и недорогой, а построенная ГАЭС должна быть как можно более "терпимой к дефектам" и надежной. Одним аспектом изобретения является обеспечение возможности увеличения емкости хранилищ. Другим аспектом изобретения является тестирование или даже использование ГАЭС еще во время строительства.

#### **Общее описание изобретения**

Изобретение относится к способу строительства подводной ГАЭС во впадине земли, в частности в закрытом или еще эксплуатируемом карьере. Согласно изобретению, речь идет о сухой впадине земли о впадине, которая, следовательно, по меньшей мере, несущественно заполнена водой, однако, в принципе, может затопливаться таким образом, что в ней может образоваться искусственное озеро.

В заявленном способе подготавливается большое число ресиверов или строится на месте, причем речь идет, в частности, о множестве однородных ресиверов, которые для снижения затрат идеальным образом изготовлены или изготавливаются в виде продукции массового производства. Строительство или массовое производство большого числа ресиверов осуществляется, в частности, в сухой впадине, так что они имеются в распоряжении преимущественно непосредственно внизу во впадине. В случае карьера ресиверы могут быть построены, например, на нижней подошве карьера или же на самой нижней подошве.

Большое число ресиверов располагается, согласно изобретению, в сухой впадине рядом друг с другом и/или друг над другом, образуя там нижний резервуар для строящейся подводной ГАЭС. В случае карьера ресиверы располагаются преимущественно на нижней подошве карьера или же на самой нижней подошве рядом друг с другом и/или друг над другом. При этом расположение ресиверов "всухую" может осуществляться таким образом, что они располагаются рядом друг с другом, в частности непосредственно примыкая друг к другу, т.е. ресиверы располагаются рядом друг с другом в одном направлении в ряд или в двух направлениях в виде клетки или матрицы. Кроме того, ресиверы могут располагаться также друг над другом, например несколькими рядами, которые, в свою очередь, могут, в частности, непосредственно примыкать друг к другу, так что ресиверы касаются или поддерживают друг друга.

Согласно изобретению, ресиверы выполнены таким образом, строятся таким образом или обрабатываются таким образом, что они имеют соответственно, по меньшей мере, одно проточное отверстие для впуска и/или выпуска воды, с тем чтобы они могли служить нижним резервуаром для строящейся подводной ГАЭС. Кроме того, особенно предпочтительно ресиверы выполнены таким образом, строятся таким образом или, при необходимости, обрабатываются таким образом, что они достаточно прочны на сжатие, чтобы иметь возможность опорожнения откачкой формоустойчиво к гидростатическому давлению воды, которое воздействует снаружи на них, когда впадина затоплена водой, т.е. в ней образовано искусственное озеро, закрывающее ресиверы.

Расположение ресиверов во впадине, пока она еще сухая, имеет многочисленные преимущества. Так, ресиверы могут быть построены, например, непосредственно в том положении, в котором они должны располагаться, т.е. этапы способа строительства и расположение могут образовать один общий этап. Однако и в том случае, если ресиверы строятся сначала в другом месте, последующее расположение может осуществляться очень целенаправленно, пока впадина еще сухая. Для этого для строительства, обработки и/или расположения ресиверов "всухую" в сухой впадине могут использоваться машины, в частности карьерные машины, которые уже находятся на месте. Расположение "всухую" обеспечивает также комфортную связь или оснащение ресиверов соединительными трубами, турбинами, насосами, турбонасосными агрегатами, шахтами или другими конструктивными элементами. Следует отметить также, что "всухую" могут достигаться большие и более компактные расположения ресиверов, чем если бы они впоследствии были погружными. Не в последнюю очередь расположение ресиверов в еще сухой впадине является особенно недорогим и гибким.

Использование большого числа ресиверов, в частности множества, имеет, среди прочего, то преимущество, что они могут быть изготовлены в виде продукции массового производства, что, в свою очередь, позволяет сэкономить на затратах и использовать ресиверы как можно более "незатейливой" или геометрически простой формы, которые мало подвержены возникновению дефектов и очень надежны в отношении своей статике. За счет того, что нижний резервуар строящейся ГАЭС складывается из боль-

шого числа ресиверов, достигается также высокая степень безопасности, поскольку в случае неисправности затронуты только отдельные ресиверы, которые тогда временно или постоянно больше не являются частью нижнего резервуара. В то же время использование большого числа, в частности однородных, ресиверов обеспечивает высокую степень конструктивной гибкости и возможности последующего расширения.

Большое число ресиверов оснащается преимущественно одной или несколькими турбинами, одним или несколькими насосами и/или турбонасосными агрегатами, так что, если сухая впадина затоплена водой, подводная ГАЭС может эксплуатироваться таким образом, что электроэнергия вырабатывается, когда вода впускается из затопленной впадины в ресиверы, и аккумулируется, когда вода выпускается из ресиверов в затопленную впадину. При этом может быть предусмотрено, что ресиверы оснащаются одной или несколькими турбинами, одним или несколькими насосами и/или турбонасосными агрегатами после того, как они уже будут расположены. С другой стороны, оснащение турбинами, насосами и/или турбонасосными агрегатами может осуществляться также уже на самом ресивере, прежде чем он будет расположен в своем нужном положении.

В отношении оснащения ресиверов турбинами, насосами и/или турбонасосными агрегатами в распоряжении имеются различные возможности.

Одна возможность заключается в том, что из большого числа ресиверов отдельные ресиверы выполняются в качестве самостоятельных ресиверов за счет того, что эти ресиверы соответственно через свое, по меньшей мере, одно проточное отверстие оснащаются собственной турбиной, собственным насосом и/или турбонасосным агрегатом. Даже в случае нескольких проточных отверстий один ресивер может быть выполнен самостоятельным, например, за счет соединения одного проточного отверстия с турбиной, а другого проточного отверстия - с насосом. Выполнение ресивера самостоятельным ресивера в рамках этого изобретения называется также "автаркическим" случаем. При этом может быть, например, предусмотрено, что, по меньшей мере, один из ресиверов, по меньшей мере, некоторые из ресиверов, несколько ресиверов или же все ресиверы выполняются самостоятельными.

Согласно другой возможности, рассматриваемой дополнительно или в качестве альтернативы, из большого числа ресиверов несколько могут быть устроены в виде ресиверной группы за счет того, что эти ресиверы через, по меньшей мере, один напорный трубопровод или несколько напорных трубопроводов между соответствующими ресиверами соединяются между собой и оснащаются одной общей турбиной, одним общим насосом и/или турбонасосным агрегатом. У нескольких объединенных в группу ресиверах речь может идти, например, о двух или более соседних, расположенных, в частности, непосредственно рядом друг с другом и/или друг над другом ресиверах. Устройство нескольких ресиверов в виде группы называется в рамках этого изобретения также "олиготаркическим" или "центральным" случаем, как это более подробно поясняется ниже. В частности, может быть предпочтительным устроить несколько ресиверных групп за счет соединения, например, некоторых соседних ресиверов в одну группу.

Как уже сказано, в изобретении используется большое число, в частности множество, ресиверов. В принципе, могут быть предусмотрены, например, по меньшей мере, 4 или, по меньшей мере, 10 ресиверов. В частности, большое число ресиверов включает в себя, однако, по меньшей мере, 100 ресиверов, преимущественно, по меньшей мере, 1000 ресиверов, еще предпочтительнее, по меньшей мере, 10000 ресиверов.

Благодаря большому числу ресиверов, образующих общий объем нижнего резервуара, ресиверы могут иметь, в частности, относительно малые объемы. В соответствии с этим предусмотрено, что ресиверы или, по меньшей мере, один ресивер имеет объем менее  $600000 \text{ м}^3$ , преимущественно менее  $100000 \text{ м}^3$ , особенно предпочтительно менее  $15000 \text{ м}^3$ . С другой стороны, ресиверы не должны быть также слишком маленькими, поскольку, в частности, в случае шарообразных ресиверов предпочтительно, если узкие места свободных пространств между ресиверами не становятся слишком маленькими. Одна причина в том, что тогда турбины, насосы и/или турбонасосные агрегаты можно лучше расположить в свободных пространствах, эксплуатировать и обслуживать, в частности, поскольку свободные пространства между ресиверами могут служить для водных потоков или турбонасосные агрегаты остаются хорошо доступными в случае техосмотра. Другая причина в том, чтобы гарантировать благоприятное отношение затрат и эффективности турбонасосных агрегатов. В соответствии с этим предусмотрен, в частности, объем, по меньшей мере,  $1000 \text{ м}^3$ , преимущественно, по меньшей мере,  $5000 \text{ м}^3$  и особенно предпочтительно, по меньшей мере,  $10000 \text{ м}^3$ . В общем, в соответствии с этим может быть, например, целесообразным, чтобы один, некоторые или все ресиверы имели объем  $5000\text{-}600000 \text{ м}^3$ , преимущественно  $5000\text{-}100000 \text{ м}^3$  и особенно предпочтительно  $5000\text{-}15000 \text{ м}^3$ .

Чтобы можно было расположить ресиверы подходящим образом рядом друг с другом и/или друг над другом, рассматривается много различных форм. Так, например, могут быть предусмотрены трубообразные или тороидальные ресиверы. По статическим причинам особенно подходят ресиверы шарообразной формы. В соответствии с этим может быть предусмотрено, что ресиверы или, по меньшей мере, некоторые из ресиверов имеют форму, которая по объему заполняет минимально возможный (гипотетический) полый шар, по меньшей мере, на 25%, преимущественно, по меньшей мере, на 50%, особенно

предпочтительно, по меньшей мере, на 75% и особенно предпочтительно, по меньшей мере, на 90%. Под формой ресиверов подразумевается, в частности, внешняя форма обеспечивающих прочность на сжатие составных частей ресиверов. Конкретно ресиверы или, по меньшей мере, некоторые из ресиверов могут быть выполнены, в частности, в форме прочного на сжатие шара, яйца, эллипсоида или полиэдра.

Ресиверы шароподобной или шарообразной геометрии особенно предпочтительны, поскольку они стабилизируются за счет давления извне. Даже если, например, уже имеются трещины, то ресиверы остаются часто функционально-способными, поскольку такие трещины за счет давления извне сжимаются. Это может привести к очень длительному сроку службы ресиверов, которая может составить, например, свыше 100 или 1000 лет. Далее ресиверы могут быть изготовлены, например, из неармированного бетона. За счет применения бетона, например для оффшорного монтажа, который обходится без стальной арматуры, не возникает коррозии, что также способствует упомянутому длительному сроку службы. Благодаря сроку службы свыше 100 или 1000 лет возможны очень длительные амортизационные периоды бетонных шаров и, тем самым, инвестиции в будущее энергоснабжение, от которых выиграет много поколений. Поэтому изобретение отличается, в частности, высоким постоянством.

Как более подробно поясняется ниже, толщина стенок ресиверов может быть оценена с помощью различных факторов. В оптимальном случае ресиверы имеют, однако, толщину стенок 5-15%, преимущественно 7,5-12,5%, например 10%, эквивалентного диаметра шара аккумулирующего объема. За счет этого можно предпочтительным образом компенсировать также подъемную силу пустого ресивера.

Как уже сказано, в заявленном способе предусмотрено, что ресиверы позиционируются рядом друг с другом и/или друг над другом в сухой впадине, т.е., например, на нижней подошве карьера. При этом ресиверы располагаются преимущественно равномерно рядом друг с другом и/или друг над другом.

Одна предпочтительная возможность заключается в том, что большое число ресиверов располагается в сухой впадине таким образом, что лежащий непосредственно на грунте нижний ряд ресиверов образован с их равномерным расположением и подходит преимущественно в качестве основания для вышележащего второго ряда ресиверов с их равномерным расположением таким образом, что ресиверы второго ряда могут быть устойчиво расположены в углублениях нижележащего ряда ресиверов. Под этим, в частности, подразумевается то, что ресиверы второго ряда не могут так просто соскользнуть или сползти вбок.

Нижний ряд ресиверов включает в себя преимущественно, по меньшей мере, 100, особенно предпочтительно, по меньшей мере, 500, еще предпочтительнее, по меньшей мере, 1000 ресиверов в их равномерном расположении. В этом отношении возникает то преимущество, что ресиверы располагаются во впадине, уже находящейся в сухом состоянии, т.к. было бы гораздо сложнее обеспечить равномерное расположение ресиверов в виде нижнего ряда путем последующего опускания в уже имеющееся озеро. Это обосновано также тем, что в сухом состоянии грунт можно предварительно легче разровнять, как об этом сказано ниже. Однако в этой связи следует сослаться на более подробно описанный ниже особый способ "озерного базирования".

Преимущественно впадина поддерживается в сухом состоянии, в частности, до тех пор, пока на лежащем на грунте нижнем ряде ресиверов не будет расположен второй ряд ресиверов, а на нем особенно предпочтительно - третий ряд ресиверов, а на нем, при необходимости, - еще дополнительные ряды ресиверов, причем ряды ресиверов, как описано выше, подходят соответственно преимущественно в качестве основания с углублениями для соответственно вышележащего ряда ресиверов.

У большинства форм, выбираемых для ресиверов, в частности в случае шароподобных или шарообразных ресиверов, при их расположении между ними остаются свободные пространства. В одном предпочтительном варианте многие ресиверы располагаются во впадине рядом друг с другом и/или друг над другом таким образом, в частности таким образом в виде нижнего, второго и третьего рядов, что между ресиверами остаются свободные пространства, проходящие сверху, преимущественно прямолинейно сверху, до грунта, в частности через все ряды, и преимущественно таким образом, что свободные пространства возникают с определяемой расположением ресиверов равномерностью. Такого рода свободные пространства могут образовывать предпочтительным образом водопроводящие проходы к проточным отверстиям или турбинам, насосам и/или турбонасосным агрегатам.

В частности, в этом случае, однако также независимо от этого, одно или несколько оставшихся между ресиверами свободных пространств могут быть выполнены в виде сквозных вверх, при необходимости, выступающих вверх шахт.

Как более подробно обсуждается и иллюстрируется на примерах, большое число ресиверов может быть расположено, в частности, в соответствии со структурой самой плотной, в частности гексагонально самой плотной, упаковки шаров, преимущественно за счет того, что ресиверы нижнего и, при необходимости, второго рядов располагаются в соответствии со структурой самой плотной упаковки шаров, а, при необходимости, ресиверы третьего ряда - в соответствии со структурой гексагонально самой плотной упаковки шаров (и, тем самым, конгруэнтно нижнему ряду).

Если ресиверы располагаются рядами, т.е. в самой плотной упаковке шаров, однако также независимо от этого, то со ссылкой на "автаркический" случай устраиваемый или устроенный самостоятельным ресивер может быть расположен или обработан, например, таким образом, что одно проточное отверстие

для впуска воды в ресивер и/или ее выпуска из него расположено внизу или сбоку внизу на ресивере, преимущественно таким образом, что проточное отверстие внутри ресивера доходит до самой низкой точки.

В качестве альтернативы или дополнительно со ссылкой на "олиготаркический" или "центральный" случай может быть предусмотрено, что несколько устраиваемых или устроенных в виде ресиверной группы ресиверов располагаются или обрабатываются таким образом, что, по меньшей мере, одно проточное отверстие одного или преимущественно каждого ресивера группы расположено внизу или сбоку внизу на ресивере, в частности таким образом, что проточное отверстие внутри ресивера доходит до самой низкой точки, и причем преимущественно два расположенных друг над другом ресивера соединяются между собой напорными трубопроводами между расположенным внизу или сбоку внизу проточным отверстием расположенного дальше вверх ресивера и проточным отверстием расположенного дальше вниз ресивера.

В соответствии с той мыслью, что свободные пространства между ресиверами могут служить водопроводящими проходами, может быть со ссылкой на "автаркический" случай целесообразным, что собственная турбина, собственный насос и/или турбонасосный агрегат самостоятельного ресивера соединяется с его проточным отверстием таким образом и/или располагается в образованном между ресиверами свободном пространстве таким образом, что, когда сухая впадина затоплена водой, вода, которая впускается в ресивер, вытекает через свободное пространство преимущественно сверху, особенно предпочтительно прямолинейно сверху, и/или вода, которая выпускается из ресивера, вытекает через свободное пространство преимущественно вверх, особенно предпочтительно прямолинейно вверх.

В качестве альтернативы или дополнительно со ссылкой на "олиготаркический" или "центральный" случай может быть предусмотрено, что одна общая турбина, один общий насос и/или турбонасосный агрегат ресиверной группы соединяется с проточным отверстием ресивера или с соединяющим ресиверы напорным трубопроводом таким образом и/или располагается в образованном между ресиверами свободном пространстве таким образом, что, когда сухая впадина затоплена водой, вода, которая впускается в ресиверную группу, вытекает через свободное пространство преимущественно сверху, особенно предпочтительно прямолинейно сверху, и/или вода, которая выпускается из ресивера, вытекает через свободное пространство преимущественно вверх, особенно предпочтительно прямолинейно вверх, причем общая турбина, общий насос и/или турбонасосный агрегат располагается преимущественно на грунте или углубленно в грунте.

В отношении расположения ресиверов может быть оптимальным, если, по меньшей мере, некоторые из ресиверов, в частности ресиверы нижнего ряда, располагаются в сухой впадине, например на нижней подошве карьера, таким образом, что соседние ресиверы опираются друг на друга сбоку и/или крайние ресиверы опираются преимущественно сбоку на стену или часть сухой впадины.

Чтобы создать боковую опору для крайних ресиверов, в сухой впадине, в частности карьере, могут быть изготовлены стенки и/или может быть изготовлена ограниченная стенками траншея, так что ресиверы, в частности нижнего ряда, могут сбоку опираться на них/на нее. При этом можно воспользоваться тем, что впадина сухая, т.е. изготовление опорных стенок может осуществляться обычными строительными машинами или в случае карьера - также уже находящимися на месте карьерными машинами. Преимущественно опорные стенки и/или траншея изготавливаются/изготавливается во впадине до того, как в ней будут расположены ресиверы. За тот же процесс может также разравниваться грунт для ресиверов.

Предпочтительно, если ресиверы без значительного утяжеления или анкеровки или даже полностью без утяжеления или анкеровки остаются внизу во впадине, когда она затопливается водой. Поэтому, по меньшей мере, некоторые из ресиверов имеют массу, которая больше или, по меньшей мере, незначительно меньше массы вытесненной ресивером воды, когда сухая впадина затопливается водой.

Независимо от этого может быть предусмотрено, что, по меньшей мере, некоторые из ресиверов, в частности ресиверы нижнего ряда, фиксируются или анкеруются на грунте и/или что, по меньшей мере, некоторые из ресиверов, в частности ресиверы верхнего ряда, утяжеляются балластом, в частности экскавированным из впадины материалом. Эти меры могут служить, с одной стороны, для того, чтобы ресиверы оставались на грунте, когда впадина затопливается водой, однако могут быть предусмотрены также в том случае, если бы ресиверы уже вследствие своей массы оставались на грунте, например, чтобы стабилизировать ресиверы от сползания.

Как уже сказано, между расположенными рядом друг с другом и/или друг над другом ресиверами остаются, как правило, свободные пространства, в частности, если ресиверы выполнены шароподобными или шарообразными. В то время как такие свободные пространства, как сказано выше, могут служить в качестве соединения между последующим искусственным озером и турбинами, насосами и/или турбонасосными агрегатами, для этого не требуются обязательно все свободные пространства.

В соответствии с этим может быть предусмотрено, что оставшиеся между ресиверами свободные пространства, которые не служат для прохода к турбинам, насосам и/или турбонасосным агрегатам, засыпаются экскавированным материалом или заливаются строительным материалом (например, песком, камнями, галькой и/или цементом). Это может происходить в отношении стабилизации или же для воздействия на характеристику течения воды.

Утяжеление ресиверов и/или засыпка свободных пространств между ними должно осуществляться преимущественно так, чтобы утяжеляющий или засыпающий материал оставался неподвижным или не смывался течением воды, не загрязнял воду или не повреждал турбины, насосы и/или турбонасосные агрегаты. Для этого материал может быть упрочнен, например, цементом.

В одном особом варианте большое число ресиверов может быть устроено также в виде совокупности за счет того, что эти ресиверы сообщаются между собой через соответствующие проточные отверстия и закрываются наружу общей опалубкой, причем общая опалубка имеет, по меньшей мере, одно открытое наружу проточное отверстие, чтобы совокупность ресиверов можно было оснастить одной общей турбиной, одним общим насосом и/или турбонасосным агрегатом.

Как подробно описано ниже, стоит сначала расширить и/или углубить впадину земли, в частности, если она уже существует в виде карьера, преимущественно с помощью уже имеющихся на месте карьерных машин. В частности, впадина может быть углублена и/или расширена таким образом, что достигается глубина свыше 100 м, преимущественно свыше 300 м, еще предпочтительнее свыше 400 м, еще более предпочтительно свыше 500 м, особенно предпочтительно свыше 700 м и, при необходимости, даже свыше 1000 м.

Даже если впадина земли еще не существует в виде природной впадины или в виде карьера, стоит сначала создать ее "на зеленом лугу" или "на желтом песке пустыни". В соответствии с этим может быть предусмотрено, что сначала создается впадина для строительства подводной ГАЭС, в частности таким образом, что достигается глубина свыше 100 м, в частности, свыше 200 м, преимущественно свыше 300 м, еще предпочтительнее свыше 400 м, еще более предпочтительно свыше 500 м, особенно предпочтительно свыше 700 м и, при необходимости, даже свыше 1000 м.

В одном предпочтительном варианте в сухой впадине под запланированным в качестве грунта для расположения ресиверов дном может быть создана полость, например шахта или туннель, для монтажа технических устройств, таких как кабели, напорные трубопроводы, турбины, насосы и/или турбонасосные агрегаты. Это описано и проиллюстрировано ниже более подробно.

В качестве альтернативы или дополнительно может быть также предусмотрено, что в сухой впадине под запланированным в качестве грунта для расположения ресиверов дном, при необходимости, под описанной выше полостью для монтажа технических устройств создается с возможностью хождения и/или проезда полость, например шахта или туннель, в частности для снабжения и/или обслуживания технических устройств. Такая выполненная с возможностью хождения и/или проезда полость может быть соединена преимущественно с внешним проходом, который создается, в частности, на склоне впадины.

Созданный в рамках изобретения нижний резервуар может эксплуатироваться, в частности, без соединений с атмосферой. В частности, нет необходимости в возведении соответствующих соединений, например башен до поверхности запланированного позднее во впадине искусственного озера. Это имеет, в частности, то преимущество, что рассматриваются большие глубины впадины. Кроме того, воздух в полостях имеет тот недостаток, что он снижает эффективность аккумуляирования энергии, т.к. при повышении давления он не конденсируется в полостях, а создает противодавление и при этом нагревается. Эта тепловая энергия может быть большим фактором потери при предложенном здесь виде аккумуляирования энергии.

Ресиверы или, по меньшей мере, некоторые из ресиверов выполнены преимущественно таким образом, располагаются таким образом, оснащаются одной или несколькими турбинами, одним или несколькими насосами и/или турбонасосными агрегатами таким образом и/или соединяются между собой напорными трубопроводами между соответствующими проточными отверстиями таким образом, что при выпуске воды из ресивера в него не притекает воздух, а в ресивере возникает преимущественно ограниченный только парциальным давлением водяного пара вакуум.

Далее может быть предусмотрено, что при впуске воды в ресивер он заполняется водой не полностью, а остается преимущественно определенный остаточный объем с ограниченным, в частности, только парциальным давлением водяного пара вакуумом. Такой остаточный объем может быть очень маленьким, например менее  $100 \text{ м}^3$ , преимущественно менее  $10 \text{ м}^3$  или даже менее  $1 \text{ м}^3$ .

