

11. Предполагаемый большой срок службы ББ.
12. Масштабируемость решения, возможность создавать поля ББ+ВС.

Открытые вопросы концепции ББ:

1. Создание эффективной системы конденсации воды.
2. Эффективное использование природной разности температур в нижней и верхней частях башни.
3. Использование эффектов разных температур на освещенной и теневой частях башни.
4. Настройка тяги в башне и управление потоками пара.

Литература

1. Dalley, Stephanie [англ.]. The Mystery of the Hanging Garden of Babylon: an elusive World Wonder traced. — Oxford University Press, 2013.
2. Пономаренко В.С., Арефьев Ю.И. Градирни промышленных и энергетических предприятий: Справочное пособие / Под общ. ред. В. С. Пономаренко. — М.: Энергоатомиздат, 1998. — 376 с.

УДК 621.9.011

**ВЕРТИКАЛЬНАЯ БИОНИЧЕСКАЯ БАШНЯ КАК
САМОДЕЙСТВУЮЩАЯ ТЕПЛО-МЕХАНИЧЕСКАЯ
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА**

(экспертно-авторское изложение инновационной студенческо-преподавательской концепции)

доц. Довнар С.С., проф. Якимович А.М., аспирантка Лапука А.Д.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Данная статья является одной из двух работ (тандема) в настоящем сборнике, посвященных интересной новации – применению вертикальной бионической башни (ВББ или просто «башни») не только как несущей системы, но и как особой тепломеханической машины. Просматривается возможность создания эффективного инженерного и экологического объекта. Первая работа в тандеме [1] представляет, во-многом, студенческий

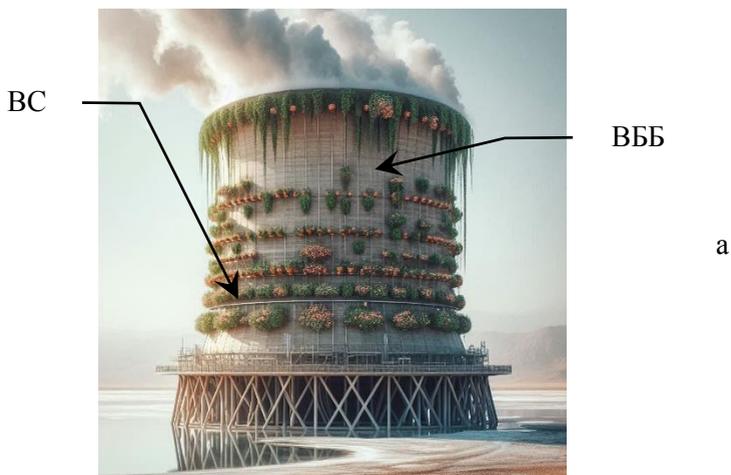
взгляд на потенциальную новацию. Данная, вторая, работа описывает новацию с точки зрения экспертов-преподавателей.

Таким образом, концепция параллельно излагается и интерпретируется в двух статьях. Это делается для достижения большей ясности и достоверности изложения потенциально интересной концепции. Все авторы обеих статей тандема являются инкорпорированными в данную новацию исследователями.

Упомянутая башня является центральным объектом в работе некоторой тепломеханической машины. Целью машины является *несение* высокорасположенного вертикального сада (ВС) и *обеспечение сада водой*. Вода как бы сама собой должна оказываться на высоте, достаточной для полива высоко расположенных растений.

Иначе, надо создать современную реплику (рис.1, а) легендарных Садов Семирамиды («Висячих садов Вавилона») [2]. Реплика должна работать в идеализированном экологическом режиме (ИЭР), в частности, без электричества и водяных насосов (рис.1, б).

Здесь развивается концепция: «горизонтальное испарение воды – естественная тяга – вертикальная высотная конденсация» (ГИВЕТ-В2К). В изложении применяются авторские 3D-модели и сгенерированные ИИ изображения.