Если ресиверы располагаются несколькими рядами, то может напрашиваться "озерное базирование". В частности, может быть предусмотрено, что большое число ресиверов располагается в сухой впадине, например на нижней подошве карьера, рядами таким образом, в сухой впадине сначала образуется лежащий непосредственно на грунте нижний ряд ресиверов, а затем впадина заполняется водой настолько, что они могут транспортироваться для второго ряда в плавучем состоянии в соответственно предусмотренные положения над нижним рядом, и образуется второй ряд за счет того, что ресиверы для этого ряда транспортируются в плавучем состоянии в соответственно предусмотренные положения, например за счет того, что они делаются плавучими, и опускаются на нижний ряд, например за счет того, что они делаются погружными или снова погружными.

Аналогичным образом впадина может затем, разумеется, поэтапно снова заполняться водой настолько, что ресиверы для третьего ряда и, при необходимости, дополнительных рядов могут быть транспортированы соответственно в плавучем состоянии в соответственно предусмотренные положения

и опущены.

Такого рода "озерное базирование" ресиверов представляет собой особый образ действий, чтобы с помощью специально выбранного заполнения впадины водой можно было целенаправленно и просто опускать, в частности, очень тяжелые ресиверы.

В одном варианте предусмотрен способ строительства подводной ГАЭС, при котором после того, как большое число ресиверов расположено во впадине, она затопливается водой, чтобы образовать во впадине служащее верхним резервуаром для строящейся ГАЭС искусственное озеро.

Затопление впадины может занять иногда длительное время, при случае даже годы. Поэтому может быть благоприятным при затоплении впадины уже вырабатывать энергию с помощью так и так имеющихся турбин, насосов и/или турбонасосных агрегатов. Поэтому может напрашиваться затопление впадины водой таким образом, что вода впускается сначала по предусмотренному для этого напорному трубопроводу в один или несколько ресиверов с отдачей электрической энергии, а затем с потреблением электрической энергии выкачивается из ресивера или ресиверов во впадину, чтобы поэтапно затопить ее и при этом выработать электрическую (нетто) энергию.

Согласно другому варианту, может быть предусмотрено впоследствии расширить уже находящийся под водой нижний резервуар из ресиверов. Для этого, после того, как большое число ресиверов расположено во впадине, а впадина, по меньшей мере, частично затоплена водой таким образом, что образовано служащее верхним резервуаром искусственное озеро, один или несколько дополнительных ресиверов опускаются с поверхности озера на уже расположенные ресиверы.

Преимущественно уже расположенные ресиверы расположены при этом одним или несколькими рядами, так что дополнительные опущенные ресиверы могут быть устойчиво расположены в углублениях одного из рядов. Дополнительные опущенные ресиверы устраиваются, в частности, в виде самостоятельных ресиверов с собственной турбиной, собственным насосом и/или турбонасосным агрегатом.

Помимо описанных выше способов, изобретение относится далее к нижнему резервуару для подводной ГАЭС, которая находится в сухой, однако затопляемой впадине земли, в частности в закрытом или еще эксплуатируемом карьере, и построена преимущественно описанным выше способом.

Заявленный нижний резервуар содержит большое число ресиверов, расположенных в сухой впадине, например на нижней подошве карьера, рядом друг с другом и/или друг над другом, причем ресиверы выполнены таким образом, что они имеют соответственно, по меньшей мере, одно проточное отверстие для впуска и/или выпуска воды, и прочны на сжатие преимущественно таким образом, что они могут быть опорожнены откачкой формоустойчиво против гидростатического давления воды, которое воздействует снаружи на них, когда сухая впадина затоплена водой.

Большое число ресиверов оснащено преимущественно одной или несколькими турбинами, одним или несколькими насосами и/или турбонасосными агрегатами, так что, когда сухая впадина затоплена водой, подводная ГАЭС может эксплуатироваться таким образом, что электроэнергия может отдаваться, когда вода впускается в ресиверы, и вода может выпускаться из ресиверов, когда электроэнергия потребляется.

Описанные выше в рамках изобретения способы и подробности относятся аналогичным образом к заявленному нижнему резервуару для ГАЭС.

В соответствии с этим, например, из большого числа ресиверов отдельные ресиверы могут быть устроены самостоятельными за счет того, что они соответственно через свое, по меньшей мере, одно проточное отверстие оснащены собственной турбиной, собственным насосом и/или турбонасосным агрегатом. Также из большого числа ресиверов несколько ресиверов, в частности соседние ресиверы, могут быть устроены в виде ресиверной группы за счет того, что эти ресиверы соединены между собой напорными трубопроводами между соответствующими проточными отверстиями и оснащены одной общей турбиной, одним общим насосом и/или турбонасосным агрегатом, причем могут быть предусмотрены также несколько ресиверных групп.

В отношении предпочтительно предусмотренного числа ресиверов, их объема, формы и/или толщины стенок следует сослаться на предшествующие рассуждения.

Преимущественно большое число ресиверов расположено в сухой впадине, например на нижней подошве карьера, равномерно рядом друг с другом и/или друг над другом. Например, ресиверы могут быть расположены таким образом, что лежащий непосредственно на грунте нижний ряд ресиверов образован с их равномерным расположением и подходит преимущественно в качестве основания для вышележащего ряда ресиверов с их равномерным расположением, таким образом, что ресиверы второго ряда могут быть расположены устойчиво. Далее на лежащем на грунте нижнем ряду ресиверов может быть расположен второй ряд, на нем предпочтительно - третий ряд, а на нем, при необходимости, - еще дополнительные ряды, причем ряды ресиверов подходят соответственно преимущественно в качестве основания для соответственно вышележащего ряда.

Преимущественно большое число ресиверов расположено в сухой впадине рядом друг с другом и/или друг над другом таким образом, в частности в виде нижнего, второго и третьего рядов, что между большим числом ресиверов остаются свободные пространства, которые проходят до грунта сверху, преимущественно прямолинейно сверху, в частности через все ряды, и преимущественно таким образом, что

свободные пространства образуются с определяемой расположением ресиверов равномерностью. При этом одно или несколько оставшихся между ресиверами свободных пространств могут быть выполнены в виде сквозных вверх, при необходимости, выступающих вверх шахт.

Согласно одному предпочтительному варианту нижнего резервуара, большое число ресиверов расположено в соответствии со структурой самой плотной, в частности гексагонально самой плотной, упаковки шаров, преимущественно за счет того, что ресиверы нижнего и, при необходимости, второго рядов располагаются в соответствии со структурой самой плотной упаковки шаров, а, при необходимости, ресиверы третьего ряда - в соответствии со структурой гексагонально самой плотной упаковки шаров.

Со ссылкой на "автаркический" случай устраиваемый или устроенный самостоятельным ресивер может быть расположен таким образом, что одно проточное отверстие для впуска воды в ресивер и/или ее выпуска из него расположено внизу или сбоку внизу на ресивере, преимущественно таким образом, что проточное отверстие внутри ресивера доходит до самой низкой точки.

Со ссылкой на "олиготаркический" или "центральный" случай несколько устраиваемых или устроенных в виде ресиверной группы ресиверов могут быть расположены таким образом, что, по меньшей мере, одно проточное отверстие одного или преимущественно каждого ресивера группы расположено внизу или сбоку внизу на ресивере, в частности таким образом, что проточное отверстие внутри ресивера доходит до самой низкой точки. Преимущественно, по меньшей мере, два расположенных друг над другом ресивера соединяются между собой напорными трубопроводами между расположенным внизу или сбоку внизу проточным отверстием расположенного дальше вверх ресивера и проточным отверстием расположенного дальше вниз ресивера.

Далее со ссылкой на "автаркический" случай собственная турбина, собственный насос и/или турбонасосный агрегат самостоятельного ресивера может быть соединен с проточным отверстием ресивера и/или может быть расположен в образованном между ресиверами свободном пространстве таким образом, что, когда сухая впадина затоплена водой, вода, которая впускается в ресивер, вытекает через свободное пространство преимущественно сверху, особенно предпочтительно прямолинейно сверху, и/или вода, которая выпускается из ресивера, вытекает через свободное пространство преимущественно вверх, особенно предпочтительно прямолинейно вверх.

Снова со ссылкой на "олиготаркический" или "центральный" случай одна общая турбина, один общий насос и/или турбонасосный агрегат ресиверной группы могут быть соединены с проточным отверстием ресивера или с соединяющим ресиверы напорным трубопроводом таким образом и/или могут быть расположены в образованном между ресиверами свободном пространстве таким образом, что, когда сухая впадина затоплена водой, вода, которая впускается в ресиверную группу, затекает через свободное пространство преимущественно сверху, особенно предпочтительно прямолинейно сверху, и/или вода, которая выпускается из ресивера, вытекает через свободное пространство преимущественно вверх, особенно предпочтительно прямолинейно вверх. Общая турбина, общий насос и/или турбонасосный агрегат могут быть расположены, в частности, на грунте или углубленно в грунте.

Некоторые из ресиверов, в частности ресиверы нижнего ряда, расположены в сухой впадине, например на нижней подошве карьера, преимущественно таким образом, что соседние ресиверы опираются друг на друга сбоку и/или крайние ресиверы опираются преимущественно сбоку на стену или часть сухой впадины.

Преимущественно, по меньшей мере, некоторые из ресиверов имеют массу, которая больше или, по меньшей мере, несущественно меньше массы вытесненной ресивером воды, когда сухая впадина затоплена водой, так что ресиверы без утяжеления или анкеровки или, по меньшей мере, без значительного утяжеления или значительной анкеровки остаются внизу в затопленной впадине.

Одновременно или независимо от этого, по меньшей мере, некоторые из ресиверов, в частности ресиверы нижнего ряда, могут быть фиксированы или заанкерены на грунте и/или, меньшей мере, некоторые из ресиверов, в частности ресиверы верхнего ряда, могут быть утяжелены балластом, в частности вынутым из впадины материалом.

Может быть предусмотрено, что оставшиеся между ресиверами свободные пространства, не служащие проходом к турбинам, насосам и/или турбонасосным агрегатам, засыпаны вынутым материалом или залиты строительным материалом.

Согласно одному особому варианту, большое число ресиверов может быть устроено также в виде совокупности за счет того, что эти ресиверы сообщаются между собой через соответствующие проточные отверстия и закрыты наружу общей обшивкой, причем общая обшивка имеет, по меньшей мере, одно открытое наружу проточное отверстие, чтобы совокупность ресиверов можно было оснастить одной общей турбиной, одним общим насосом и/или турбонасосным агрегатом.

Преимущественно нижний резервуар находится во впадине глубиной, по меньшей мере, 100 м, в частности, по меньшей мере, 200 м, предпочтительно, по меньшей мере, 300 м, еще предпочтительнее, по меньшей мере, 400 м, еще более предпочтительно, по меньшей мере, 500 м, еще предпочтительнее, по меньшей мере, 700 м и, при необходимости, даже, по меньшей мере, 1000 м.

В одном варианте нижний резервуар содержит под служащей в качестве грунта для расположения ресиверов землей полость, например шахту или туннель, для монтажа технических устройств, таких как

кабели, напорные трубопроводы, турбины, насосы и/или турбонасосные агрегаты.

В качестве альтернативы или дополнительно под служащей в качестве грунта для расположения ресиверов земель, при необходимости, под описанной выше полостью для монтажа технических устройств может быть предусмотрена выполненная с возможностью хождения и/или проезда полость, например шахта или туннель, в частности для снабжения и/или обслуживания технических устройств, причем такая выполненная с возможностью хождения и/или проезда полость соединена преимущественно с внешним проходом, который выполнен, например, в или на склоне впадины.

Ресиверы выполнены преимущественно таким образом, расположены таким образом, оснащены одной или несколькими турбинами, одним или несколькими насосами и/или турбонасосными агрегатами таким образом и/или соединены между собой напорными трубопроводами между соответствующими проточными отверстиями таким образом, что при выпуске воды из ресивера в него не притекает воздух, а в ресивере возникает преимущественно ограниченный только парциальным давлением водяного пара вакуум и/или что при впуске воды в ресивер он заполняется водой не полностью, а остается преимущественно определенный остаточный объем с ограниченным, в частности, только парциальным давлением водяного пара вакуумом.

Помимо описанного выше нижнего резервуара, изобретение относится также к подводной ГАЭС, которая дополнительно содержит верхний резервуар в виде искусственно образованного во впадине озера.

Наконец изобретение относится еще к поясняемому более подробно в качестве "временного способа" способу временного использования сооруженного в сухой впадине нижнего резервуара для подводной ГАЭС (например, как описано выше) в качестве временной ГАЭС и преимущественно для последующего преобразования в подводную ГАЭС (например, как описано выше).

При этом "временном способе" ресиверы или некоторые из образующих нижний резервуар во впадине ресиверов соединяются (временным) напорным трубопроводом с образующей временный верхний резервуар емкостью или бассейном, которая/который отделена/отделен от сухой впадины и расположена/расположен над нижним резервуаром. Такой временный отделенный верхний резервуар следует понимать так, что он не идентичен впадине. Он может быть расположен, например, на склоне еще сухой впадины, преимущественно как можно дальше вверх. Например, в боковой части разреза за счет плотины может быть создан верхний бассейн, который затапливается водой, причем собственно глубокий разрез остается сухим. Уже смонтированные шаровые хранилища могут быть соединены трубами с этим верхним бассейном, так что параллельно добыче бурого угля в карьерном бассейне уже может быть введена в эксплуатацию система шаровые хранилища-верхний бассейн в качестве подводной ГАЭС.

Благодаря временному резервуару временная ГАЭС может эксплуатироваться таким образом, что электроэнергия вырабатывается, когда вода (по временному напорному трубопроводу) выпускается из временного верхнего резервуара в ресиверы, и аккумулируется, когда вода из ресиверов (по временному напорному трубопроводу) перекачивается в верхний резервуар.

Преимущественно сухая впадина позднее затапливается водой, чтобы заменить временный верхний резервуар выполненным в виде искусственного озера во впадине верхним резервуаром и, тем самым, преобразовать временную ГАЭС в окончательную подводную ГАЭС, так что она может эксплуатироваться таким образом, что электроэнергия вырабатывается, когда вода выпускается из затопленной впадины в ресиверы, и аккумулируется, когда вода выпускается из ресиверов в затопленную впадину. Временный трубопровод может быть тогда удален.

На чертежах представлено следующее:

фиг. 1: схематичный вид аккумулирующего озера, которое при аккумулировании энергии подает, согласно балансу, воду объемом  $V_{об} = F_{\text{fill}} * V_u$  из средней глубины  $h_u$  возведенного на дне озера в виде сооружения нижнего бассейна в верхний бассейн на среднюю глубину  $h_{об}$ ;

фиг. 2: аккумулирующее озеро по фиг. 1 с техническим штреком/подземным соединительным уровнем, например с каналом для электропроводки, соединительных труб для воды или участком для входа/въезда;

фиг. 3: схематичный вид карьерной траншеи с уложенными полами шаровыми хранилищами в равномерном расположении;

фиг. 4: схематичный вид карьера, например Хамбахской траншеи, с заделанными полами шаровыми хранилищами в гексагонально самой плотной упаковке. Шары изображены лишь в двухмерном виде за счет своих больших окружностей в горизонтальном сечении. Видны, перекрывая поверхность, второй ряд сверху и с левой стороны - часть самого верхнего ряда. Изображенная гексагонально самая плотная упаковка шаров образует по причинам симметричности проходящие снизу вверх вертикальные свободные пространства 24, 22, одна половина которых (а именно 24) может использоваться, как показано, в качестве проходных или соединительных шахт с узкой шахтой 4 в свету. В гексагонально самой плотной упаковке шаров шары каждого третьего уровня лежат точно над шарами первого уровня;

фиг. 5а: сечение в плоскости А-А# из фиг. 4 в схематичном грубом виде, причем малые окружности показаны не в масштабе и лишь указывают место, где соприкасаются лежащие непосредственно перед и за плоскостью сечения концы шаров. Видна траншея с заделанными, расположенными в гексагонально

самой плотной упаковке шаров полыми хранилищами 3 и проходными шахтами 4 в свету к турбонасосным агрегатам;

фиг. 5b: сечение в плоскости В-В# при виде сверху по фиг. 4 также схематично, как на фиг. 5а, причем засыпаемое пространство 22 может быть засыпано камнями, гравием и песком;

фиг. 6: увеличенный фрагмент по фиг. 4 при виде сверху на небольшой участок самого верхнего ряда и на немного больший участок второго сверху ряда;

фиг. 7: схематичное сечение карьера, например Хамбахской траншеи, с непосредственно установленными в полых шарах турбонасосными агрегатами 7, причем за счет свободного пространства 24 между шарами 3 обеспечен достаточный проход к озерной воде;

фиг. 8а: схематичное сечение карьера, например Хамбахской траншеи, с соединительными трубами 6 от шаровых хранилищ 3 к установленным на дне 1 озера бункерам, содержащим общий турбонасосный агрегат 77 для группы шаровых хранилищ;

фиг. 8b: схематичное сечение карьера, например Хамбахской траншеи, с короткими соединительными трубами 61 от шаровых хранилищ к шаровому хранилищу и установленным на дне озера бункерам, содержащим общий турбонасосный агрегат 77 для большей группы шаровых хранилищ, причем  $2 \times 8 = 16$  шаров, которые находятся вплотную за и вплотную перед плоскостью сечения и лишь обозначены, могут быть соединены также с соединительным трубным блоком 6, который может простираться на или в дне 1 также перпендикулярно плоскости сечения;

фиг. 9а: схематичное сечение карьера, например Хамбахской траншеи, с соединительными трубами 6 от шаровых хранилищ к установленным на дне озера бункерам, содержащим общий турбонасосный агрегат 77 для большей группы шаровых хранилищ;

фиг. 9b: схематичное сечение карьера, например Хамбахской траншеи, с короткими соединительными трубами 61 от шаровых хранилищ к шаровому хранилищу и установленным на дне озера бункерам, содержащим общий турбонасосный агрегат 77 для большей группы шаровых хранилищ;

фиг. 10: схематичное сечение карьера, причем аккумулирующая установка содержит, по меньшей мере, одну соединительную трубу 44 между свободным озером 0 и турбонасосной станцией 77 и в остальном полностью заделана, т.е. пространство, выполненное на предыдущих фигурах в виде свободного проходного пространства 24, также засыпано, так что проход к озеру осуществляется через открытый сверху трубопровод 44. Обслуживание и возможная замена турбонасосного агрегата может осуществляться, как на руднике, через проложенный в дне озера штрек 67, который может быть соединен с центральной шахтой 5 для снабжения и персонала (фиг. 11);

фиг. 11: схематичное сечение карьера с проходящим в дне 1 озера с возможностью проезда штреком 67, примыкающим к центральной шахте 5 для снабжения и персонала, причем он может проходить также в виде выполненной с возможностью проезда и водонепроницаемо перекрытой горной дороги на склоне озера и еще перед затоплением озера может быть сооружен "всухую";

фиг. 12: схематичное сечение карьера с находящейся в эксплуатации аккумулирующей установкой по фиг. 10 и смонтированными впоследствии автаркическими шаровыми хранилищами (монтаж "по месту");

фиг. 13: схематичный вид карьера в режиме временной эксплуатации с лишь частично сооруженным нижним бассейном 83 "озерное яйцо" с олиготаркическими турбонасосными агрегатами и трубным соединением 86 с временным верхним бассейном 80 на будущем озерном променаде, причем временный верхний бассейн отделен от будущего рабочего озера плотиной 84;

фиг. 14: схематичный вид карьера с подводной ГАЭС в соответствии с другим вариантом;

фиг. 15: схематичное сечение нижнего резервуара по фиг. 14;

фиг. 16: схематичный продольный разрез нижнего резервуара по фиг. 14;

фиг. 17: схематичный вид сверху на нижний резервуар по фиг. 14;

фиг. 18: схематичный вид карьера с подводной ГАЭС в соответствии с другим вариантом с заполнителем;

фиг. 19: карта рудника Хамбах в сухом состоянии;

фиг. 20: карта рудника Хамбах с дамбой во временном режиме;

фиг. 21: карта рудника Хамбах с дамбой после затопления;

фиг. 22: другая карта рудника Хамбах с дамбой после затопления. Расширение существующего рудника в качестве ГАЭС

Ниже описаны расширение существующего рудника в качестве ГАЭС и особые условия закрывающегося большого рудника. Однако рассуждения относятся вообще к любой уже существующей или сооружаемой впадине земли. Как более подробно описано ниже, в подходящих геологических условиях ГАЭС может быть построена без подготовительной работы закрывающегося рудника "на зеленом лугу" (или "на желтом песке пустыни").

Ниже рассматривается, следовательно, подход, заключающийся в том, чтобы расширить существующий карьер оптимально и в значительной степени для аккумулирования энергии в виде "нетрадиционной ГАЭС", причем предусмотренное в результате рекультивации озеро используется в качестве верхнего бассейна, а сооружаемая подходящая полая структура на дне 1 озера - в качестве нижнего бассейна.

Это схематично показано на фиг. 1. Нижний бассейн 200 имеет брутто-объем  $V_u$ , из которого, однако, при аккумулировании энергии в качестве полезного нетто-объема можно использовать только часть, охарактеризованную коэффициентом заполнения  $F_{full}$ . Этот нетто-объем поднимает при выкачивании уровень воды верхнего бассейна 300, т.е. свободную воду 0 озера (без застройки), так что в соответствии с балансом там водой заполняется рабочий объем  $V_{ob}$ . В зависимости от требования под дном 1 озера на соединительном уровне бб могут быть проложены токоведущие кабели, однако также соединительные трубы для воды или проход или даже комфортабельный въезд (фиг. 2). Нижний резервуар 200 сооружен на грунте 110 впадины 100. Под ним может находиться полость бб, которая может служить в качестве технического штрека, подземного соединительного уровня, например с каналом для электропроводки, соединительных труб для воды или даже участка для прохода/проезда.

В зависимости от варианта благодаря изобретению можно реализовать одно или несколько следующих свойств:

весь имеющийся в распоряжении в качестве "нижнего бассейна" объем может использоваться как можно шире для аккумулирования энергии,

установка состоит из самостоятельных элементов, каждый из которых остается доступным снаружи,

безопасность: в случае аварии последствия для обозримой по потенциалу опасности части всей установки остаются ограниченными, а, в частности, "цепная реакция" других аварий остается исключенной,

монтаж аккумулирующей установки, по меньшей мере, после сооружения технического уровня бб для прокладки кабелей на или в дне и первого ряда аккумулирующего уровня, остается возможным, в принципе, также после заполнения озера,

компенсация возможной, еще остающейся подъемной силы опорожненных от воды (т.е. энергетически заряженных) элементов происходит в непосредственной близости каждого элемента, и за счет симметрии действующих на аккумулирующий элемент сил можно избежать также возникновения крутящих моментов,

притоки озерной воды к турбонасосным агрегатам и ее стоки распределены на большой площади по поверхности установки, так что в водной массе озера возникают лишь очень малые скорости течения. В узостях внутри аккумулирующей установки неизбежно немного более высокие скорости воды могут быть гидродинамически согласованы за счет непрерывно сужающихся (или расширяющихся) переходных бассейнов,

турбонасосные агрегаты размещены в нижней части полости или в случае непосредственно опирающихся на подошву полых тел - при определенных обстоятельствах также в кавернах дна озера, чтобы при перекачке обойтись без давления подпитки,

уже параллельно с заканчивающейся угледобычей могут осуществляться строительство и частичная эксплуатация ГАЭС.

В зависимости от варианта в основе изобретения для использования большого, рекультивированного в виде озера, закрытого рудника в качестве ГАЭС лежат одна или несколько перечисленных ниже концепций. Другие варианты изложены ниже.

(1.) Аккумулирующая основная ячейка: полое шаровое хранилище (SeeEi).

В качестве аккумулирующей основной ячейки используется преимущественно полое шаровое хранилище (называемое здесь "SeeEi" (озерное яйцо)), которое обозначается, вообще, как ресивер. Толщина оболочки должна быть, в принципе, такой, какая требуется из-за давления воды, т.к. защита от всплытия может быть достигнута также за счет заделки (см. (8.)), а, с другой стороны, в некоторых случаях может быть практичнее и проще остаться также на малых глубинах при внутренне компенсированном в отношении всплытия "единичном шаре".

Далее необходимо отметить следующее:

в горизонтальном или вертикальном расположении могут использоваться также большеобъемные "трубные пучки" в качестве водоаккумулирующих шахт. Однако сначала еще свободный и надземный в закрытом руднике проход позволяет использовать большие, серийно изготовленные шары, что обеспечивает преимущества при коэффициенте заполнения и меньшую (примерно наполовину) толщину стенок,

более точные строительно-статические рассуждения покажут, предположительно, усовершенствования за счет небольших отклонений от шаровой формы вплоть до, скорее, "яйцеобразного" полого тела. Однако мы продолжаем использовать термин "полый шар" в качестве идеализированного обозначения также для подобного рода структур и кладем в основу расчетов емкости шар,

возможны также подходящие полиэдры, если они обеспечивают технологические преимущества.

(2.) Турбонасосный агрегат (ТА).

При оснащении аккумулирующей установки насосами и турбинами различают, в частности, три случая:

1-й случай: автаркия, ТА к каждой аккумулирующей основной ячейке, отсутствие прочих трубных соединений;

2-й случай: олиготаркия: несколько соседних основных ячеек соединяются короткими соедини-

тельными трубами; за счет симметричного расположения из соединенных элементарных основных ячеек образуется одна новая "единичная ячейка". Для этой единичной ячейки используется только один-единственный турбонасосный агрегат. Примечание: "олиготаркия" означает здесь самостоятельность составной единичной ячейки, состоящей из нескольких основных ячеек;

3-й случай: центральный: несколько основных ячеек или единичных ячеек объединяются в один мощный центральный турбонасосный блок.

Выбор осуществляется, например, на основе структуры расходов на турбонасосные агрегаты в зависимости от мощности и на основе рассуждений в отношении натекания, безопасности и воздействий на окружающую среду.

Благодаря геометрическому расположению основных ячеек (шаровых хранилищ) вода может, как описано в п. (5.), достигать турбонасосных агрегатов с озера быстро и с небольшим сопротивлением.

(3.) Траншея для размещения аккумулирующих блоков.

На подошве карьера изготавливается траншея, в которой в упорядоченном и симметричном расположении могут размещаться преимущественно шаровые аккумулирующие основные ячейки. Траншея может простираться по всему имеющемуся в распоряжении дну озера. При необходимости, она может быть также "разбита" на отдельные участки, например посредством земляного вала.

На фиг. 3 изображен легко понятный принцип, в соответствии с которым ресиверы 3 ("озерное яйцо", элементарная аккумулирующая ячейка, преимущественно полое шаровое хранилище) могут быть равномерно расположены в образованной дном 1 впадине 110 земли на ее грунте 110 и, при необходимости, поддерживаться с боков стенами 120. Это можно представить себе, например, как если бы шары были расположены в ящике с косыми стенками. Между шарами остается, как правило, промежуток/свободное пространство 2, который/которое, по меньшей мере, на одних участках может быть засыпан/засыпано заделывающим материалом (вынутые песок, гравий, мелкие обломки породы, возможно, также легкий бетон для стабилизации), например, чтобы служить для предотвращения всплытия, так что возникает достаточная средняя плотность, а на других участках (что особенно выражено при гексагональном расположении шаров) поддерживается свободным в виде соединительного пространства от озера к нижним шарам или оборудованию на дне, как это более подробно описано ниже.

Изображенная на фиг. 3 плоскость сечения еще не имеет оптимальной симметрии упаковки шаров: каждый верхний шар опирается только на два нижних шара. Благоприятнее использовать оптимальную, гексагонально самую плотную упаковку аккумулирующих основных ячеек, как это будет проиллюстрировано на следующих фигурах. Отличие заключается в более эффективном смещении горизонтальных уровней шаров, при котором каждый верхний шар сидит в углублении между тремя нижними шарами, и будет учтено на следующих фигурах.

(4.) Технические штреки 66.

Под размещающей в себе аккумулирующие элементы траншеей могут быть сооружены каналы для прокладки токоведущих кабелей, которые затем на краю нижнего бассейна ведут сбоку или в шахте вверх. Эти технические штреки в некоторых вариантах (см. ниже) расширяются в виде прохода к смонтированным на дне олиготаркическим турбонасосным установкам. При строительстве "всухую" вдоль склона верхнего и нижнего бассейнов может быть сооружен подъездной туннель, который обеспечивает удобный проход для персонала и транспортировки материалов к техническому оборудованию на или в дне нижнего бассейна. Как и в разработках подземным способом, производственные площади хорошо доступны, однако трудоемкая там подземная проходка штреков может осуществляться предварительно в удобном сухом карьере.

(5.) Геометрическое расположение "озерных яиц": гексагонально самая плотная упаковка шаров.

"Озерные яйца" располагаются преимущественно в гексагонально самой плотной упаковке шаров. При этом шары следующего уровня фиксируются соответственно в половине углублений нижележащего уровня. Два следующих друг за другом горизонтальных уровня смещены на задающую симметрию долю диаметра шаров, в результате чего образуются идентичные пакеты соответственно двух смещенных по отношению друг к другу, следующих друг за другом уровней. Следовательно, на каждом третьем уровне шары лежат точно над шарами первого уровня. Это отличает гексагонально самую плотную упаковку шаров от также "кубически самой плотной" упаковки шаров, при которой только каждый четвертый уровень лежит снова точно над первым уровнем.

Преимущество гексагонально самой плотной упаковки шаров заключается в том, что здесь образуются сквозные вертикальные свободные пространства. Для особенно наглядного и подробного описания этих симметричных форм следует сослаться на домашнюю страницу "Chemie verstehen" (понять химию) M. Schmidt/Schmidt 2019/, а в остальном можно, разумеется, привлечь также учебники по кристаллографии. Для способности пространственного представления, возможно, поможет "увидеть" на последующих фигурах не только отдельные шары, но и тетраэдры из 4 шаров, а именно такие, у которых 3 шара взаимосвязываются в одной (вертикальной или горизонтальной) плоскости, а 4-й шар находится в углублении трех первых.

На фиг. 4 изображен вид сверху на впадину 100 или траншею с заделанными, выполненными в виде полых шаровых хранилищ ресиверами 3 в гексагонально самой плотной упаковке, причем между реси-

верами 3 остаются свободные пространства 2. Каждый шар изображен здесь лишь в двухмерном виде за счет горизонтального сечения большой окружности. Видны, перекрывая поверхность, второй ряд сверху и с левой стороны - часть самого верхнего ряда.

Между шарами образуются свободные пространства. По критерию "вертикальный проход" к вышележащему озеру эти свободные пространства 2 можно разделить на два класса:

либо "проходное пространство" (22 или 24), которое имеет свободный вертикальный проход к вышележащему озеру и которое, в зависимости от функции, можно еще различить как "засыпанное" проходное пространство 22, когда оно засыпается, например, песком, гравием или камнями, или

открытое или проходное пространство 24 свободной воды, когда оно остается открытым,

либо "пространство слепой шахты" 27, как мы хотим назвать связанное "схваченное" пространство между шарами, когда из него невозможен вертикальный проход к озеру.

Следовательно, изображенная гексагонально самая плотная упаковка шаров дает по причинам симметрии сквозные снизу вверх вертикальные проходные пространства 22, 24, узости которых остаются видимыми при виде сверху. Эти свободные пространства могут, во-первых, оставаться открытыми и обеспечивать доступ озерной воды к турбонасосным агрегатам (проходное пространство 24 свободной воды) и, тем самым, в случае обслуживания использоваться также в качестве проходных или соединительных шахт, а, во-вторых, в качестве "засыпанных проходных пространств" 22 засыпаться камнями, гравием и песком в качестве блокировки всплытия. На фиг. 4 у проходных пространств 24 свободной воды образованный за счет геометрии лежащих друг над другом узостей вертикальный элемент объема обозначен как "узкая шахта 4 в свету"; следовательно, она является воображаемой частью проходного пространства 24 свободной воды. В этом примере эта "геометрическая узка шахта 4 в свету" образуется из гексагональной геометрии расположения шаров и находится в части 24 свободных пространств 2, которая не засыпается.

Преимущественно каждый шар имеет прямой проход к трем прилегающим к шару проходным пространствам (22 или 24), и из одного проходного пространства можно на любом уровне непосредственно достичь трех прилегающих шаров. Поэтому проход от шаров к проходным пространствам можно выбрать так, что часть проходных пространств вообще не служит проходом к озеру и потому, например, может быть также засыпана. На фиг. 4 ровно половина проходных пространств была выбрана в качестве проходного пространства 24 свободной воды, что рекомендуется также по причинам симметрии.

На фиг. 4 можно также видеть, что каждый шар окружен тремя пространствами 27 слепых шахт. Направляется засыпка этих слепых шахт в ходе монтажа установки, т.е. пока они еще не закрыты вышележащим уровнем шаров и потому еще доступны сверху, песком, гравием или камнями. Еще оставшиеся небольшие боковые отверстия к проходным пространствам 24 свободной воды могут быть при заполнении закрыты связующим материалом (например, легким бетоном) или строительным текстилем или же просто лишь скошены.

Можно оснастить полый шар с балансировкой (утолщением), так что он хорошо садится на лежащие под ним шары, в частности на лежащие под ним три шара ("три" - из-за гексагональной симметрии, фиг. 4), на которые он устанавливается. При необходимости, можно снабдить непосредственные поверхности контакта также соединительными материалами или раствором, чтобы выровнять места сдавливания малой площади (в остальном см. также ниже "Заделка"). Кроме того, можно разместить балансировку так, чтобы закрыть боковой проход к предусмотренным позднее для засыпки полостям.

Рассмотрим сечение вида сверху из фиг. 4 (например, Хамбахской траншеи), а именно в плоскости А-А#, в которой находятся проходные пространства 24 свободной воды к турбонасосным агрегатам (фиг. 5а). Сечение проходит через вертикальную большую окружность одной трети шаров и касается боковых вершин других двух третей шара, лежащих как за, так и перед плоскостью чертежа, что мы, однако, для наглядности обозначили только единственной жирной точкой.

Между выполненными в виде полых хранилищ ресиверами 3 изображены выполненные в виде "проходных шахт в свету" открытые вверх свободные пространства 4, которые могут служить проходом к турбонасосным агрегатам. Вообще, между ресиверами 3 может быть предусмотрено проходное пространство 24 свободной воды, свободное пространство между шарами, в котором можно обеспечить достаточный проход к озерной воде.

Видно, что в плоскости шахты и относящемся к ней пространстве между шарами много места для прохода к их лежащим внизу сбоку впускным/выпускным отверстиям. В принципе, это пространство можно поддерживать открытым для озерной воды; тогда мы называем его "проходным пространством 24 свободной воды". Однако его можно также частично засыпать, например каменными материалами, в частности, если остается достаточно большое пространство для свободного доступа воды к отверстиям каждого шара. При этом следует подумать также о работах по обслуживанию вплоть до наверняка потребующейся когда-нибудь замены турбонасосного агрегата.

В принципе, смещенная на радиус шара плоскость сечения (см. линию разреза В-В# на фиг. 4) выглядит так же (фиг. 5b), только здесь не предусмотрен проход к шарам, и потому все пространство, которое мы обозначаем как засыпаемое пространство 22, можно было бы засыпать песком, гравием и камнями.

Следовательно, один аспект аккумулирующей установки заключается, в частности, в том, что она создается, как из модулей из симметрично упорядоченного расположения стабильных и статически оптимальных элементарных полых тел (в частности, полых шаров). Как и в том случае, когда можно возвести простую стену из перевязанных клинкерных кирпичей, мы строим аккумулирующую установку из полых шаров в гексагонально самой плотной упаковке, причем тогда аккумулирующее пространство находится в чрезвычайно стабильной внутренности полых шаров, а симметрия расположения заботится о открытых к озеру проходных пространствах и, при необходимости, также о подходящих пространствах для засыпки балластным материалом.

Ниже говорится еще о некоторых других вариантах и подробностях конструкции и расчета аккумулирующей установки, а также о дальнейших и альтернативных рассуждениях. Однако прежде следует обсудить огромные экономический и энергетический потенциалы.

Энергетический потенциал преобразованного в ГАЭС карьера.

Изобретение предусматривает, в частности, расширение существующего карьера оптимально и в значительной степени для аккумулирования энергии в виде "нетрадиционной ГАЭС", причем предусмотренное в результате рекультивации озеро используется в качестве верхнего бассейна, а сооружаемая подходящая полая структура на дне озера - в качестве нижнего бассейна (фиг. 1).

Имеющийся в распоряжении для процесса аккумулирования объем  $V_{Sp}$  возникает из геометрически требуемого объема  $V_u$  за счет умножения на коэффициент заполнения  $F_{full}$ :

$$V_{Sp} = F_{full} \cdot V_u \quad (1)$$

Коэффициент заполнения вычисляется из необходимой для стабилизации емкостей толщины стенок и промежутков между емкостями. Для рассматриваемого нами расположения полых шаров в гексагонально самой плотной упаковке (см. ниже) в зависимости от толщины стенок возникает коэффициент заполнения порядка 0,45.

Накопленная вода находится после затопления в верхнем бассейне, т.е. справедливо:

$$V_{ob} = V_{Sp} \quad (2)$$

Потенциальная энергия водной массы за счет этого возросла на

$$\Delta E = g \cdot \rho_w \cdot V_{Sp} \cdot (h_u - h_{ob}) \quad (3)$$

причем мы подставляем ускорение Земли  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  и плотность воды  $\rho_w = 1000 \text{ кг/м}^3$ . Строго говоря,  $h_u$  и  $h_{ob}$  обозначают высоты центров тяжести накопленной воды в нижнем бассейне и объема  $V_{ob}$  в верхнем бассейне. Чтобы не задерживаться на мелочах, мы рассчитываем ниже с эффективными значениями геометрических размеров озера, которые возникают из того, что мы работаем в собственно рабочей зоне (т.е. в нижнем бассейне и в зоне подъема уровня воды) с прямоугольным сечением.

Тогда подъем уровня воды составляет:

$$\text{подъем} = 2 \cdot h_{ob} \quad (4)$$

Допустим

$A_{ob}$  = площадь собственно озера  $A_u$  = площадь несущей накопленную массу траншеи,

$H$  = высота накопленной массы, которую (высоту) мы принимаем во всей области как единую.

Тогда из простого геометрического рассмотрения и, используя ур. (1), следует:

$$V_{ob} = A_{ob} \cdot \text{подъем} \quad (5)$$

$$V_{Sp} = F_{full} \cdot A_u \cdot H \quad (6)$$

С ур. (2) тогда для максимального подъема озера между накоплением и расходом следует:

$$\text{подъем} = H \cdot F_{full} \cdot A_u / A_{ob} \quad (7)$$

$A$  для повторно вырабатываемой аккумулированной энергии с ур. (3) при к.п.д. турбины  $\eta_T = 0,90$  следует:

$$\Delta E = (g \cdot \rho_w \cdot \eta_T) \cdot F_{full} \cdot A_u \cdot H \cdot (h_u - h_{ob}) \quad (8)$$

Ур. (7) и (8) описывают "ландшафтные" затраты и энергетически-экономический потенциал режима аккумулирования. При оценках достаточно использовать для коэффициента заполнения расчетное значение  $F_{full} = 0,45$ . Ниже мы выведем, однако, еще одно уравнение для определения  $F_{full}$ .

Коэффициент заполнения.

Коэффициент заполнения  $F_{full}$ , т.е. доля полезного аккумулирующего объема, во всей выкапываемой для этого дыры, возникает как произведение двух коэффициентов:

$$F_{full} = x_V \cdot x_{Pack} \quad (9)$$

Первый коэффициент, объемный коэффициент  $x_V$  толщины стенки, описывает отношение внутреннего объема полого шара, т.е. имеющегося в распоряжении для аккумулирования объема  $V_{Sp}$ , ко всему объему  $V_a$  полого шара. Второй коэффициент, коэффициент упаковки  $x_{Pack}$ , учитывает, что полые шары нельзя упаковывать произвольно плотно.

Имеющаяся в распоряжении для целей аккумулирования полость, мы называем ее "полезная дыра" или аккумулирующий объем, должна быть заделана в стабильную конструктивную огибающую структуру и защищена от всплывания. У шаровой структуры с полезным внутренним диаметром  $D_i$  и толщиной  $d_i$

стенки полезный аккумулирующий объем вычисляется таким образом:

$$V_{Sp} = \pi/6 \cdot D_i^3 \quad (10)$$

а внешний "брутто"-объем:

$$V_a = \pi/6 \cdot (D_i + 2 \cdot di)^3 \quad (11)$$

из чего следует объемный коэффициент  $x_V$  толщины стенки:

$$x_V = V_{Sp} / V_a = (1 + 2 \cdot di/D_i)^{-3} \quad (12)$$

При пересчете ур.(12) на наружный диаметр  $D_a = D_i + 2 \cdot di$  возникает  $x_V = (1 + 2 \cdot di/D_i)^{-3} = [D_i / (D_i + 2 \cdot di)]^3 = [(D_a - 2 \cdot di)/D_a]^3$ , т.е.:

$$x_V = [1 - 2 \cdot di/D_a]^3 \quad (12a)$$

Для толщины  $di$  стенки шара возникает минимальное значение из расчета прочности и стабильности к господствующему на глубине гидростатическому давлению. У шара внутренним диаметром 30 м и при гидростатическом давлении на морской глубине 700 м в проекте StEnSea (см. выше) было получено значение  $di = 3$  м. Тогда для этого окружения по ур. (12a) для объемного коэффициента толщины стенки следует:

$$x_V = 0,579 \text{ в проекте StEnSea} \quad (12b)$$

Дополнительно мы должны учесть, что шары устанавливаются рядом друг с другом и друг над другом не без пустых промежутков. Отношение занимаемого шарами пространства к общему пространству окружающего куба мы называем коэффициентом упаковки  $x_{Pack}$ . Для бесконечного кристалла в гексагонально самой плотной упаковке шаров геометрия дает значение (см. выше /Schmidt 2019/)

$$x_{Pack} = 0,74 \quad (13)$$

Произведение из ур.(12b) и постоянного значения ур.(13) дает по ур.(9) уже определенный в ур.(1) коэффициент заполнения

$$F_{full} = x_V \cdot x_{Pack} \quad (9)$$

Для шара StEnSea числовое значение коэффициента заполнения составляет:

$$F_{full} = 0,43 \text{ для шара StEnSea} \quad (14)$$

На меньших глубинах обходятся меньшими толщинами  $di$  стенок. Поэтому и из-за неопределенностей мы часто считаем с округленным значением коэффициента заполнения:

$$F_{full} = 0,45 \text{ (расчетное значение для более общих размышлений)} \quad (15)$$

Однако положительные впечатления от более высоких коэффициентов заполнения иногда омрачаются необходимостью компенсировать результирующую подъемную силу пустого полого шара за счет дополнительного балласта. В следующем разделе показано, что шар StEnSea в пресной воде может обойтись именно без дополнительного балласта.

Подъемная сила и балласт.

Один интересный параметр мы получаем, когда мы требуем, что подъемная сила пустого полого шара не должна быть больше его массы. Это требование является опцией, т.к. результирующую подъемную силу можно было бы компенсировать также за счет анкеровки или балласта. Подъемная сила пустого шара составляет  $V_a \cdot g \cdot \rho_W$ , а его масса  $(V_a - V_{Sp}) \cdot g \cdot \rho_{Beton}$ , причем  $\rho_W = 1000 \text{ кг/м}^3$ , а  $\rho_{Beton} = 2400 \text{ кг/м}^3$ , а это соответственно плотность воды и бетона. Если приравнять обе силы, то с использованием ур.(12) получим:

$$\rho_W / \rho_{Beton} = 1/2,4 = (1 - V_{Sp}/V_a) = 1 - x_V$$

и наконец для объемного коэффициента равновесия между подъемной силой и силой тяжести, что мы выражаем через индекс "0" в виде  $x_{V0}$ :

$$x_{V0} = 1 - \rho_W / \rho_{Beton} = (2400 - 1000) / 2400 = 1,4 / 2,4$$

$$x_{V0} = 0,5833 \quad (16)$$

Пока вычисленный по ур.(12) объемный коэффициент  $x_V$  толщины стенки бетонного полого шара остается меньшим, чем  $x_{V0}$ , пустой шар за счет своей собственной массы остается лежать на дне озера. Сравнение с ур.(14) показывает, что у шара StEnSea в пресной воде это именно тот случай.

Теперь мы хотим применить эти взаимосвязи, например, к руднику Хамбах в его теперешнем планировании, с одной стороны, и в другом желательном варианте расширения с целевым направлением использования хранилищ, с другой стороны.

При этом мы рассматриваем нижний бассейн как структуру, которая образуется из многослойных рядов элементарных, гексагонально плотно упакованных полых шаров, а образующиеся в результате симметрии промежутки используются в качестве

(1.) гидравлического прохода к верхнему озеру (и, при необходимости, в качестве ревизионной шахты),

(2.) или в качестве засыпаемого пространства для уменьшения подъемной силы.

Самые нижние ряды и укрепление склонов сооружаются удобным образом "всухую".

Энергетический потенциал на примере Хамбахской траншеи: запланированное рекультивированное озеро.

В соответствии со статьей в Википедии /Wikipedia#Hambacher Tagebau/ для карьера Хамбах запланировано остаточное озеро площадью  $4200 \text{ га} = 42 \text{ км}^2$  и глубиной до 400 м. Из-за откоса в зоне выемки верхнего бассейна (см.  $V_{\text{об}}$  на фиг. 1) эта площадь может быть немного уменьшена, чтобы мы могли считаться с вертикальными ограничениями. Следовательно, в качестве расчетного значения мы берем:

$$A_{\text{об}} = 40 \text{ км}^2 = 40 \cdot 10^6 \text{ м}^2 \quad (21)$$

Собственный грубый замер карты Google карьера дает самую глубокую подошву, которую мы хотим назвать "Хамбахской траншеей" площадью  $A_{\text{ц}} = 4 \cdot 1 \text{ км}^2$ . Пусть эта траншея имеет в любом месте глубину 400 м. Для ГАЭС мы устанавливаем высоту 130 м, что соответствует примерно 4 рядам самым плотным образом упакованных шаров внутренним диаметром 30 м. Тогда при вертикальных стенах возникает средняя глубина  $h_{\text{ц}}$  нижнего бассейна  $400 - H/2 = 335 \text{ м}$ . Резюмируем:

$$A_{\text{ц}} = 4 \cdot 10^6 \text{ м}^2 \quad (22)$$

$$H = 130 \text{ м} \quad (23)$$

$$h_{\text{ц}} = 335 \text{ м} \quad (24)$$

По ур.(7) при коэффициенте заполнения  $F_{\text{fill}} = 0,45$  подъем в верхнем бассейне составляет

$$\text{подъем} = 130 \cdot 0,45 \cdot 1/10 = 5,8 \text{ м} \quad (25)$$

а средняя глубина  $h_{\text{об}}$  верхнего бассейна составляет

$$h_{\text{об}} = 2,9 \text{ м} \quad (26)$$

Из этих данных и установленных выше постоянных отбираемая аккумулированная энергия по ур.(8) составляет

$$\Delta E = 191 \text{ ГВтч} \quad (27)$$

При положенном выше в основу заверщенного энергетического поворота будущем годовом потреблении в Германии  $Q_a = 1000 \text{ ТВтч}$ , что соответствует среднесуточному потреблению  $Q_d = 2,74 \text{ ТВтч}$ , аккумулированная мощность по ур.(27) соответствовала бы всего 7% суточного потребления, что, правда, уже является почти 5-кратным значением всей современной мощности германских ГАЭС, однако при немного более масштабном расширении карьерного поля в отношении будущего использования в качестве основы энергетического поворота могут достигаться более высокие (более чем на порядок) мощности. Это показано на примере в следующем разделе.

Энергетический потенциал: глубоко выкопанная и расширенная траншея в озере.

В этом разделе показано, что с имеющейся инфраструктурой разработки бурого угля стоит продолжить расширять карьер для целей ГАЭС.

Одобренная рабочая площадь карьера Хамбах составляет  $85 \text{ км}^2$ . Остаточное озеро, которое до сих пор было запланировано площадью  $42 \text{ км}^2$ , вполне можно было бы увеличить вдвое. Геология Нижнерейнского бассейна характеризуется мощным, до 1300 м, слоем осадочных пород (/Wikipedia#Tagebau Hambach/). Аккумулирующее озеро можно было бы, следовательно, выкопать еще глубже. В настоящее время подробных материалов по планированию карьера Хамбах в нашем распоряжении нет. Поэтому мы ограничимся оценками и осторожными и грубыми предположениями.

Для нашего второго примерного расчета определимся следующим образом.

Вместо современной глубины установим существенно большую глубину траншеи в 1000 м. Кроме того, увеличим площадь дна траншеи с прежде запланированных  $4 \text{ км}^2$  грубо до  $20 \text{ км}^2$ , что соответствует примерно половине площади, предусмотренной для запланированного остаточного озера.

Все новое озеро разделим на два участка. При этом в качестве собственно верхнего бассейна для ГАЭС служит лишь эффективная площадь прежде запланированного остаточного озера, т.е.  $40 \text{ км}^2$ . Этот еще используемый бассейн гидравлически отделяется от всего озера дамбой и обеспечивает поэтому большой подъем его водной поверхности. Площадь по ту сторону дамбы, т.е. неиспользуемая для работы ГАЭС часть всего озера, представляет собой обещанное в качестве рекультивационной меры озеро для проведения досуга и основывается в зоне одобренной рабочей площади (см. ниже в части способа ступенчатого строительства ГАЭС большой мощности).

Нижний бассейн пусть состоит из 8 рядов стандартных полых шаров внутренним диаметром 30 м. Для этого мы используем данные из проекта StEnSea (см. выше). Из-за большей глубины толщина стенок немного больше, чем в предыдущей главе и составляет 3 м. Это сказывается на коэффициенте заполнения  $F_{\text{fill}}$ , который мы установим немного меньшим. Зато нам больше не потребует заботиться о результирующей подъемной силе пустого шара. В качестве общей высоты  $H$  бассейна мы рассчитываем 280 м.

Из этого возникают следующие параметры ГАЭС:

$$A_{\text{об}} = 40 \text{ км}^2 = 40 \cdot 10^6 \text{ м}^2 \quad (28)$$

$$A_{\text{ц}} = 20 \cdot 10^6 \text{ м}^2 \quad (29)$$

$$H = 280 \text{ м (30)}$$

$$h_u = 860 \text{ м (31)}$$

По ур.(7) при коэффициенте заполнения  $F_{\text{fill}} = 0,43$  подъем в верхнем бассейне приводит к значительной, однако все еще увеличиваемой и из-за обрамления рекультивированным озером, ни в коем случае не отталкивающей величине

$$\text{подъем} = 60 \text{ м (32)}$$

По ур. (8) (отбираемая) аккумулированная энергия составляет:

$$\Delta E = 4,927 \text{ ТВтч (33)}$$

Для упорядочивания: выше мы исходили из будущего среднесуточного потребления в Германии  $Q_d = 2,74 \text{ ТВтч}$  и потребности в краткосрочных хранилищах 20-30% от этого суточного потребления. Сравнение показывает, что в Хамбахском озере можно было бы построить ГАЭС большей на целый порядок мощности. Следовательно, теоретически можно было бы снабжать, пожалуй, всю Европу. Поэтому любимая отговорка противников энергетического поворота, будто Германия не располагает достаточными географическими ресурсами для краткосрочного аккумулирования при энергетическом повороте, не соответствует действительности, и она даже в корне неверна.

Примечание: поскольку, как уже упомянуто, в нашем распоряжении не было никаких материалов по планированию, вышеназванные цифры следует рассматривать как временные. Авторы надеются, что возникнет сотрудничество с эксплуатантом карьера; тогда можно будет производить расчеты с более точными данными. Однако это вряд ли поколеблет принципиальный вывод о мощном потенциале краткосрочных хранилищ.

Экономический потенциал на  $1 \text{ м}^3$  полезной полости.

Благодаря карьере Хамбах, самому большому и глубокому в Германии, в распоряжении уже имеется подходящая для строительства ГАЭС дыра. Однако, кроме того, имеется мощное и испытанное очистное оборудование, которое с самыми оптимальными затратами может увеличить, углубить и как-либо еще оформить дыру. Прежние устремления и модели сводятся к тому, чтобы только приспособить так и так имеющуюся дыру для оптимального последующего использования.

Однако это близорукая позиция. Напрашивается вопрос, нельзя ли с помощью имеющейся на месте, оптимальной и зарекомендовавшей себя для земляных работ любого рода и в большом стиле инфраструктуры и опытного в данной области персонала расширить или обустроить карьерную дыру так, чтобы ее можно было оборудовать и переделать еще эффективнее и в еще большей степени для новой эксплуатационной цели "ГАЭС".

При этом целевое направление двоякое. Траншея, в которой должны быть заделаны полые шаровые хранилища, можно для этого

углубить, чтобы обеспечить более высокие рабочие давления и, тем самым, лучшее использование объема полости, и/или

расширить, чтобы достичь еще большего числа эффективно работающих полых шаровых хранилищ и, тем самым, повышения мощности.

Технико-экономический ключевой аргумент заключается в небольших дополнительных затратах на сооружение дополнительной дыры в подошве карьера. Поскольку мы не нашли для этого никакой запинающейся, публично доступной цитаты, мы представим сначала немного корявую собственную оценку и сделаем затем из низкого полученного значения почти  $20 \text{ евро/м}^3$  на свободный полый объем на рабочей глубине далеко идущие выводы.

Сколько стоит при разработке бурого угля создание  $1 \text{ м}^3$  дыры на большой глубине  $H$ .

В изданной организацией "Гринпис" брошюре "Сколько на самом деле стоит поток бурого угля?" ("Greenpeace 2018/) рыночная цена бурого угля на основе годового баланса за 2017 г. фирмы LEAG (прежде Vattenfall Europe Mining) оценивается в 13,8 евро за тонну. При плотности бурого угля  $\rho_{\text{BK}} = 1250 \text{ кг/м}^3$  - здесь, кстати, в литературе встречаются также меньшие значения - его объемная цена составляет около  $17,5 \text{ евро/м}^3$ . Согласно Википедии /Wikipedia#Braunkohle/, буроугольный карьер дает отношение объемов вскрыши к углю около 6,2 к 1. К сожалению, в той же брошюре то же значение указано и как отношение объемов добычи и вскрыши в т. Поэтому мы выбираем для "коэффициента дыры", который указывает отношение всей дыры из угля и вскрыши к чистому объему угля, округленное расчетное значение

$$\text{коэффициент дыры} = 6 \text{ (41)}$$

Следовательно, при добыче  $1 \text{ м}^3$  бурого угля объем всей дыры составляет, в целом,  $6 \text{ м}^3$ . К сожалению, мы не знаем точно, где в карьере возникают "вклады" во всю эту дыру, т.к. пустая порода скапливается не только в непосредственном окружении добываемого продукта, но и в лежащих выше вскрышных породах, лишь устранение которых обеспечивает доступ к бурому углю. При подземной добыче каменного угля, когда скапливается, правда, пустая порода, но не лежащая выше вскрышная порода, можно исходить из доли отходов рядового угля около 50% (/Reuther 2010/рис. 351, вверху/). Опираясь на это значение, мы принимаем в качестве расчетного значения, что к каждому кубометру бурого угля с той же

глубины транспортируется дополнительно около кубометра пустой породы; следовательно, на той же глубине образуется брутто-дыра в  $2 \text{ м}^3$ , т.е.

$$\text{коэффициент пустой породы} = 2 \quad (42)$$

Выше было сказано, что при гексагонально самой плотной упаковке шаров следует рассчитывать на коэффициент заполнения около 0,45. При значении  $1/2$  коэффициент заполнения снова компенсировал бы эффект упомянутого коэффициента пустой породы в ур.(42). Поэтому ввиду приблизительности оценки коэффициента пустой породы мы можем выразить одно наглядное суждение.

Промежуточный итог: активная разработка бурого угля создает, по нашей грубой оценке, для каждого кубометра бурого угля

Zuwege-дыру около  $4 \text{ м}^3$  в верхней части,

дыру около  $2 \text{ м}^3$  в глубине карьера, которая дает используемую непосредственно в качестве аккумулярующего объема полезную дыру в  $1 \text{ м}^3$ .

В соответствии с этими рассуждениями мы можем ответить на вопрос о стоимости аккумулярующей дыры.

Итог: используемая на глубине разработки непосредственно в качестве аккумулярующего объема полезная дыра стоит около  $17,5 \text{ евро/м}^3$ , т.е. округленно  $20 \text{ евро/м}^3$ . По сравнению с приведенными выше для проекта StEnSea удельными объемными строительными расходами в  $225 \text{ евро}$  на  $1 \text{ м}^3$  используемого бетона (!) расходы на сооружение полезной дыры вряд ли имеют решающее значение.

Если же сооружение аккумулярующей дыры настолько недорогое, то могло бы быть даже привлекательным копать глубже даже без добычи бурого угля только для обеспечения аккумулярования. Поэтому мы ставим себе вопрос: стоит ли вообще строить непосредственно на подошве?

Рассматривается нижний бассейн высотой  $100 \text{ м}$ , который выполнен из стандартных полых шаров, согласно проекту StEnSea (см. выше) и сооружается на текущей подошве траншеи на глубине  $400 \text{ м}$ . Для полезного объема  $V_{Sp}$  по ур.(12) внешний объем  $V_a$  составляет:

$$V_a = V_{Sp} / x_V, \text{ где } x_V = 0,579 \quad (43)$$

Указанную в расчете на объем бетона ( $V_a - V_{Sp}$ ) единую цену в  $225 \text{ евро/м}^3$  можно с помощью зависящего только от  $x_V$  коэффициента пересчитать на аккумулярующий объем  $V_{Sp}$ . Тогда чистые строительные расходы  $K_{400}$  на нижний бассейн составят:

$$K_{400} = (V_a - V_{Sp}) \cdot 225 \text{ евро}$$

$$K_{400} = V_{Sp} \cdot [(1 - x_V) / x_V] \cdot 225 \text{ евро} \quad (44)$$

причем для "шара StEnSea" справедливо:

$$[(1 - x_V) / x_V] = 0,728$$

Теперь мысленно опустим нижний бассейн вниз на  $100 \text{ м}$ ; в качестве дополнительных расходов на это строительное мероприятие выступают лишь упомянутые выше примерно  $20 \text{ евро}$  на  $1 \text{ м}^3$  аккумулярующего объема. Следовательно, расходы  $K_{500}$  на сооружение на большей глубине составят:

$$K_{500} = V_{Sp} \cdot [(1 - x_V) / x_V] \cdot 225 + 20 \text{ евро} \quad (45)$$

Тем самым, строительные расходы на "вкопанный" нижний бассейн возрастают на коэффициент:

$$K_{500} / K_{400} = (225 \cdot [(1 - x_V) / x_V] + 20) / (225 \cdot [(1 - x_V) / x_V]) \quad (46)$$

$$K_{500} / K_{400} = 1 + (20/225) \cdot [(1 - x_V) / x_V] = 1,12 \quad (46a)$$

т.е. всего на  $12\%$ . С другой стороны, аккумулярованное содержимое возрастает по ур.(6) на коэффициент:

$$x_h = [h_u + 100 - h_{ob}] / [h_u - h_{ob}] = \text{примерно } 450/350 = 1,29 \quad (47)$$

т.е. на  $29\%$ . Следовательно, закапывание может заметно окупиться.

Можно было бы возразить, что лежащие выше шары можно было бы построить с более тонкими стенками. Это, в принципе, верно и при использовании, правда, собственно, только для тонкостенных шаров формулы Барлоу привело бы к пропорциональности требуемой толщины стенки с давлением. Однако тогда для защиты от всплытия пришлось бы разместить дополнительный балласт. Кроме того, и это решающий аргумент, единая цена в  $225 \text{ евро/м}^3$  включает в себя, прежде всего, расходы на опалубку и побочные расходы, и тогда не удалось бы много сэкономить. Если, например, из единой цены вычесть постоянную сумму в  $125 \text{ евро}$  на опалубку и т.п. и уменьшить затраты на бетон на коэффициент  $1/x_h$ , то возникает аналогичное рассмотрение при сохранении расходов  $K_{500}$ :

$$K_{500} / K_{400} = (225 / 0,728 + 20) / ((125 + 100/x_h) / 0,728) = 1,18$$

Увеличению аккумулярованного содержимого на  $29\%$  тогда противостоит повышение расходов на  $18\%$ . Однако это остается еще привлекательным, причем на дополнительный балласт еще не рассчитаны никакие расходы.

Итог: следовательно, стоит продолжить копать на уже достигнутой глубине с помощью имеющейся добычной техники и создать новый и более глубокий аккумулярующий объем.

Энергетический потенциал на  $1 \text{ м}^3$ .

Ниже сравним кумулированный отбираемый электрический ток из  $1 \text{ м}^3$  аккумулирующего объема с одноразовой выработкой тока из количества бурого угля, горнотехнически добытого с теми затратами труда и расходами.

В предыдущей главе мы установили в качестве итога, что используемая на глубине разработки непосредственно в качестве аккумулирующего объема полезная дыра стоит  $17,5 \text{ евро/м}^3$ . Точно так же там было показано, что оцениваемая цена добычи бурого угля составляет  $13,8 \text{ евро/т}$ , что соответствует объемной цене  $17,5 \text{ евро/м}^3$ . Производство  $1 \text{ м}^3$  бурого угля и  $1 \text{ м}^3$  полезной дыры стоит при открытой разработке примерно одинаково. Выше мы считали с плотностью бурого угля  $\rho_{\text{ВК}} = 1250 \text{ кг/м}^3$ , и поэтому в  $1 \text{ м}^3$  бурого угля его содержится  $1,25 \text{ т}$ . Для современной буроугольной электростанции в качестве удельного использования топлива указано  $0,9 \text{ кг/кВтч}$  (/Wikipedia#KraftwerkNiederauβem/), что соответствует отнесенному к объему использованию  $0,72 \text{ м}^3/\text{МВтч}$ . Следовательно, аккумулирующая дыра (= полезная дыра) в  $1 \text{ м}^3$  стоит так же, как и  $1 \text{ м}^3$  бурого угля; этот бурый уголь вырабатывает на современной электростанции  $1,39 \text{ МВтч/м}^3$ .

При глубине  $500 \text{ м}$  и к.п.д. турбины  $90\%$  одна аккумулирующая дыра дает  $1,24 \text{ кВтч/м}^3_{\text{hohl}}$ .

Итог: аккумулирующая дыра должна была бы, следовательно, отбирать ток за  $1120$  циклов, пока она не достигнет одноразового тока от сжигания бурого угля. В зависимости от годового числа циклов полной нагрузки это было бы достигнуто, возможно, за  $5-10$  лет.

Другие варианты и подробности конструкции и расчета.

Ниже приведены другие варианты и подробности конструкции и расчета заявленной аккумулирующей установки, причем мы продолжаем начатую выше нумерацию.

(6.) Расширение узостей.

На фиг. 6 изображен фрагмент фиг. 4 с самым верхним рядом ресиверов  $3'$  и вторым сверху рядом  $3''$ .

Важны форма и размер узости: в одном предпочтительном варианте на каждом уровне шаров горизонтальные большие окружности соседних шаров взаимостыкуются в  $6$  точках. Если рассмотреть один определенный шар (фиг. 6), то в каждой из этих точек соприкосновения с соседними шарами образуется свободный равносторонний треугольник, стороны которого являются круговыми сегментами. Если рассмотреть такие следующие друг за другом по горизонтальной прямой в направлении  $x$  или  $y$  треугольники, то видно, что они находятся в двух ориентациях  $A$  и  $B$ , которые по отношению к прямой зеркально-симметричны.

В гексагонально самой плотной упаковке шаров отдельные уровни шаров идентичны, однако соседние ряды шаров смещены по отношению друг к другу и лишь последующие уровни шаров снова лежат друг над другом, совпадая. Если рассмотреть перекрытие треугольников нижнего ряда большими окружностями верхнего ряда, то видно, что половина нижних треугольников лежит точно под верхним шаром, однако лежащие друг над другом треугольники ориентированы иначе, т.е. над нижним треугольником в ориентации  $A$  лежит на верхнем уровне треугольник в ориентации  $B$  и т.д.

В каждый равносторонний треугольник вписывается максимально возможная окружность. Эти окружности не изменяются при зеркальном отображении, так что по причинам симметрии все лежащие друг над другом треугольники, несмотря на свои  $2$  разные ориентации, имеют всегда на той же стороне такую же окружность. Эти окружности можно мысленно вытянуть в виртуальную вертикальную трубу, которая образует совершенно свободное вертикальное соединение "в свету" через все расположение шаров. Через эту виртуальную "узкую трубу"  $4$  можно было бы опустить свободно на тросе на дно предмет (например, турбину не слишком большой мощности). Поскольку треугольники принимают только две постоянные ориентации, фактическое пространство "в свету" через расположение шаров даже немного больше и растянуто в ромб (фиг. 6).

В качестве ограничения для транспортировки при строго вертикальном движении в распоряжении имеется ромб "в свету"; если же перед узостями допустить еще небольшое горизонтальное движение или вращение, то через расположение шаров можно транспортировать любые предметы, которые проходят через треугольники в свету отдельных уровней шаров. Уже на фиг. 6 видно, что при внутреннем диаметре шаров  $30 \text{ м}$  еще проходят предметы габаритами  $4-5 \text{ м}$ .

Если желательно расширить сечения узостей без каких-либо изменений в оболочке шаров, то этого можно достичь при заделке за счет дополнительного распорного слоя заполнителя между шарами; этот распорный слой можно затем снова локально удалить в критических местах узостей.

Однако существуют еще другие возможности расширения узости:

локальное уплощение шаров на узости, которое строительно-статически компенсируется за счет конструктивного усиления бетона в этом месте (например, за счет арматуры, металлических плит или колец),

использование второго сорта полых шаров меньшего диаметра, чем стандартные шары,

удаление выбранных шаров, так что в свободном сначала за счет этого пустом пространстве можно соорудить извилистую шахту нужного сечения. Функционально неиспользуемое пространство можно затем засыпать в ходе продолжения монтажа шаров.

Дополнительно имеется также альтернатива "программного обеспечения", чтобы избежать слишком высоких скоростей течения в месте узости: не требуется одновременно эксплуатировать с полной нагрузкой все турбонасосные агрегаты, имеющие общий и ограниченный местами узостей доступ к верхнему резервуару воды, а можно требуемые водные потоки как можно равномернее распределить по всем проходам.

(7.) Доступность турбонасосных агрегатов.

Турбонасосные агрегаты должны оставаться доступными, преимущественно для обслуживания или замены, через достаточно большой свободный канал. В зависимости от концепции оснащения турбонасосными агрегатами (см. п. (2): автаркически, олиготаркически или центрально) это может осуществляться, например, посредством двух следующих концепций:

турбонасосные агрегаты 7 размещаются внизу сбоку в или на самых глубоких точках шаров и используют в качестве водоприемника доступную для нескольких шаров, вертикальную и открытую вверх шахту 24 (фиг. 7) (автаркические, при определенных обстоятельствах также олиготаркические турбонасосные агрегаты малой мощности).

Группы шаров посредством напорных трубопроводов 6 соединяются с общим для всей группы турбонасосным агрегатом 77 большей мощности (олиготаркический/центральный турбонасосный агрегат). Эти напорные трубопроводы могут вести прямо от шара через внешний самостоятельный коллектор 6 (фиг. 8a), причем можно также объединить несколько шаров последовательно короткими соединительными трубопроводами от шара к шару (т.е. между соседними шарами), а затем присоединить, например, самый нижний шар одной серии к турбонасосному агрегату (фиг. 8b). Следует обратить внимание на то, что на фиг. 8a и 8b различные элементы для снабжения турбонасосного агрегата объединены.

Разумеется, возможны также другие варианты связи аккумулирующих элементов и олиготаркических турбонасосных агрегатов; пример обширного объединения изображен на фиг. 9a. Аналогичным образом это может осуществляться, конечно, и за счет прямого соединения от шара к шару, как изображено на фиг. 9b. Возможны также другие смешанные формы.

В общем, напрашивается расположение ресиверов 3 в сухой впадине 100 земли равномерно рядами рядом друг с другом и/или друг над другом (например, в гексагонально самой плотной упаковке шаров), причем между ресиверами 3 остаются свободные пространства 2 (остающиеся, по меньшей мере, частично в виде незасыпанного свободного пространства 24), которые проходят преимущественно местами сверху до грунта 110 через все ряды (каналы 4 в свету). При этом один ресивер 3 может быть оснащен, например, собственной турбиной 7, собственным насосом 7 и/или турбонасосным агрегатом 7, которая/который может быть встроена/встроен в ресивер 3, например, внизу и/или сбоку. В качестве альтернативы или дополнительно могут быть предусмотрены группы ресиверов, которые содержат два или более, соединенных между собой напорными трубопроводами 6, 61 ресиверов 3 и оснащены общей турбиной 77, общим насосом 77 и/или общим турбонасосным агрегатом 77. При этом непосредственно соединенные ресиверы 3 могут быть соединены непосредственным напорным трубопроводом 61 (короткая соединительная труба от шара к шару). Далее на или в грунте 110 могут быть сооружены бункеры с общей турбиной 77, общим насосом 77 и/или общим турбонасосным агрегатом 77 и туда от аккумулирующих шаров 3 могут быть проложены напорные трубопроводы 6, 61.

(8.) Заделка и защита от всплытия.

(8a) На подошве траншеи еще в сухом состоянии в плотной упаковке может быть уложен первый ряд аккумулирующих основных ячеек (т.е. полых шаров).

(8aa) Для стабилизации и защиты от всплытия эти элементы могут быть затем заделаны и/или "зашламованы" песком, гравием или камнями, что есть на месте. Преимущественно это происходит сначала только до высоты, на которой может быть уложен второй ряд полых шаров. За счет этой заделки можно достичь их утяжеления и присасывания.

(8b) В углублениях между шарами самого нижнего уже частично заделанного ряда можно поместить с соответствующим смещением второй ряд шаров. При этом за счет труб (при определенных обстоятельствах также эластичных труб) могут поддерживаться свободными пути натекания на турбонасосные агрегаты и пути стекания в самом нижнем ряду. Теперь в соответствии с этапом (8aa) можно за счет балластных материалов заделать полые шары и трубы.

(8c) Таким же образом, что и на этапе (8b), могут быть уложены и заделаны другие ряды полых шаров.

(8d) При желании разместить дополнительные шары выше верхней кромки траншеи эти полые шары могут получить собственную защиту от всплытия, например либо за счет собственной массы (толщина оболочки), либо за счет дополнительного балласта.

Заделка шаров служит, в том числе, также для распределения давления при штабелировании полых шаров. Поскольку заделка происходит в (обрамленной) траншее, можно использовать простой песок. Из-за стен траншеи он не вымывается.

(9.) Генераторный режим при заполнении (например, Хамбахского озера).

Во время дльщегося, при определенных обстоятельствах, многие годы заполнения карьера (например, карьера Хамбах) в озеро часть турбонасосных агрегатов может использоваться в качестве генерато-

ра тока. При этом притекающая, например, из Рейна (или еще откуда-нибудь) вода может направляться в турбины. Вытекание из полого шара может происходить, например, через собственный сливной патруб-ок, который затем позднее снова запирается. В качестве альтернативы этому можно использовать, на-пример, также одну (или же много) олиготаркическую единую ячейку и расположить приток в первой аккумулирующей основной ячейке, а сток - во второй аккумулирующей основной ячейке.

(10.) Использование имеющейся инфраструктуры карьера.

Для земляных работ в распоряжении есть преимущественно имеющиеся крупнокалиберные маши-ны "затухающего" бурогоугольного карьера. Их можно использовать для рытья траншеи, дополнительных уступов дна озера, перекаладываний в последующем озерном ложе и для заполнения полостей между ша-рами.

(11.) Расширение траншеи, крутизна.

С помощью преимущественно имеющихся крупнокалиберных машин (см. (10)) можно к концу раз-работки карьера и еще до заполнения озера расширить карьер, т.е., например, Хамбахскую траншею, также в ее основании. Эти строительные меры могут быть связаны частично с дальнейшей добычей бу-рого угля, однако они должны осуществляться также с постановкой самостоятельной цели "Сооружение аккумулирующей траншеи максимально большой площади".

Вся траншея может быть занята до своего края аккумулирующими шарами и в ходе этого монтажа заполнена на отдельных участках вынутым материалом. За счет этого возникает укрепление склона от любого рода сползания, даже после заполнения озера водой.

На этапе строительства можно с помощью шаров соорудить местами также временные опорные устройства. Это обеспечивает необычно крутую форму стены траншеи на последней очереди строитель-ства.

Дальнейшие/альтернативные аргументы.

Ограничение подъема в верхнем бассейне.

Хамбахское озеро в соответствии с прежним планированием станет по объему после озера Бодензее вторым по величине озером Германии, однако потенциал ГАЭС настолько велик, что может произойти значительное повышение уровня воды на поверхности озера. Если желательно уменьшить его, что мож-но учесть следующее:

(12.) Вся озерная долина в качестве верхнего бассейна

За счет объединения соседних рудников можно создать гидравлически соединенную озерную доли-ну, так что ее зеркало воды можно сообща опускать и поднимать. За счет шлюзов или управляемых за-слонок подъем различных озер можно настраивать по-разному высоко, так что можно учитывать различ-ные виды использования отдельных озер или же небольшие отличия в уровнях различных озер.

(13.) Рейн в качестве дополнительного верхнего бассейна.

Рейн лежит примерно на 40 м выше уровня моря и, тем самым, примерно на 60 м ниже уровня пол-ностью заполненного Хамбахского озера в соответствии с прежним планированием. Глубина монтажа "озерных яиц" в Хамбахской траншее 400 м (в настоящее время) лежит, тем самым, все еще на 340 м под Рейном. Для заполнения Хамбахского озера уже предлагалось использовать воду Рейна. Если построить большого размера штольню к Рейну, одновременно уменьшить площадь Хамбахского озера и углубить примерно на 60 м, то тогда Хамбахское озеро и Рейн были бы длительно гидравлически соединены, и оба могли бы сообща служить верхним бассейном ГАЭС.

При мощном гидравлическом соединении между обоими водоприемниками возникла бы буфериза-ция колебаний уровней, так что подъем уровня Хамбахского озера мог бы быть меньше, или ему, по меньшей мере, не пришлось бы лежать предельно низк в течение длительного времени.

При желании управлять всем потенциалом Хамбахской траншеи через Рейнскую штольню при-шлось бы предусмотреть необычно большие сечения штольни. Следует обратить внимание на то, что для заполнения Хамбахского озера, которое должно продолжаться годы или даже десятилетие, требуется лишь сравнительно малое сечение.

"Горнопромышленное" освоение турбонасосных станций через снабжающие шторки 67.

Часто приходится подойти к проблеме с совершенно другой стороны. Мы спрашиваем себя: можно ли осуществить доступность к турбонасосным агрегатам не сверху, а сбоку?

Дно 1 озера сначала сухое, свободно доступно и может обрабатываться большой и тяжелой маши-ной. Со ссылкой на фиг. 10 мы можем, следовательно, сделать осваиваемыми турбонасосные бункеры через подходящую штолковую сеть 67 и, при необходимости, дополнительно пробурить глубокую шахту 5 до последующей подошвы озера (фиг. 11). Тогда можно от турбонасосной станции 77 проложить до свободного озера 0 трубу 44, которая служит для транспортировки воды, однако не должна больше обя-зательно служить проходом для обслуживания и ремонта. В целом, между общим насосом/общей турби-ной/общим турбонасосным агрегатом 77 и свободным озером 0 может быть предусмотрена соединитель-ная труба или выполненное в виде шахты 44 промежуточное пространство 2. Позднее, после затопления озера, это функционирует тогда, как горячакое освоение станций в подошве: шторки содержат электро-проводку и подъезд для материала и персонала и, как на руднике, связаны с внешним миром через одну (или несколько) шахт 5 (фиг. 11). В частности, с возможностью проезда может быть предусмотрен шторек

67, который проходит в дне 1 озера и соединяет турбонасосные станции 77 с центральной шахтой 5 для снабжения и/или персонала.

Шахта 5 обеспечивает внешнюю связь с одним или несколькими реками 67; это может быть реализовано, помимо шахты для снабжения и персонала, также за счет крутой, однако еще с возможностью проезда туннельной трубы. Вместо шахты 5 проход к штрековой сети 67 может проходить также в виде выполненной с возможностью проезда и водонепроницаемо перекрытой горной дороги на склоне озера и сооружен задолго до затопления озера "всухую". Тогда он может использоваться также на этапе строительства ГАЭС.

Последующее расширение "на месте" за счет автаркических аккумулирующих элементов 30.

Предположим, что ГАЭС-установка, например, как она изображена на фиг. 10, уже находится в эксплуатации и должна быть расширена при заполненном озере. Это осуществляется за счет того, что на уже расположенные на грунте ресиверы 3 путем погружения укладываются дополнительные ресиверы 30. В частности, на имеющуюся установку в уже имеющиеся углубления могут быть уложены (так сказать, "эпитаксиально") автаркические ресиверы 30 (полые шары) (фиг. 12). Электрически можно объединить автаркические аккумулирующие элементы 30 сначала на верхней стороне нижнего бассейна и в одном или нескольких местах, например с использованием соединительных труб 44 существующей установки, направить вниз на штрек 67. Рекомендуются подготовить или уже произвести электрическое присоединение к штреку 67 еще при "сухом" монтаже аккумулирующей установки.

Способ поэтапного строительства ГАЭС большой мощности.

Самый большой бурогольный разрез Германии имел бы потенциал по размещению более 10000 полых хранилищ в качестве нижнего бассейна для объединенной ГАЭС большой мощности. При определенных обстоятельствах нежелательно долго ждать, пока разрез будет закрыт, затем возвести несущую структуру и установить все полые шары, потом заполнить озеро, после чего лишь через много лет пустить ГАЭС в эксплуатацию.

Однако есть один "элегантный" способ возвести раньше часть установок, "обильно" протестировать, местами продолжить расширять и, при необходимости, пустить в эксплуатацию еще до прекращения добычи угля. У такого большого проекта этот медленный, доводимый до совершенства за счет опыта и технических усовершенствований способ может быть желательным.

Простая основная мысль, которую при этом следует использовать, заключается в следующем. Дорогостоящий прочный на сжатие нижний бассейн с его встроенными турбонасосными агрегатами обязательно должен эксплуатироваться с предусмотренной позднее всей водной массой рекультивированного озера в качестве верхнего бассейна. В принципе, для этого можно использовать любой другой, имеющийся в распоряжении, большой или маленький бассейн на верхней кромке разреза при условии замены созданного позднее за счет озера гидравлического соединения временными напорными трубами 86 (фиг. 13).

Рассматривается, например, способ, включающий в себя один или несколько следующих этапов.

1. В частности, в прибрежной зоне последующего озера (например, Хамбахского озера) сооружают временный верхний бассейн 80, отделенный от теперешнего карьера дамбой 84 (плотина).

2. Застраивают, например, сначала только малую часть уже экскавированной траншеи (частично сооруженный нижний бассейн 83 из "озерных яиц"), и, при необходимости, после этого продвигаются дальше. Другими словами, для временного решения уже расположенные ресиверы 3 напорным трубопроводом 86 соединяются с образующей временный верхний резервуар, отделенной от впадины 100 емкостью 80 или бассейном 80. Следовательно, изготавливается, в частности, напорный трубопровод в качестве гидравлического соединения между временным верхним бассейном и уже расположенными ресиверами 3, т.е. первыми периодами строительства нижнего бассейна из "озерных яиц"). Например, "геометрическая узкая шахта 4 в свету" в "проходном пространстве 24 свободной воды" может быть заменена внутренней напорной трубой и присоединена к временной напорной трубе 86, которая проходит до упомянутого временного верхнего бассейна (см. 1.). Можно соорудить, например, блок из нескольких гидравлически связанных полых шаров с олигаркическим турбонасосным агрегатом, однако можно также только один автаркический шар со встроенным турбонасосным агрегатом присоединить для тестирования к такому временному напорному трубопроводу.

3. Временный верхний бассейн 80 может быть рассчитан так, что он может принимать аккумулированную воду сначала запланированных нижних бассейнов, однако он может быть также расширен при их дальнейшем застраивании. Еще во время активной добычи можно построенную таким образом временную ГАЭС не только тестировать, но и уже коммерчески эксплуатировать ("временный режим").

4. После окончания разработки угля и дальнейшего расширения карьерной дыры до ее окончательной формы во всей области планирования можно соорудить дополнительные нижние бассейны или расположить ресиверы. Тогда можно заполнить впадину для образования искусственного озера, которое в качестве окончательного верхнего резервуара заменит временный. Во время заполнения уже соединенная с временным верхним бассейном часть нижних бассейнов может продолжать эксплуатироваться, как прежде.

5. Когда все озеро заполнено водой, временный трубопровод 86 можно отсоединить. Приданную

прежде временной ГАЭС часть нижнего бассейна можно затем использовать в качестве "озерного яйца" так же, как и последующее оборудование.

6. Временный верхний бассейн 80, отделенный от собственно "рабочего озера" дамбой 84, может, например, (позднее) использоваться в качестве рекультивированного озера для проведения досуга и т.п. (досуговое озеро). Можно, например, как в случае большого "инфинити-бассейна", грести (или же плавать) вплоть до плотины и смотреть на рабочее озеро.

7. Рабочее озеро, которое соответствует тому, что до сих пор называлось верхним бассейном или свободной озерной водой 0, может из-за гидравлического или проходного отделения от рекультивированного озера (прежнего временного верхнего бассейна 80) эксплуатироваться, в основном, с технических точек зрения и иметь, например, необычно большой подъем.

В зависимости от величины и сезонно разного вида использования временного верхнего бассейна его можно было бы, конечно, использовать для "скромного" и контролируемого понижения; ведь, несмотря на отлив и прилив, люди ходят купаться даже в Северном море.

На фиг. 19-22 еще раз изображены различные стадии строительства подводной ГАЭС во впадине 100 земли, здесь в карьере Хамбах. На фиг. 19 карьер Хамбах 100 изображен в сухом состоянии до начала строительства ГАЭС.

На фиг. 20 во впадине 100, по меньшей мере, временно был сооружен нижний резервуар 83 (с полыми телами) и напорными трубопроводами 86 (трубные соединения на период монтажа) соединен с временным верхним резервуаром 80 (временное озеро/монтажное озеро). Временный верхний резервуар 80, лежащий выше нижнего резервуара 83, также находится во впадине 100, в частности на ее краю, и за счет ограничения 84 (плотина/разделительная плотина/стена бассейна) отделена от остальной части карьера. По причинам возникновения затрат может быть желательным, чтобы временное озеро 80 и плотина 84 были относительно низкими. Плотина 84 может быть возведена преимущественно на линии уровня впадины 100 через нее (здесь Хамбахская дыра), чтобы лучше основать ее. На фиг. 20 плотина 84 возведена приблизительно на террасе карьера, за счет чего временное озеро 80 может принять нужную вогнутую форму и хорошо вписаться в ландшафт. На изображенной на фиг. 20 стадии уже частично возведенный нижний резервуар 83 уже можно использовать и/или тестировать, чтобы накопить опыт для дальнейшего сооружения нижнего резервуара 83. При этом временный верхний резервуар 80 испытывает подъем уровня.

Со ссылкой на фиг. 21 можно, как только будет готов нижний резервуар, затопить впадину 100, в результате чего нижний резервуар остается на грунте и покрыт искусственно образованным озером, которое образует окончательный верхний резервуар 300 с подъемом уровня. Напорные трубопроводы 86 к временному озеру 80 могут быть отсоединены. Наконец, временное озеро 80 может быть преобразовано в досуговое озеро, которое больше не имеет подъема уровня. Гребень плотины может быть преобразован в любимый, например, также велосипедистами променада между досуговым 80 и рабочим 300 озерами. На фиг. 22 изображен вариант, в котором ограничение 84 сооружается на краю впадины, огибая ее, так что временный верхний резервуар 80 (или, при необходимости, позднее досуговое озеро) проходит кольцеобразно вокруг той части впадины, в которой сооружается нижний резервуар.

Способ размещения полых тел на основе озерного базирования.

По сравнению с размещением "морского яйца" в открытом и глубоком море монтаж полого шарового хранилища в сухом и затапливаемом карьере может осуществляться заметно менее накладно. Одна возможность заключается, например, в способе, включающем в себя один или несколько следующих этапов.

- (1) Устройство монтажных бассейнов 66 и подготовка строительного грунта.
  - (2) Устройство 1-го уровня "озерных яиц" преимущественно в виде сооружения на месте. Монтаж соединений к монтажным бассейнам 66. Подъезд к стройплощадке осуществляется, например, по еще незастроенной подошве. Следовательно, можно действовать, как при застройке нового района поселения.
  - (3) Затопление траншеи и полых тел водой.
  - (4) Дальнейшее затопление с перекрытием строительной установки, так что траншея превращается в "судоходный" водный путь.
  - (5) Устройство центральной стройплощадки для серийного производства полых тел в виде верфи на краю водного пути.
  - (6) Спуск полых тел, сделанных плавучими, при необходимости, за счет размещенных сбоку поплавков.
  - (7) Плавучие полые тела буксируются на место и там за счет управляемого впуска воды медленно и плавно опускаются так, чтобы они лежали в правильной ориентации в предусмотренных углублениях нижнего уровня.
  - (8) С повторением этапов (4)-(7) устраиваются второй, а затем другие этажи нижнего бассейна.
- Замечание к этапу (2): в качестве альтернативы этапу (2) уже самый нижний уровень полых тел можно было бы после подходящей подготовки строительного грунта разместить плавучим методом аналогично этапам (3)-(7).

Другое замечание: траншеею можно за счет земляных валов (и/или других подходящих мероприятий

устройства стройплощадки) разделить на два периода строительства. Для откачивания и заполнения в распоряжении имеются турбонасосные агрегаты уже смонтированных установок (см. выше).

Примечание к приведенным выше примерам расчетов: эту описанную здесь комбинацию из плавучей доставки на место и "сухой" гидравлической и электрической привязки мы рассматриваем по сравнению с соответствующими затратами при монтаже "морских яиц" в открытом море как незначительную. Поэтому мы не включили подсчитанные высокие монтажные расходы проекта StEnSea (см. выше) в нашу грубую оценку расходов.

Замечание к диаметру шаров: диаметр полого шара ограничен размерами верфи и ограничениями при транспортировке от верфи к месту причаливания. За счет описанного, основанного на водном базировании способа размещения полых тел со сменой с "мелкого" погружения после плавучей доставки на "сухую" электрическую (и, при необходимости, также гидравлическую) привязку представляется возможным строительство действительно больших шаров. В проекте StEnSea авторы уже отважились на 30-метровые шары, теперь же можно было бы быть, наверное, еще отважнее.

Большие и малые шары: тогда становится достойным обсуждения принять во внимание также конструкцию из шаров разных диаметров. Это представляет интерес, если у шаров с собственной компенсацией подъемной силы подходящие кристаллографические промежутки основной решетки из больших шаров заполнить малыми шарами. Это повышает плотность упаковки и приводит за счет этого к более высокому коэффициенту заполнения  $F_{\text{fill}}$  всего нижнего бассейна.

Способ получения энергии при заполнении озера.

В описанном выше способе поэтапного строительства ГАЭС большой мощности преимущественно используется инфраструктура, состоящая из временного верхнего бассейна 80, напорного трубопровода 86 и уже установленных, оснащенных турбонасосными агрегатами аккумулирующих единиц 83 в нижнем бассейне. Таким образом, уже имеются технические устройства, с помощью которых через имеющиеся турбины можно заставить течь питающую воду для заполнения рекультивированного озера. Простым путем было бы заполнение и опорожнение уже установленных аккумулирующих единиц "озерные яйца" в периодическом пакетном режиме, который может состоять из трех ступеней:

питательная вода направляется сначала во временный верхний бассейн 80,

оттуда она течет по напорному трубопроводу 86 в уже установленные единицы 83 "озерных яиц", а именно до тех пор, пока они не будут заполнены,

вода перекачивается из уже установленных нижних бассейнов 83 из "озерных яиц" в медленно поднимающееся только по мере заполнения озеро.

Если уже установлены несколько единиц "озерных яиц", то способ может протекать квазинепрерывно за счет того, что заполнение и откачка отдельных установок происходит со сдвигом по времени.

В случае если в распоряжении нет достаточно наземной питательной воды, и приходится прибегнуть к подземному отбору воды из Рейна, то ее можно качать вверх сначала до уровня входа напорных трубопроводов во временном верхнем бассейне 80. Может быть также целесообразным построить к уложенным открытым способом напорным трубам с самого начала приток на высоте уровня Рейна, а это около 60 м под последующим уровнем рекультивированного озера (см. выше). Можно было также с самого начала оформить временный верхний бассейн так, чтобы он имел в соответствующем месте необходимую глубину.

Два замечания к строительству и шадящей эксплуатации аккумулирующих шаров.

Никакой сжимающей нагрузки с силовым замыканием: полые шары рассчитаны, в частности, на действующее снаружи давление водяного столба (последующего) озера. Теоретически возможное через напорную трубу во временном режиме аналогичное внутреннее давление возникнуть не может, если, как предусмотрено, полый шар эксплуатируется без заключенной воздушной подушки, а при заполнении водой впускной клапан турбины закрывается почти перед 100%-ным заполнением; тогда в шаре господствует всегда только давление локального количества воды, и отсутствует удар давления. Следовательно, во временном режиме полый шар не нагружается, в частности, на растяжение (изнутри наружу) некомпенсированным давлением воды из трубопровода, а действует гидравлически, скорее, как открытый бассейн.

Также в последующем озерном режиме остается обеспеченным, что внутри шара отсутствует напорное соединение с силовым замыканием с глубинной водой и давление на полый шар не изменяется длительно между глубинным давлением и выравниванием давления (усталость за счет циклической нагрузки от давления). В опытном режиме можно за счет предохранительного клапана обеспечить корректные действия.

Замечание к продолжающейся 3D-печати оболочки полого шара: будут приложены усилия, чтобы наладить массовое производство полых шаров как можно более рентабельно, так что, в конце концов, действительно имеют значение только затраты на бетон. Толщина стенок полых шаров необычно велика, например 2-3 м, и это открывает возможность за счет применения способов 3D-печати, при необходимости, обойтись без внешней опалубки. Для этого представим себе, что во время поэтапного строительства полого шара сначала на внутренних и внешних краях плоской поверхности сечения оболочки шара с помощью подходящего бетона или прочего материала изготавливается соответственно опалубочный борт,

который затем после твердения заливается конструкционным бетоном. Таким образом, было бы возможно с управлением от компьютера слой за слоем напечатать или отлить весь полый шар.

Вариант с аккумулялирующими трубами

Со ссылкой на фиг. 14-17 расположенные во впадине 100 ресиверы 3 могут быть выполнены также в виде трубчатых ресиверов 30 (аккумулялирующие трубчатые элементы). В изображенном примере выполненные трубчатыми ресиверы 30 имеет круговое сечение и расположены во впадине вертикально рядом друг с другом таким образом, что они образуют одну плоскость, в которой ресиверы 30 расположены в самой плотной упаковке (фиг. 17). Другие плоскости в этом примере не предусмотрены. Ресиверы 30 напорными трубопроводами 6 соединены с общими турбонасосными агрегатами 77, которые (через вентиль 78) соединены с соединительными трубами 44', 44, ведущими к озеру.

Как показано, соединительные трубы 44 (водопроводящие трубы от верхнего озера к турбине) могут быть расположены вертикально и между ресиверами 30. Вертикальные соединительные трубы 44 к озеру могут, в свою очередь, через горизонтальные соединительные трубы 44', проходящие, при необходимости, в грунте, вести к турбонасосным агрегатам 77. Как видно на фиг. 15 и 16, турбонасосные агрегаты могут быть расположены соответственно в выполненной с возможностью хождения и/или проезда снабжающей шахте 67 под грунтом 110. Для этого может быть предусмотрено бетонное основание 68, в котором проходит снабжающая шахта 67 или же проходят несколько таких шахт 67 (основание с турбинами, вентилями, кабелями и т.д.).

На фиг. 17 изображен вид сверху на трубчатые ресиверы 30 и расположенные между ними соединительные трубы 44 к озеру, где хорошо видно расположение в самой плотной упаковке. Несколько, в частности соседних, вертикально расположенных ресиверов эксплуатируются через общий турбонасосный агрегат 77 в виде ресиверной группы. В данном примере ресиверы 30' образуют группу, ресиверы 30" - группу и ресиверы 30''' - группу, которые эксплуатируются соответственно через общий турбонасосный агрегат 77 и соединены с озером общей соединительной трубой 44.

Конкретно в данном примере для снабжения девяти аккумулялирующих труб 30', 30'', 30''' предусмотрен один турбонасосный блок. Каждая аккумулялирующая труба имеет высоту  $h$  около 300 м, наружный диаметр 30 м и внутренний диаметр 25 м.

Из этого следует такая примерная оценка: внутренний объем  $\pi \cdot r^2 \cdot h = 3,14 \cdot 12,5^2 \cdot 300 \text{ м}^3 = 147,187 \text{ м}^3$ ; объем на каждый турбинный блок  $9 \cdot 147,187 \text{ м}^3 = 1320000 \text{ м}^3$ .

При глубине 1000 м аккумулялированная энергия на каждый турбинный блок составляет около  $2,0 \cdot 9 \cdot 147,187 \text{ м}^3 = 2600000 \text{ кВтч}$ ; мощность турбины 200 кВт, т.е. этот блок может давать 200 кВт мощности в течение примерно 13 ч. Поскольку при глубине 800 м  $1 \text{ м}^3$  дает в секунду 2,0 кВт, вырабатывается 200 кВт мощности, если через турбину протекает  $100 \text{ м}^3$  в секунду.

600 турбин по 200 кВт могут, тем самым, давать 120 ГВт мощности в течение 13 ч, т.е. одна такая установка может снабжать всю Германию электричеством одни полные сутки. Количество воды в секунду составило бы тогда  $60000 \text{ м}^3$ . Если площадь затопленного озера  $40 \text{ км}^2$ , то поверхность воды озера опускается примерно на 1 мм в секунду или на 50 м в сутки.

Некоторые преимущества изобретения.

В зависимости от варианта могут возникнуть некоторые или несколько следующих преимуществ.

Преимущества величины и глубины:

за счет ее имеющейся в распоряжении (мощной) инфраструктуры карьера текущая эксплуатация в принципиально таком же режиме может быть переключена на достижение другой цели; поэтому возникают одноразово оптимальные затраты на сооружение пустого пространства, которое позднее может быть застроено полыми структурами в целях аккумулялирования.

Поэтому для ГАЭС стоит изготовить необычно большие аккумулялирующие емкости и разности высот.

За счет большей глубины "нижнего бассейна" уменьшается подъем уровня на МВтч аккумулялированной энергии.

Конструктивные и эксплуатационные преимущества:

за счет использования одинаковых элементарных основных ячеек могут быть использованы преимущества массового производства.

Края траншеи укрепляются за счет заполнения полыми шарами, так что достигаются крутой угол откосов и потому широкая траншея.

Очень компактная установка с высоким коэффициентом заполнения и потому малой потерей высоты.

Свободный проход к турбонасосным агрегатам для обслуживания, ремонта и замены.

По сравнению со строительством в имеющемся внутриматериковом озере или на морском дне первый ряд может быть уложен "всухую", причем предварительно можно, при необходимости, создать ровное основание. Это было бы почти невозможно в случае полых шаров на морском дне.

Безопасность и "терпимость к дефектам".

Вызванное при эксплуатации течение большой площади от нижнего бассейна к верхнему бассейну,

которые питаются из многих децентрализованных впусков и выпусков, обеспечивает низкие скорости даже в зоне притекающей и стекающей воды. Кроме того, воронкообразный канал к устьям обеспечивает успокоение течения.

Надежное ограничение повреждений при "worst case szenario": в аваркическом случае при разрушении откачанного шара обрушивающийся объем на полость шара остается ограниченным (т.е. в рабочем озере не может возникнуть "цунами").

"Терпимость к дефектам": в случае неплотностей затронута соответственно только одна малая изолированная часть всей "целлюлярной" аккумулирующей установки, так что в худшем случае эта часть просто выходит из строя, и от нее можно отказаться, не нарушая работы остальной установки.

Преимущества строительства.

Часть ГАСЭ-установки может быть построена и протестирована уже параллельно с "затухающей" добычей угля временным образом в качестве временного сооружения. Эта часть даже при заполнении озера может использоваться для производства тока из потенциальной энергии питательной воды.

Временный монтаж может использоваться при первом заполнении озера для получения энергии.

За счет основанного на озерном базировании размещения полых тел и "сухого" электрического и гидравлического включения во всю установку возникает сравнительно простой и недорогой монтаж, даже в случае больших аккумулирующих тел.

Экологические и социальные преимущества.

Количество воды в озере остается неизменным, поэтому и масса озера остается постоянной.

Длительный срок службы: поскольку в случае шаров они нагружаются, в основном, на сжатие, и даже при эксплуатации возникает лишь очень малая динамическая нагрузка, можно, при необходимости, отказаться от армирования бетона. За счет этого срок службы (отсутствие коррозии стальной арматуры) может быть увеличен до сотен или тысяч лет (древнеримские постройки), так что вкладываются длительные инвестиции в будущее энергоснабжение, от которых выиграет много поколений.

Несмотря на огромную емкость хранилищ, сохраняется запрос на рекультивацию и использование досуга.

Строительство и частичный пуск в эксплуатацию этой ГАЭС могут осуществляться параллельно с "затухающим" использованием (добыча бурого угля, например, до 2038 г.), так что не происходит никакого сокращения (или лишь очень незначительное сокращение) прежних рабочих мест.

Перспектива: "рудник с полостями" только в целях строительства ГАЭС.

В Рейнском буроугольном бассейне и, в частности, в карьере Хамбах в распоряжении уже имеется огромная впадина; для устройства ГАЭС большой мощности большая часть экскавации происходит уже при постановке иной задачи, причем эту большую дыру мы можем еще больше расширить и углубить.

Также в случае подземной ГАЭС сначала смотрят на переориентацию и приспособливание имеющихся рудников "затухающей" добычи каменного угля, хотя там уже ставился вопрос, не проще ли было бы построить новые и очень большие подземные хранилища исключительно в соответствии с требованиями эксплуатации ГАЭС (/LuSchmB Bergei2/).

Следовательно, мы задаем себе вопрос, нельзя ли построить ГАЭС-установки большой мощности также независимо от "затухающей" добычи бурого угля непосредственно "на зеленом лугу" (или "на желтом песке пустыни") от верхней кромки. На это также следует обратить внимание, если в подходящем окружении желательна где-нибудь в мире устроить глубокое озеро зарекомендовавшими себя методами добычи открытым способом в качестве комбинированного верхнего и нижнего бассейна для ГАЭС большой мощности.

Этот вопрос представляет собой особый интерес для засушливых и солнечных мест, например в Северной Африке. Там вопрос с временным аккумулированием ФВ-тока решается проще, чем у нас в зонах умеренного климата. Из-за большой равномерности солнечного излучения можно для сглаживания суточных пиков нагрузки и перекрытия ночных часов исходить из высокой потребности в краткосрочных аккумуляторах, которые при подходящем расчете обеспечивают в значительной степени предсказуемую, почти ежедневную нагрузку. Bieringer смог показать, что в Марокко при основанном в будущем в значительной степени на ФВ снабжении током и временно постоянном спросе даже большие краткосрочные аккумуляторы аккумулированной емкостью 13 ч полной нагрузки можно прийти на число циклов полной нагрузки около 300/год и более (/Bieringer 2019/). Это почти вдвое больше, чем можно рассчитывать с той же моделью краткосрочных аккумуляторов в Германии. Однако это значит, что при той же цене тока затраты на аккумулированные киловаттчасы могут быть вдвое выше.

Если еще раз вспомнить структуру расходов на аккумулирующие шары StEnSea (см. выше "Подземные и подводные ГАЭС") и рассуждения в главе "Экономический потенциал на 1 м<sup>3</sup> полезной полости", то для ГАЭС большой мощности в карьере глубиной около 500 м возникают следующие затраты на 1 м<sup>3</sup> полезной дыры в м<sup>3</sup><sub>hohl</sub>, причем привлекаются затраты на бетон из ур.(45) и использованный объемный коэффициент из ур.(44):

(поз. 1): затраты на бетон (включая опалубку и т.д.): около 165 евро/м<sup>3</sup><sub>hohl</sub> (= 0,728 · 225),

(поз. 2): сооружение полезной дыры: около 20 евро/м<sup>3</sup><sub>hohl</sub>.

Всего затраты составляют, следовательно, 185 евро/м<sup>3</sup><sub>hohl</sub> на нижний бассейн высотой 100 м с ос-

нованием на глубине 500 м.

Теперь мы должны отдельно составить и добавить стоимость карьерных работ на глубине 400 м. Для  $1 \text{ м}^3_{\text{hohl}}$  полезной дыры нам на полезной глубине потребовалась брутто-дыра площадью  $2 \text{ м}^2$  и высотой 1 м. Для рассматриваемого нижнего бассейна высотой 100 м нам требуется, следовательно, для  $100 \text{ м}^3$  полезной дыры площадь основания также  $2 \text{ м}^2$ , и для этого нужно, начиная с верхней кромки, экскавировать непосредственный объем  $2 \cdot 400 = 800 \text{ м}^3$ . К этому добавляется еще экскавация для откоса, на которое мы кладем совокупно 25%, так что весь экскавируемый объем составит  $1000 \text{ м}^3$ . Следовательно, в расчете на единый аккумулирующий объем  $1 \text{ м}^3_{\text{hohl}}$  дополнительно следует экскавировать  $10 \text{ м}^3$  брутто-дыры.

Выше мы указывали, что на  $1 \text{ м}^3$  добытого бурого угля, в целом (т.е. на различных высотах карьера), создается средняя общая дыра в  $6 \text{ м}^3$ . При цене бурого угля  $17,5 \text{ евро/м}^3$  следует учесть около  $3 \text{ евро/м}^3$  на экскавацию, что в расчете на единую полезную дыру означает  $30 \text{ евро/м}^3_{\text{hohl}}$ .

Следовательно, приведенную смету мы может дополнить 3-й позицией. Для строительства сопоставимой ГАЭС большой мощности (подшова 500 м, нижний бассейн высотой 100 м) "на зеленом лугу" добавляется:

(поз. 3): дополнительная экскавация покрывающего слоя:  $30 \text{ евро/м}^3_{\text{hohl}}$ .

Расходы на турбонасосный агрегат и электрическую установку оцениваются в проекте StEnSea в  $525 \text{ евро/кВт}$ . При плотности аккумулирования около  $1 \text{ кВтч/м}^3_{\text{hohl}}$  (соответствует разности высот около 400 м) и времени аккумулирования/отбора около 5 ч в обоих случаях добавляются следующие электрозатраты:

(поз. 4): турбонасосный агрегат + электро:  $105 \text{ евро/м}^3_{\text{hohl}}$  при времени переключения 5 ч.

Выводы.

Дополнительные расходы на строительство глубокой ГАЭС большой мощности "на зеленом лугу", а не на подошве заброшенного буроугольного карьера, относительно малы; в нашем грубо рассчитанном примере это около 15%.

Глубокая ГАЭС большой мощности при благоприятной загрузке, как этого следует ожидать в солнечных областях при ФВ в качестве источника тока, и в благоприятных для карьера геологических условиях местности (сопоставимо благоприятно, как в буроугольном карьере) может быть благоприятно построена также "на желтом песке".

Приведенный расчет подчеркивает значение высоты нижнего бассейна, на которую можно переложить экскавацию покрывающих слоев.

При применении в засушливых и полузасушливых областях испарение из аккумулирующего озера можно уменьшить за счет плавающего покрытия, если в распоряжении нет водоема для пополнения.

#### Список литературы

- /Baufume e.a.-2011/  
 Baufume, Sylvestre; Bongartz, Richard und Peter Markewitzr: STE-Research Report 08/2011, „Unterflur-Pumpspeicher- Eine Kurzsynopse“, (2011) Forschungszentrum Jülich, Systems Analysis and Technology Evaluation (IEK-STE)  
[http://www.fz-iuelich.de/SharedDocs/Downloads/IEK/IEK-STE/EN/report\\_08\\_2011.pdf?blob=publicationFile](http://www.fz-iuelich.de/SharedDocs/Downloads/IEK/IEK-STE/EN/report_08_2011.pdf?blob=publicationFile)  
 /Bieringer 2019/  
 Kevin R. Bieringer (2019): „Grobe Modellierung einer solaren Stromerzeugung in Nordafrika mit Kopplung zur deutschen Stromversorgung; Staatsarbeit für das Lehrfach Physik, Universität des Saarlandes, Experimentalphysik, Forschungsstelle Zukunftsenergie, Saarbrücken 2019/; verfügbar über <http://www.fze.uni-saarland.de/Speicher.htm>  
 /BMW 2017/  
 Bundesministerium für Wirtschaft 2017: „Pumpspeicherkonzept StEnSEA -

## Kugelpumpspeicher unter Wasser“

Projektseite: [https://forschung-energiespeicher.info/projektschau/gesamtliste/projekt-einzelansicht/95/Kugelpumpspeicher\\_unter\\_Wasser](https://forschung-energiespeicher.info/projektschau/gesamtliste/projekt-einzelansicht/95/Kugelpumpspeicher_unter_Wasser)

Bildquelle: Konzeptüberblick© HOCHTIEF Solutions

/Düren2017/

Düren, M. (2017). Understanding the Bigger energy Picture - DESERTEC and Beyond, Springer Briefs in Energy. Springer, doi: <https://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-57966-5>

/Garg e.a. 2012/

A. Garg, C. Lay und R. Füllmann: „STENSEA, Stored Energy in the Sea - the Feasibility of an Underwater Pumped Hydro Storage System; 7. IRES - Conference, 12. November 2012, Vortrag C2, S. 477ff. der Proceedings. Erhältlich bei IRES:

[https://www.eurosolar.de/en/images/EVENTS/IRES/IRES2012/Proceedings\\_ES2012.pdf](https://www.eurosolar.de/en/images/EVENTS/IRES/IRES2012/Proceedings_ES2012.pdf)  
<https://www.eurosolar.de/en/index.php/events/ires-conference-eurosolar>

/Küffner FAZ 2011.0401/

Küffner, G.: „Hohlkugeln speichern überflüssigen Windstrom“; FAZ vom 1.4.2011, Seite T2 <https://www.faz.net/aktuell/technik-motor/technik/in-der-tiefe-der-meere-hohlkugeln-speichern-ueberschuessigen-windstrom-1608012.html>

/Greenpeace 2018/

Greenpeace: „WAS BRAUNKOHLESTROM WIRKLICH KOSTET“

<http://www.foes.de/pdf/2018-06-25-GPE-Studie-Braunkohle.pdf>

/AKE2014F/

Luther, G., & Schmidt-Böcking, H. (2014): „Das Zusammenwirken von PSKW - artigen und P2G - artigen Energiespeichern und die mögliche Rolle von Tiefschachtspeichern bei der Energiewende“;

[http://www.fze.uni-saarland.de/AKE\\_Archiv/AKE2014F/Links\\_AKE2014F.htm](http://www.fze.uni-saarland.de/AKE_Archiv/AKE2014F/Links_AKE2014F.htm).

#Vortrag AKE2014F\_06;

oder direkt: [http://www.fze.uni-saarland.de/AKE\\_Archiv/AKE2014F/Links\\_AKE2014F.htm/Vortraqe/AKE2014F\\_06LutherSchmB\\_Bergwerksspeicher.pptx](http://www.fze.uni-saarland.de/AKE_Archiv/AKE2014F/Links_AKE2014F.htm/Vortraqe/AKE2014F_06LutherSchmB_Bergwerksspeicher.pptx)

/LuSchmB 2011 -Bergei1/

Luther, G. und Schmidt-Böcking, H. (2011). „Schacht Pumpspeicherkraftwerk“,

DE 10 2011 105 307

verfügbar über: <http://www.fze.uni-saarland.de/Speicher.htm>

/LuSchmB 2013 -Bergei2/

Luther,G. und Schmidt-Böcking, H.: „Tiefschacht-Pumpspeicherkraftwerk“;

Patent DE 10 2013 019776 B3

- verfügbar über: <http://www.fze.uni-saarland.de/Speicher.htm>  
/LuSchmB 2014 -LangeSaar/  
Luther, G. und Schmidt-Böcking, H. (2014). „Verfahren zur Nutzung staugeregelter Fließgewässer als Oberbecken für ein Pumpspeicherkraftwerk unter Tage“;  
DE 10 2014 007 184.7.  
verfügbar über: <http://www.fze.uni-saarland.de/Speicher.htm>  
/LuSchmB 2014/  
Luther, G. und Schmidt-Böcking, H. (2014). Pumpspeicherkraftwerke - Unsichtbare Speicher für die Energiewende. ew-Spezial(III), S. 22-24.  
verfügbar über: <http://www.fze.uni-saarland.de/Speicher.htm>  
/Lu2016/  
Luther, G. (2016). Wärmepumpe oder KWK - was passt zur Wärmewende. In H. Bruhns (Hrsg.), Energie - Forschung und Perspektiven. Vorträge auf der DPG-Frühjahrstagung Regensburg 2016, (S. 123-139). Bad Honnef; ISBN 978-3-9818197-0-0  
verfügbar über: <http://www.fze.uni-saarland.de/Speicher.htm>  
/DE\_Meerei1/  
Schmidt-Böcking, H. und Luther, G. (2011): „Pumpspeicherkraftwerk“; EP 2 683 933 B1, DE2011.013 329  
verfügbar über: <http://www.fze.uni-saarland.de/Speicher.htm>  
/DE\_Meerei2/  
Schmidt-Böcking, H. und Luther, G. (2011): „Pumpspeicherkraftwerk“; DE2011.118 206  
verfügbar über: <http://www.fze.uni-saarland.de/Speicher.htm>  
/Perau-Korn2013/  
Perau, E. und Korn, S. (2013): „Geotechnische Fragestellungen beim Bau von Untertage-Pumpspeicherwerken im rheinischen Braunkohle-Tagebau“; S. 135-146 aus/Ruhr-Uni 2013/  
/Reuther 2010/  
Reuther, Ernst Ulrich: „Lehrbuch der Bergbaukunde“, 12. Auflage, 2010, VGE -Verlag, Essen, ISBN=978-3-86797-0760-1; hier Seite 532, Bild 351.  
/Ruhr Uni 2013/  
Ruhr Uni: Perau e.a.: Report Geotechnik 40, (2013), „Untertage-Pumpspeicherwerke in Anlagen des Berg- und Tagebaus“; Universität Duisburg-Essen, VGE Verlag, Essen 2013; ISBN: 978-3-86797-155-3  
Insbesondere dort p. 148-165 (/Sanio-Mark 2013/) und p. 135-46 (/Perau -Korn2013/)  
/Sanio-Mark 2013/

David Sanio und Peter Mark: „Entwurf und Optimierung von Betonkonstruktionen für Pumpspeicherwerke in ehemaligen Braunkohletagebauen“, Seite 148 -165 aus /Ruhr-Uni 2013/  
/Schmidt 2019/

Schmidt, Michael: Internet homepage: „Chemie verstehen“ ; <https://www.cumschmidt.de>  
Die hexagonal-dichteste Kugelpackung: [https://www.cumschmidt.de/s\\_styp\\_hdp.htm](https://www.cumschmidt.de/s_styp_hdp.htm)

Die kubisch-dichteste Kugelpackung: [https://www.cumschmidt.de/s\\_styp\\_kdp.htm](https://www.cumschmidt.de/s_styp_kdp.htm)  
(abgerufen am 1.3.2019)

/Sinn 2013/

Sinn, H.-W. (2013). Energiewende ins Nichts. Vortrag am 16.12.2013 in der LMU München. Abrufbar von: [www.cesifo-group.de/de/ifoHome/events/individual-events/Archive/2013/vortrag-sinn-lmu-20131216.html](http://www.cesifo-group.de/de/ifoHome/events/individual-events/Archive/2013/vortrag-sinn-lmu-20131216.html)

/Schreiber e.a. 2010/

U. Schreiber, E. Perau, A. Niemann und H.-J. Wagner: „Unterflur-Pumpspeicherwerke - Konzepte für regionale Speicher regenerativer Energien“

<https://www.uni->

[due.de/imperia/md/content/qeotechnik/forschung/upw\\_unterflur\\_pumpspeicherwerke\\_forschungss\\_kizze.pdf](https://www.uni-due.de/imperia/md/content/qeotechnik/forschung/upw_unterflur_pumpspeicherwerke_forschungss_kizze.pdf)

/Schulz 2009/

Schulz, Detlev: „Speicherpotenziale von Pumpspeicherwerken in Tagebaurestlöchern ehemaliger Braunkohlereviere“; Folie 8; Vortrag auf Forum Netzintegration, Deutsche Umwelthilfe, Berlin,

30.09.2009; Folien online verfügbar:

[http://www.forum-netzintegration.de/uploads/media/DUH\\_Schulz\\_300909\\_01.pdf](http://www.forum-netzintegration.de/uploads/media/DUH_Schulz_300909_01.pdf)

/Slocum 2010/

Slocum, Alexander; Greenlee, Alison und Gregory Fenneil: “OFFSHORE ENERGY HARVESTING, STORAGE, AND POWER GENERATION SYSTEM“; US Patent 8,698,338 Homepage zum Patent: <https://tlo.mit.edu/technologies/offshore-energy-harvesting-storage-and-power-generation-system>

/Slocum 2012/

Alexander Slocum, G. Dundar, B. Hodder, J. Meredith, Elie H. Homsy, A. Garg, C. Lay, H. Schmidt-Böcking und G. Luther: “Large Scale Manufacturing and Deployment of Offshore Renewable Energy Harvesting and Storage System”

Proc. of the 12th International euspen Conference, Stockholm Juni 2012;

/Slocum 2013/

Alexander H. Slocum, Gregory E. Fenneil, Gökhan Dünder, Brian G. Hodder, James D.

C. Meredith, and Monique A. Säger: Ocean Renewable Energy Storage (ORES) - System Analysis of an Undersea Energy Storage Concept 20 Proceedings of the IEEE, Vol. 101, No. 4, April 2013, p. 906-924

/Siol 1995/

Siol, Ursula: „Pumpspeicherwerk“, DE19513817 B4

/StEnSea/

Fraunhofer Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (IEE): Homepage des Forschungsprojektes „Stored energy in the Sea (StEnSea)“

<https://www.iee.fraunhofer.de/de/projekte/suche/laufende/stensea-storing-energy-at-sea.html>

/Stenzei e.a. 2012/

Peter Stenzei, Sylvestre Baufume, Richard Bongartz, Jochen Linssen, Peter Markewitz und Jürgen-Friedrich Hake: STE-Research Report 03/2012: „Unkonventionelle Energiespeicher“

[https://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Downloads/IEK/IEK-](https://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Downloads/IEK/IEK-STE/DE/Publikationen/research-reports/2012/report-03-2012.pdf?blob_publicationFile)

[STE/DE/Publikationen/research-reports/2012/report-03-2012.pdf?blob\\_publicationFile](https://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Downloads/IEK/IEK-STE/DE/Publikationen/research-reports/2012/report-03-2012.pdf?blob_publicationFile)

/Thema 2019/

Johannes Thema und Martin Thema: „PSKW in stillgelegten Tagebauen -am Beispiel Hambach- Garzweiler-Inden“; Wuppertal Paper 194 (2019); ISSN 0949-5266; Wuppertal, 2.

Auflage März 2019. verfügbar über: <https://wupperinst.Org/a/wi/a/s/ad/4612/>

/Wikipedia, ## Kaftwerk Niederaußem/

Wikipedia (abgerufen am 1.4.2019)

[http://www.wikiwand.com/de/Kraftwerk\\_Niederaußem](http://www.wikiwand.com/de/Kraftwerk_Niederaußem)

/Wikipedia, ## Tagebau Hambach/

Wikipedia (aufgerufen am 1.3. 2019)

[https://www.wikiwand.com/de/Tagebau\\_Hambach](https://www.wikiwand.com/de/Tagebau_Hambach)

Перечень ссылочных позиций.

0 - озерная вода,

1 - дно,

2 - промежуток между ресиверами,

22 - "заполненное" проходное пространство,

24 - "открытое" или проходное пространство "свободной воды",

27 - слепая шахта,

3 - ресивер,

30 - трубчатый ресивер,

4 - "геометрическая узкая шахта в свету",

44 - соединительная труба к озеру,

5 - шахта,

6 - соединительная труба, соединительный трубный блок,

61 - соединительная труба от ресивера к ресиверу,

66 - соединительный уровень,

67 - штрек с возможностью хождения/проезда,

68 - бетонное основание,

7 - турбонасосный агрегат,

77 - общий турбонасосный агрегат,

78 - вентиль,

80 - временный верхний резервуар,

83 - частично сооруженный нижний резервуар,

84 - плотина,

86 - напорный трубопровод,

90 - наполнитель,

100 - впадина в земле,

110 - грунт впадины,

120 - стенка впадины,

200 - нижний резервуар,

300 - верхний резервуар.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ строительства нижнего резервуара (200) для подводной гидроаккумулирующей электростанции (ГАЭС) в осушенной, однако выполненной с возможностью затопления впадине (100) земли, причем нижний резервуар состоит из множества ресиверов (3), которые располагают в осушенной впадине (100) рядом друг с другом и/или друг над другом, или строят на месте,

причем каждый из ресиверов (3) выполнен в виде полого хранилища и имеет соответственно, по меньшей мере, одно проточное отверстие для впуска и/или выпуска воды, причем ресиверы (3) прочны на сжатие и формоустойчивы при их опорожнении откачкой.

2. Способ по п.1,

причем множество ресиверов (3) оснащают одной или несколькими турбинами, насосами и/или турбонасосными агрегатами (7), так что, когда сухая впадина (100) затоплена водой, подводную ГАЭС эксплуатируют таким образом, что электрическую энергию получают, когда воду из затопленной впадины (100) впускают в ресиверы (3), и электрическую энергию аккумулируют, когда воду выпускают из ресиверов (3) в затопленную впадину (100), и

причем из множества ресиверов (3) отдельные выполняют в качестве самостоятельных ресиверов (3), за счет того, что эти ресиверы (3) соответственно через свое, по меньшей мере, одно проточное отверстие оснащают собственной турбиной, насосом и/или турбонасосным агрегатом (7) и/или

причем из множества ресиверов (3) несколько выполняют в виде ресиверной группы за счет того, что эти ресиверы (3) через, по меньшей мере, один напорный трубопровод (86) или несколько напорных трубопроводов (86) между соответствующими ресиверами (3) соединяют между собой и оснащают одной общей турбиной, насосом и/или турбонасосным агрегатом (7) и

причем преимущественно несколько ресиверов (3) устраивают в виде ресиверной группы.

3. Способ по п.1 или 2,

причем множество ресиверов (3) включает в себя, по меньшей мере, 100 ресиверов (3), преимущественно, по меньшей мере, 1000 ресиверов (3), еще предпочтительнее, по меньшей мере, 10000 ресиверов (3) и/или

причем ресиверы (3) имеют соответственно объем менее  $600000 \text{ м}^3$ , преимущественно менее  $100000 \text{ м}^3$ , особенно предпочтительно менее  $15000 \text{ м}^3$ .

4. Способ по любому из пп.1-3,

причем, по меньшей мере, некоторые из ресиверов (3) имеют форму, которая по объему заполняет минимально возможный полый шар, по меньшей мере, на 25%, преимущественно, по меньшей мере, на 50%, особенно предпочтительно, по меньшей мере, на 75%, и/или

причем, по меньшей мере, некоторые из ресиверов (3) выполнены, в частности, в форме прочного на сжатие шара, яйца, эллипсоида или полиэдра и/или

причем, по меньшей мере, некоторые из ресиверов (3) имеют соответственно толщину стенок 5-15%, преимущественно 7,5-12,5% эквивалентного диаметра шара аккумулирующего объема.

5. Способ по любому из пп.1-4,

причем множество ресиверов (3) располагают в сухой впадине, например на нижней подошве карьера, равномерно рядом друг с другом и/или друг над другом и/или

причем множество ресиверов (3) располагают в сухой впадине таким образом, что образуют лежащий непосредственно на грунте (110) нижний ряд ресиверов (3) с их равномерным расположением, который подходит преимущественно в качестве основания для вышележащего второго ряда ресиверов (3) с их равномерным расположением таким образом, что ресиверы (3) второго ряда могут быть устойчиво расположены в углублениях нижележащего ряда ресиверов (3), и

причем на лежащем на грунте (110) нижнем ряде ресиверов (3) располагают второй ряд ресиверов (3), а на нем особенно предпочтительно - третий ряд ресиверов (3), а на нем, при необходимости, - еще дополнительные ряды ресиверов (3), причем ряды ресиверов (3) подходят соответственно преимущественно в качестве основания для соответственно вышележащего ряда ресиверов (3).

6. Способ по любому из пп.1-5,

причем множество ресиверов (3) располагают в сухой впадине (100) рядом друг с другом и/или друг над другом таким образом, в частности таким образом в виде нижнего, второго и третьего рядов, что между ресиверами (3) остаются свободные пространства (2), проходящие сверху, преимущественно прямолинейно и/или вертикально сверху, до грунта (110), в частности через все ряды, и преимущественно таким образом, что свободные пространства (2) возникают с определяемой расположением ресиверов (3) равномерностью, и/или

причем одно или несколько оставшихся между ресиверами (3) свободных пространств (2) выполняют в виде сквозных вверх, при необходимости, выступающих вверх шахт (5).

7. Способ по любому из пп.1-6,

причем, по меньшей мере, некоторые из ресиверов (3) располагают в соответствии со структурой самой плотной упаковки в двух измерениях, например, за счет того, что продолговатые или трубчатые ресиверы (30) располагают в сечении в соответствии со структурой самой плотной упаковки, или причем

ресиверы (3) располагают в соответствии со структурой самой плотной упаковки шаров в трех измерениях и/или

причем множество ресиверов (3) располагают в соответствии со структурой самой плотной, в частности гексагонально самой плотной, упаковки шаров, преимущественно за счет того, что ресиверы (3) нижнего и, при необходимости, второго рядов располагают в соответствии со структурой самой плотной упаковки шаров, а, при необходимости, ресиверы (3) третьего ряда - в соответствии со структурой гексагонально самой плотной упаковки шаров.

8. Способ по любому из пп.1-7,

причем выполняемый или выполненный самостоятельным ресивер (3) располагают или обрабатывают таким образом, что одно проточное отверстие для впуска воды в ресивер (3) и/или ее выпуска из него расположено внизу или сбоку внизу на ресивере (3), преимущественно таким образом, что проточное отверстие внутри ресивера (3) доходит до самой низкой точки, и/или

причем несколько выполняемых или выполненных в виде ресиверной группы ресиверов (3) располагают или обрабатывают таким образом, что, по меньшей мере, одно проточное отверстие одного или преимущественно каждого ресивера (3) группы расположено внизу или сбоку внизу на ресивере (3), в частности таким образом, что проточное отверстие внутри ресивера доходит до самой низкой точки, и причем преимущественно два расположенных друг над другом ресивера соединяют между собой напорными трубопроводами (86) между расположенным внизу или сбоку внизу проточным отверстием расположенного дальше вверх ресивера (3) и проточным отверстием расположенного дальше вниз ресивера (3).

9. Способ по любому из пп.1-8,

причем собственную турбину, насос и/или турбонасосный агрегат (7) самостоятельного ресивера (3) соединяют с его проточным отверстием таким образом и/или располагают в образованном между ресиверами (3) свободном пространстве (2) таким образом, что, когда сухая впадина (100) затоплена водой, вода, которую впускают в ресивер (3), втекает через свободное пространство (2) преимущественно сверху, особенно предпочтительно прямолинейно и/или вертикально сверху, и/или вода, которую выпускают из ресивера, вытекает через свободное пространство (2) преимущественно вверх, особенно предпочтительно прямолинейно и/или вертикально вверх, и/или

причем одну общую турбину, насос и/или турбонасосный агрегат (7) ресиверной группы соединяют с проточным отверстием ресивера (3) или с соединяющим ресиверы (3) напорным трубопроводом (86) таким образом и/или располагают в образованном между ресиверами (3) свободном пространстве (2) таким образом, что, когда сухая впадина (100) затоплена водой, вода, которую впускают в ресиверную группу, втекает через свободное пространство (2) преимущественно сверху, особенно предпочтительно прямолинейно и/или вертикально сверху, и/или вода, которую выпускают из ресивера (3), вытекает через свободное пространство (2) преимущественно вверх, особенно предпочтительно прямолинейно и/или вертикально вверх, причем общую турбину, насос и/или турбонасосный агрегат (7) располагают преимущественно на грунте (110) или углубленно в грунте (110).

10. Способ по любому из пп.1-9,

причем, по меньшей мере, некоторые из ресиверов (3), в частности ресиверы (3) нижнего ряда, располагают в сухой впадине (100), например на нижней подошве карьера, таким образом, что соседние ресиверы (3) опираются друг на друга сбоку и/или крайние ресиверы (3) опираются преимущественно сбоку на стенку или часть сухой впадины (100), и/или

причем в сухой впадине (100), в частности карьере, изготавливают стенки и/или ограниченную стенками траншею, в частности таким образом, что ресиверы (3) опираются друг на друга сбоку, причем стенки и/или траншею изготавливают, в частности, с помощью имеющихся на месте карьерных машин.

11. Способ по любому из пп.1-10,

причем, по меньшей мере, некоторые из ресиверов (3) имеют массу, которая больше или, по меньшей мере, незначительно меньше массы вытесненной ресивером (3) воды, когда сухая впадина (100) затоплена водой, так что ресиверы (3) без утяжеления или анкеровки или, по меньшей мере, без значительного утяжеления или анкеровки остаются внизу в затопленной впадине (100), и/или

причем, по меньшей мере, некоторые из ресиверов (3), в частности ресиверы (3) нижнего ряда, фиксируют или анкеруют на грунте (110) и/или

причем, по меньшей мере, некоторые из ресиверов (3), в частности ресиверы (3) верхнего ряда, утяжеляют балластом, в частности экскавированным из впадины (100) материалом.

12. Способ по любому из пп.1-11,

причем оставшиеся между ресиверами (3) свободные пространства (2), которые не служат для прохода к турбинам, насосам и/или турбонасосным агрегатам (7), засыпают экскавированным материалом или заливают строительным материалом и/или

причем множество ресиверов (3) выполняют в виде совокупности ресиверов (3) за счет того, что эти ресиверы (3) сообщают между собой через соответствующие проточные отверстия и закрывают наружу общей опалубкой, причем общая опалубка имеет, по меньшей мере, одно открытое наружу проточное отверстие, чтобы совокупность ресиверов (3) можно было оснастить одной общей турбиной, насосом

и/или турбонасосным агрегатом (7).

13. Способ по любому из пп.1-12,

причем сухую впадину (100), в частности закрытый или, по меньшей мере, частично еще эксплуатируемый карьер, сначала расширяют и/или углубляют, преимущественно с помощью уже имеющихся на месте карьерных машин, так что достигают, в частности, глубину свыше 300 м, преимущественно свыше 400 м, особенно предпочтительно свыше 500 м или

причем сначала создают сухую впадину (100) для строительства подводной ГАЭС, в частности глубиной свыше 300 м, преимущественно свыше 400 м, особенно предпочтительно свыше 500 м.

14. Способ по любому из пп.1-13,

причем в сухой впадине (100) под запланированным в качестве грунта для расположения ресиверов (3) дном (1) создают полость, например шахту или туннель, для монтажа технических устройств, таких как кабель, напорные трубопроводы, турбины, насосы и/или турбонасосные агрегаты, и/или

причем в сухой впадине (100) под запланированным в качестве грунта (110) для расположения ресиверов (3) дном (1), при необходимости, еще раз под полостью для монтажа технических устройств создают с возможностью хождения и/или проезда полость, например шахту (5) или туннель, в частности, для снабжения и/или обслуживания технических устройств,

причем выполненную с возможностью хождения и/или проезда полость соединяют преимущественно с внешним проходом, который создают, в частности, в или на склоне впадины (100).

15. Способ по любому из пп.1-14,

причем ресиверы (3) выполняют таким образом, располагают таким образом, оснащают одной или несколькими турбинами, насосами и/или турбонасосными агрегатами (7) таким образом и/или соединяют между собой напорными трубопроводами (86) между соответствующими проточными отверстиями таким образом, что при выпуске воды из ресивера (3) в него не притекает воздух, а в ресивере (3) возникает преимущественно ограниченный только парциальным давлением водяного пара вакуум,

причем при впуске воды в ресивер (3) он заполняется водой не полностью, а остается преимущественно определенный остаточный объем с ограниченным, в частности, только парциальным давлением водяного пара вакуумом.

16. Способ по любому из пп.1-15,

причем множество ресиверов (3) располагают в сухой впадине (100), например на нижней подошве карьера, рядами таким образом, что в сухой впадине (100) сначала образуют лежащий непосредственно на грунте нижний ряд ресиверов (3), а затем впадину (100) заполняют водой с возможностью их транспортировки для второго ряда в плавучем состоянии в соответственно предусмотренные положения над нижним рядом, и образуют второй ряд за счет того, что ресиверы (3) для этого ряда транспортируют в плавучем состоянии в соответственно предусмотренные положения, например за счет того, что их делают плавучими, и опускают на нижний ряд, например за счет того, что их делают погружными или снова погружными, и

причем преимущественно затем впадину (100) поэтапно заполняют водой настолько, что ресиверы (3) для третьего ряда и, при необходимости, дополнительных рядов могут быть транспортированы соответственно в плавучем состоянии в предусмотренные положения и опущены.

17. Способ по любому из пп.1-16,

причем после того, как множество ресиверов (3) было расположено во впадине (100), ее затапливают водой, чтобы образовать во впадине (100) служащее верхним резервуаром (300) для строящейся ГАЭС искусственное озеро,

причем впадину (100) затапливают водой преимущественно таким образом, что воду впускают сначала по предусмотренному для этого напорному трубопроводу (86) в один или несколько ресиверов (3) с отдачей электрической энергии, а затем с потреблением электрической энергии выкачивают из ресивера (3) или ресиверов (3) во впадину (100), чтобы поэтапно затопить ее и при этом выработать электрическую энергию.

18. Способ по любому из пп.1-17,

причем после того, как множество ресиверов (3) было расположено во впадине (100), а впадина (100), по меньшей мере, частично была затоплена водой таким образом, что будет образовано служащее верхним резервуаром (300) искусственное озеро, один или несколько дополнительных ресиверов (3) опускают с поверхности озера на уже расположенные ресиверы (3),

причем дополнительные опущенные ресиверы (3) выполняют в качестве самостоятельных ресиверов (3) с собственной турбиной, насосом и/или турбонасосным агрегатом (7) и

причем уже расположенные ресиверы (3) расположены, в частности, в виде одного или нескольких рядов, а дополнительные опущенные ресиверы (3) устойчиво располагают в углублениях одного из рядов.

19. Нижний резервуар (200) для подводной ГАЭС, выполненный согласно способу по любому из пп.1-18, содержащий

множество ресиверов (3), которые расположены в сухой впадине (100) рядом друг с другом и/или друг над другом для сооружения нижнего резервуара для подводной ГАЭС,

причем каждый из ресиверов (3) выполнен в виде полого хранилища и имеет, по меньшей мере, одно проточное отверстие для впуска и/или выпуска воды, причем ресиверы прочны на сжатие и формоустойчивы при их опорожнении откачкой, при этом нижний резервуар образует прочную на сжатие полную структуру.

20. Резервуар по п.19,

причем множество ресиверов (3) оснащено одной или несколькими турбинами, насосами и/или турбонасосными агрегатами (7), так что, когда сухая впадина (100) затоплена водой, подводная ГАЭС эксплуатируется таким образом, что электроэнергия отдается, когда вода впускается в ресиверы (3), и вода выпускается из ресиверов (3), когда электроэнергия потребляется, и

причем из множества ресиверов (3) отдельные ресиверы (3) выполнены в виде самостоятельных ресиверов (3) за счет того, что они соответственно через свое, по меньшей мере, одно проточное отверстие оснащены собственной турбиной, насосом и/или турбонасосным агрегатом (7), и/или

причем из множества ресиверов (3) несколько из них выполнены в виде ресиверной группы за счет того, что эти ресиверы (3) соединены между собой напорными трубопроводами (86) между соответствующими проточными отверстиями и оснащены одной общей турбиной, насосом и/или турбонасосным агрегатом (7), и

причем предусмотрена возможность формирования преимущественно нескольких ресиверных групп.

21. Резервуар по любому из пп.19 или 20,

причем множество ресиверов (3) содержит, по меньшей мере, 100 ресиверов (3), преимущественно, по меньшей мере, 1000 ресиверов (3), и еще предпочтительнее, по меньшей мере, 10000 ресиверов (3) и/или

причем ресиверы (3) имеют соответственно объем менее  $600000 \text{ м}^3$ , преимущественно менее  $100000 \text{ м}^3$ , особенно предпочтительно, менее  $15000 \text{ м}^3$ .

22. Резервуар по любому из пп.19-21,

причем, по меньшей мере, некоторые из ресиверов (3) имеют форму, которая по объему заполняет минимально возможный полный шар, по меньшей мере, на 25%, преимущественно, по меньшей мере, на 50%, особенно предпочтительно, по меньшей мере, на 75% и/или

причем, по меньшей мере, некоторые из ресиверов (3) выполнены, в частности, в форме прочного на сжатие шара, яйца, эллипсоида или полиэдра и/или

причем, по меньшей мере, некоторые из ресиверов (3) имеют соответственно толщину стенок 5-15%, преимущественно 7,5-12,5% эквивалентного диаметра шара аккумулирующего объема.

23. Резервуар по любому из пп.19-22,

причем множество ресиверов (3) расположены в сухой впадине (100), например на нижней подошве карьера, равномерно рядом друг с другом и/или друг над другом и/или

причем множество ресиверов (3) расположены в сухой впадине (100) таким образом, что образован лежащий непосредственно на грунте (110) нижний ряд ресиверов (3) с их равномерным расположением, который подводит преимущественно в качестве основания для вышележащего второго ряда ресиверов (3) с их равномерным расположением таким образом, что ресиверы (3) второго ряда могут быть устойчиво расположены в углублениях нижележащего ряда ресиверов (3), и

причем на лежащем на грунте (110) нижнем ряде ресиверов (3) расположен преимущественно второй ряд ресиверов (3), а на нем особенно предпочтительно - третий ряд ресиверов (3), а на нем, при необходимости, - еще дополнительные ряды ресиверов (3), причем ряды ресиверов (3) подходят соответственно преимущественно в качестве основания для соответственно вышележащего ряда ресиверов (3).

24. Резервуар по любому из пп.19-23,

причем множество ресиверов расположено в сухой впадине (100) рядом друг с другом и/или друг над другом таким образом, в частности таким образом в виде нижнего, второго и третьего рядов, что между ресиверами (3) остаются свободные пространства (2), проходящие сверху, преимущественно прямолинейно и/или вертикально сверху, до грунта (110), в частности через все ряды, и преимущественно таким образом, что свободные пространства (2) возникают с определяемой расположением ресиверов (3) равномерностью, и/или

причем одно или несколько оставшихся между ресиверами (3) свободных пространств (2) выполнены в виде сквозных вверх, при необходимости, выступающих вверх шахт (5).

25. Резервуар по любому из пп.19-24,

причем, по меньшей мере, некоторые из ресиверов (3) расположены в соответствии со структурой самой плотной упаковки в двух измерениях, например, за счет того, что продолговатые или трубчатые ресиверы (30) расположены в сечении в соответствии со структурой самой плотной упаковки, или причем ресиверы (3) расположены в соответствии со структурой самой плотной упаковки шаров в трех измерениях и/или

причем множество ресиверов (3) расположено в соответствии со структурой самой плотной, в частности гексагонально самой плотной, упаковки шаров, преимущественно за счет того, что ресиверы (3) нижнего и, при необходимости, второго рядов расположены в соответствии со структурой самой плот-

ной упаковки шаров, а, при необходимости, ресиверы третьего ряда - в соответствии со структурой гексагонально самой плотной упаковки шаров.

26. Резервуар по любому из пп.19-25,

причем выполняемый или выполненный самостоятельным ресивер (3) расположен таким образом, что одно проточное отверстие для впуска воды в ресивер (3) и/или ее выпуска из него расположено внизу или сбоку внизу на ресивере (3), преимущественно таким образом, что проточное отверстие внутри ресивера доходит до самой низкой точки, и/или

причем несколько выполняемых или выполненных в виде ресиверной группы ресиверов (3) расположены таким образом, что, по меньшей мере, одно проточное отверстие одного или преимущественно каждого ресивера (3) группы расположено внизу или сбоку внизу на ресивере (3), в частности таким образом, что проточное отверстие внутри ресивера (3) доходит до самой низкой точки, и причем преимущественно два расположенных друг над другом ресивера (3) соединены между собой напорными трубопроводами (86) между расположенным внизу или сбоку внизу проточным отверстием расположенного дальше вверх ресивера (3) и проточным отверстием расположенного дальше вниз ресивера (3).

27. Резервуар по любому из пп.19-26,

причем собственная турбина, насос и/или турбонасосный агрегат (3) самостоятельного ресивера (3) соединена/соединен с его проточным отверстием таким образом и/или расположена/расположен в образованном между ресиверами (3) свободном пространстве (2) таким образом, что, когда сухая впадина (100) затоплена водой, вода, которую выпускают в ресивер (3), вытекает через свободное пространство (2) преимущественно сверху, особенно предпочтительно прямолинейно и/или вертикально сверху, и/или вода, которую выпускают из ресивера (3), вытекает через свободное пространство (2) преимущественно вверх, особенно предпочтительно прямолинейно и/или вертикально вверх, и/или

причем одна общая турбина, насос и/или турбонасосный агрегат (7) ресиверной группы соединена/соединен с проточным отверстием ресивера (3) или с соединяющим ресиверы (3) напорным трубопроводом (86) таким образом и/или расположена/расположен в образованном между ресиверами (3) свободном пространстве (2) таким образом, что, когда сухая впадина (100) затоплена водой, вода, которую выпускают в ресиверную группу, вытекает через свободное пространство (2) преимущественно сверху, особенно предпочтительно прямолинейно и/или вертикально сверху, и/или вода, которую выпускают из ресивера (3), вытекает через свободное пространство (2) преимущественно вверх, особенно предпочтительно прямолинейно и/или вертикально вверх, причем общая турбина, насос и/или турбонасосный агрегат (7) расположена/расположен преимущественно на грунте (110) или углубленно в грунте (110).

28. Резервуар по любому из пп.19-27,

причем, по меньшей мере, некоторые из ресиверов (3), в частности ресиверы (3) нижнего ряда, расположены в сухой впадине (100), например на нижней подошве карьера, таким образом, что соседние ресиверы (3) опираются друг на друга сбоку и/или крайние ресиверы (3) опираются преимущественно сбоку на стенку или часть сухой впадины (100).

29. Резервуар по любому из пп.19-28,

причем, по меньшей мере, некоторые из ресиверов (3) имеют массу, которая больше или, по меньшей мере, незначительно меньше массы вытесненной ресивером (3) воды, когда сухая впадина (100) затоплена водой, так что ресиверы (3) без утяжеления или анкеровки или, по меньшей мере, без значительного утяжеления или анкеровки, остаются внизу в затопленной впадине (100), и/или

причем, по меньшей мере, некоторые из ресиверов (3), в частности ресиверы (3) нижнего ряда, фиксированы или заанкерены на грунте (110) и/или

причем, по меньшей мере, некоторые из ресиверов (3), в частности ресиверы (3) верхнего ряда, утяжелены балластом, в частности экскавированным из впадины (100) материалом.

30. Резервуар по любому из пп.19-29,

причем оставшиеся между ресиверами (3) свободные пространства (2), которые не служат для прохода к турбинам, насосам и/или турбонасосным агрегатам (7), засыпаны экскавированным материалом или залиты строительным материалом и/или

причем множество ресиверов (3) устроено в виде совокупности ресиверов (3) за счет того, что эти ресиверы (3) сообщены между собой через соответствующие проточные отверстия и закрыты наружу общей опалубкой, причем общая опалубка имеет, по меньшей мере, одно открытое наружу проточное отверстие, чтобы совокупность ресиверов (3) можно было оснастить одной общей турбиной, насосом и/или турбонасосным агрегатом (7).

31. Резервуар по любому из пп.19-30,

причем сухая впадина (100) имеет глубину свыше 300 м, преимущественно свыше 400 м, особенно предпочтительно свыше 500 м.

32. Резервуар по любому из пп.19-31,

причем в сухой впадине (100) под запланированным в качестве грунта (110) для расположения ресиверов (3) дном (1) выполнена полость, например шахта (5) или туннель, для монтажа технических устройств, таких как кабель, напорные трубопроводы (86), турбины, насосы и/или турбонасосные агрегаты (7), и/или

причем в сухой впадине (100) под запланированным в качестве грунта (110) для расположения ресиверов (3) дном (1), при необходимости, еще раз под полостью для монтажа технических устройств выполнена с возможностью хождения и/или проезда полость, например шахта (5) или туннель, в частности для снабжения и/или обслуживания технических устройств,

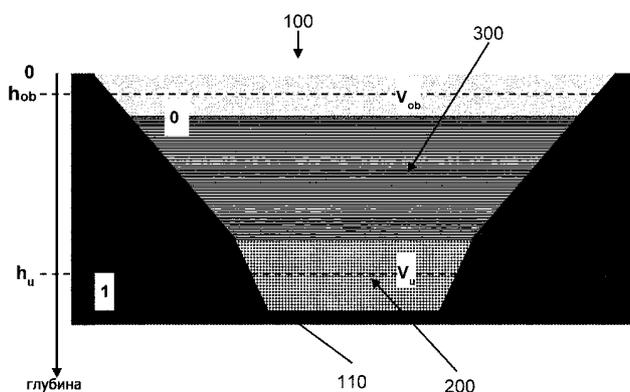
причем выполненная с возможностью хождения и/или проезда полость соединена преимущественно с внешним проходом, который создан, в частности, в или на склоне впадины (100).

33. Резервуар по любому из пп.19-32,

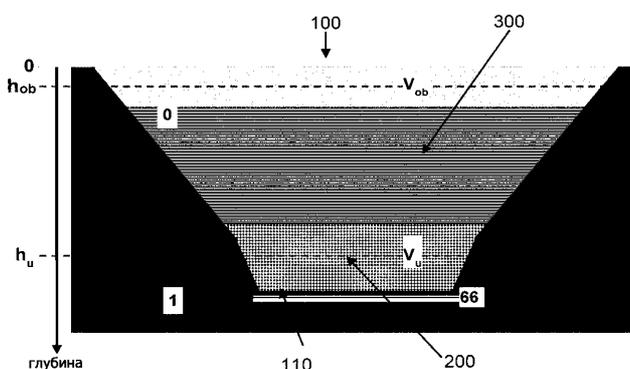
причем ресиверы (3) выполнены, расположены таким образом, оснащены одной или несколькими турбинами, насосами и/или турбонасосными агрегатами (7) таким образом и/или соединены между собой напорными трубопроводами (86) между соответствующими проточными отверстиями таким образом, что при выпуске воды из ресивера (3) в него не притекает воздух, а в ресивере (3) возникает преимущественно ограниченный только парциальным давлением водяного пара вакуум, и/или

при впуске воды в ресивер (3) он заполняется водой не полностью, а остается преимущественно определенный остаточный объем с ограниченным, в частности, только парциальным давлением водяного пара вакуумом.

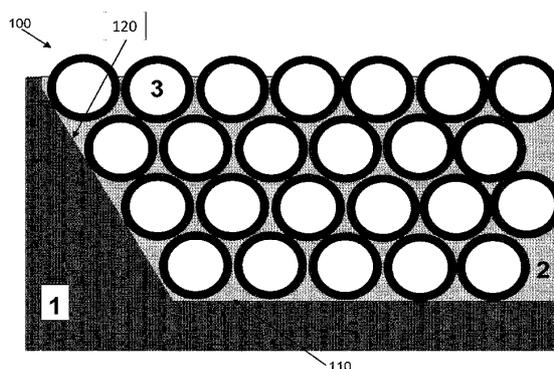
34. Подводная ГАЭС с нижним резервуаром (200) по любому из пп.19-33, содержащая верхний резервуар (300), выполненный в виде искусственно образованного во впадине (100) озера за счет затопления впадины водой.



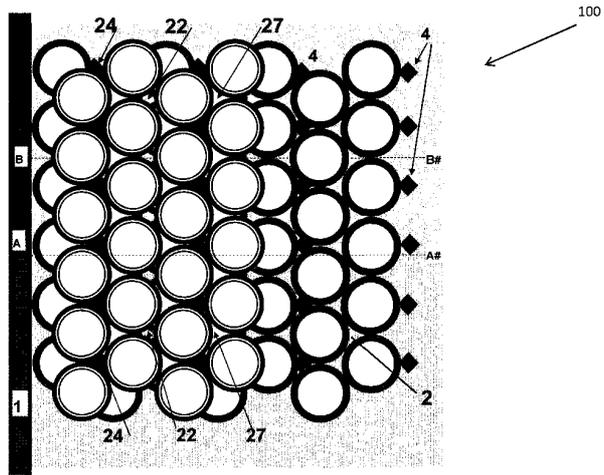
Фиг. 1



Фиг. 2



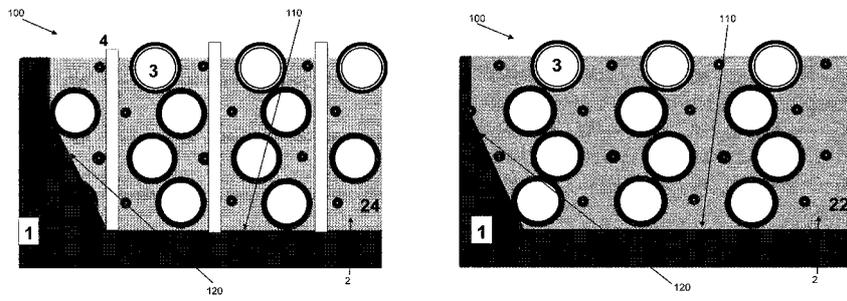
Фиг. 3



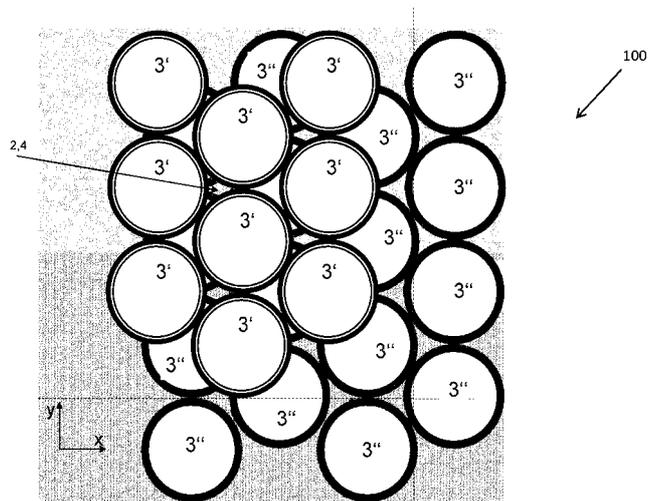
Фиг. 4

(a)

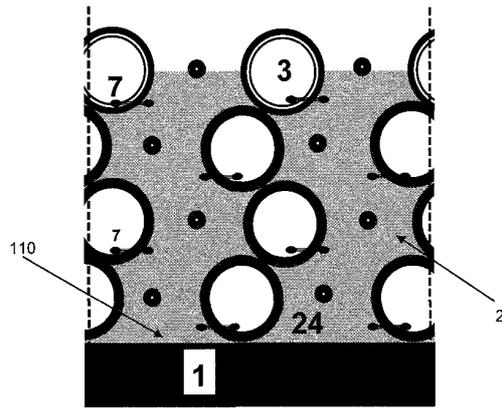
(b)



Фиг. 5



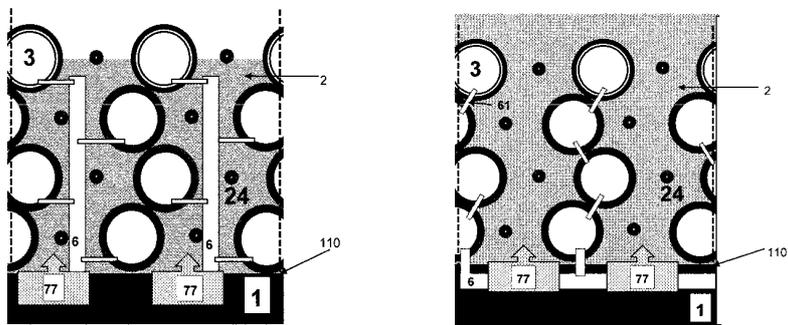
Фиг. 6



Фиг. 7

(a)

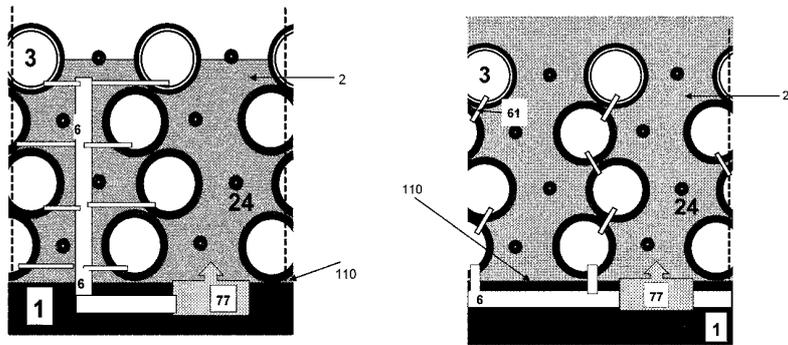
(b)



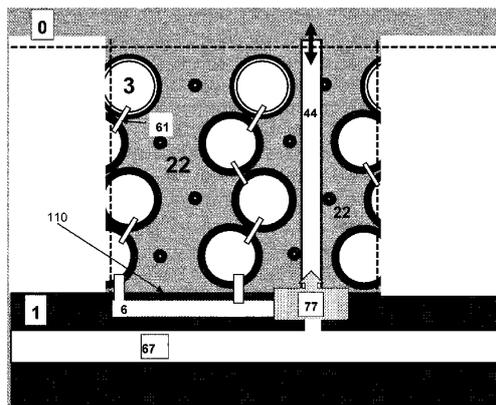
Фиг. 8

(a)

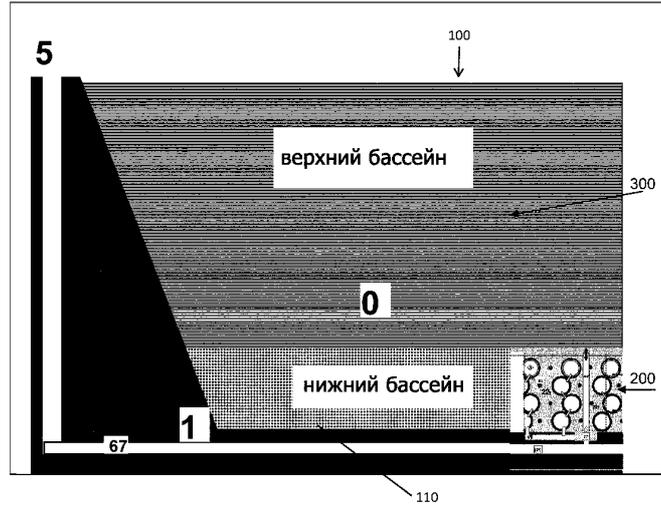
(b)



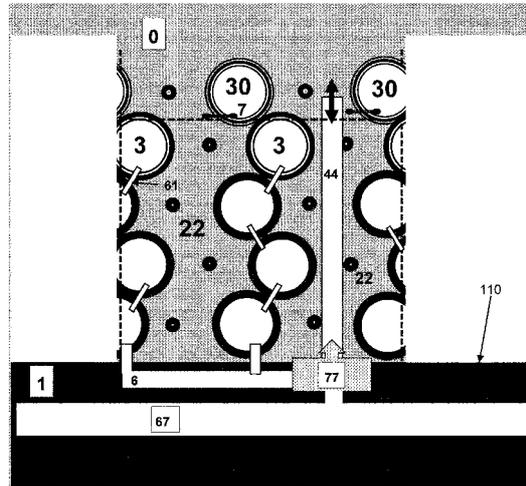
Фиг. 9



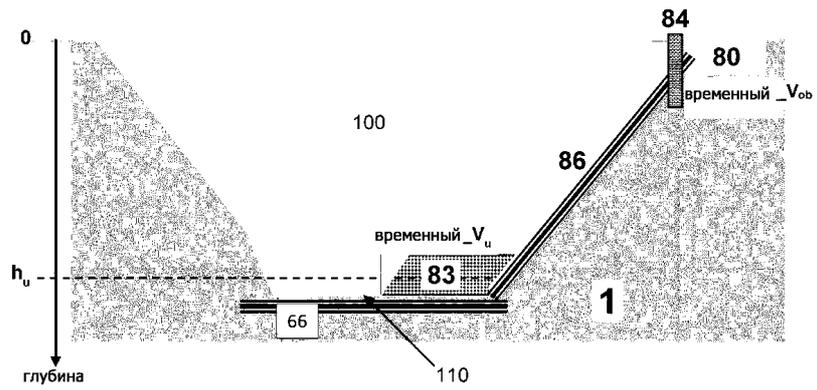
Фиг. 10



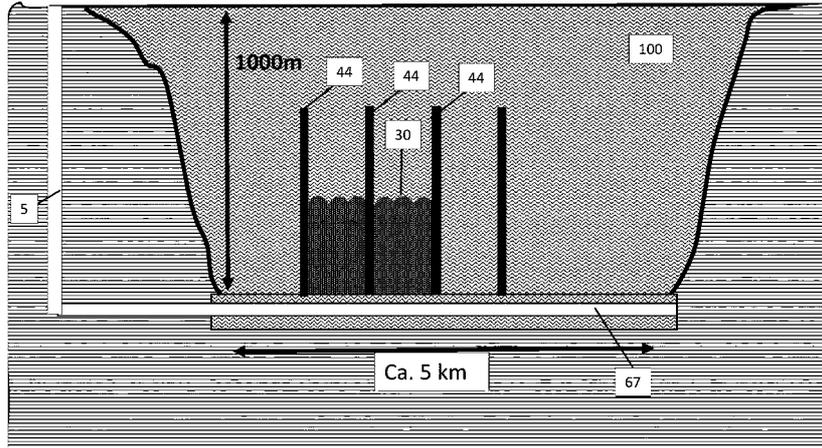
Фиг. 11



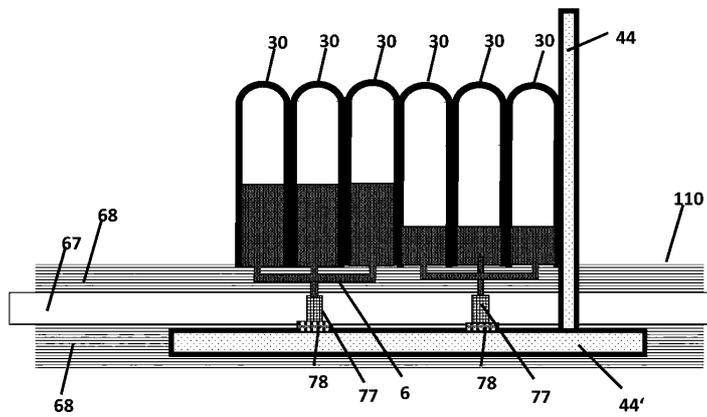
Фиг. 12



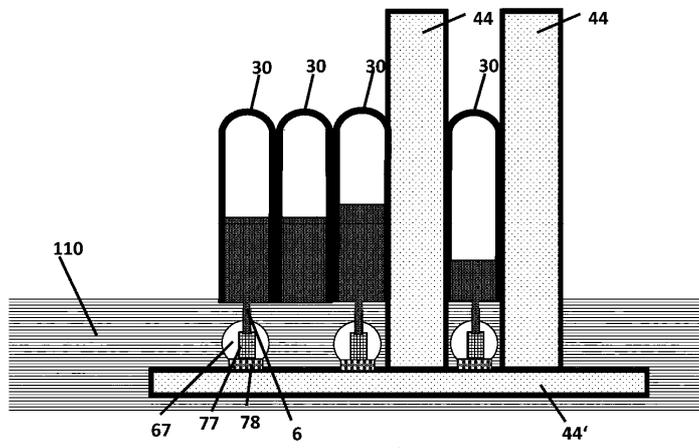
Фиг. 13



Фиг. 14

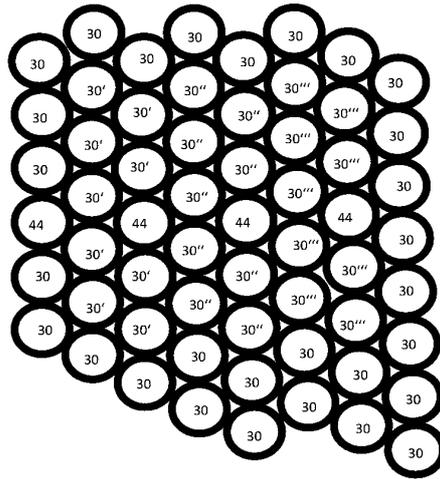


Фиг. 15

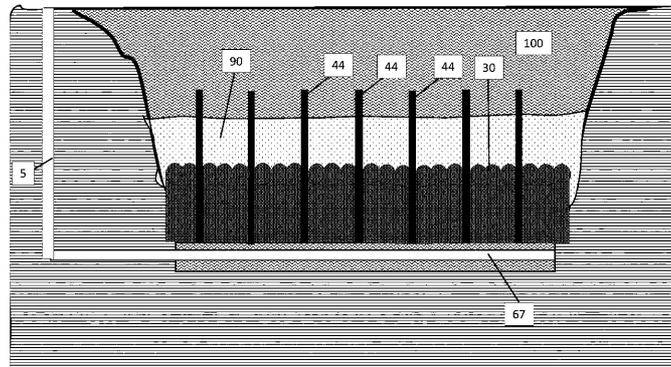


Фиг. 16

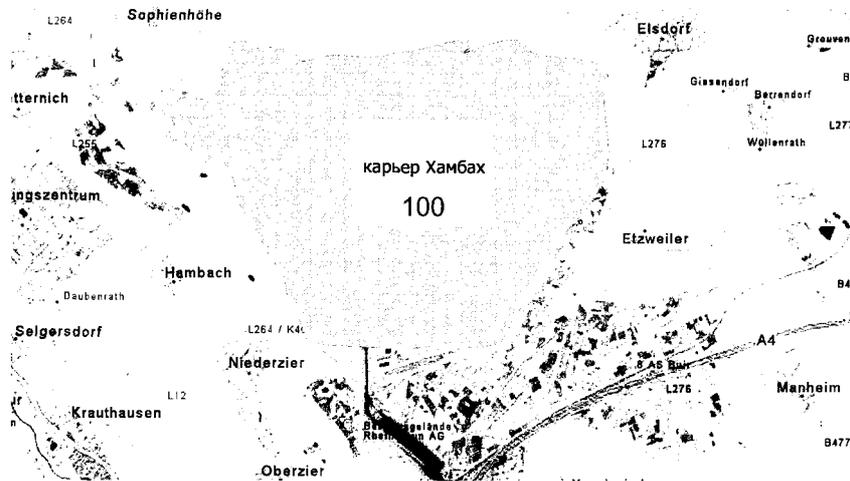
047893



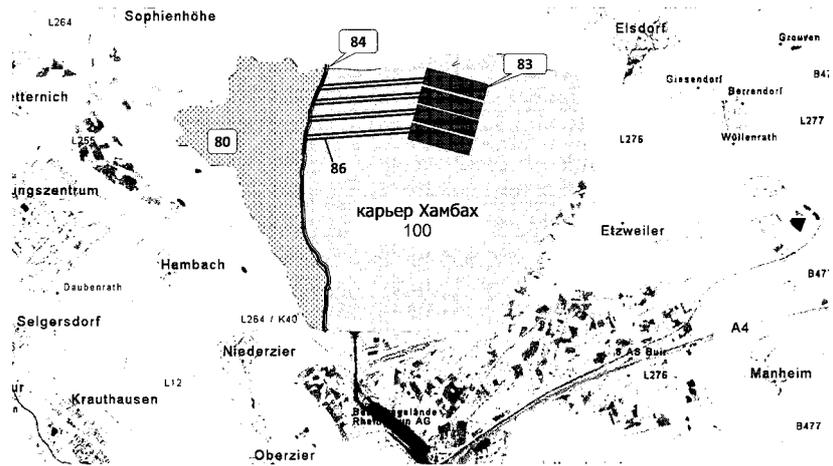
Фиг. 17



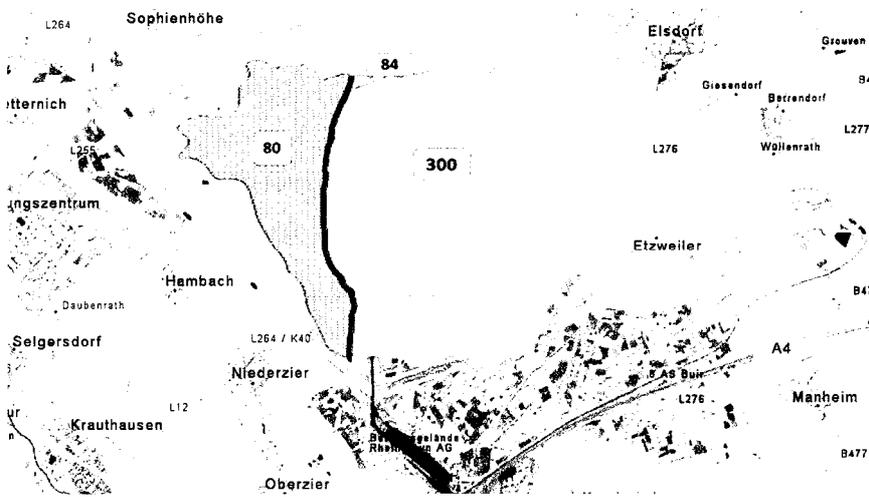
Фиг. 18



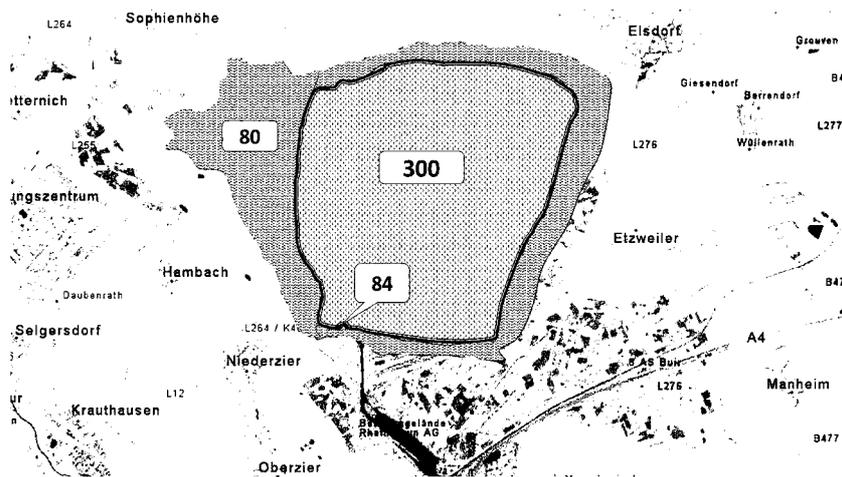
Фиг. 19



Фиг. 20



Фиг. 21



Фиг. 22

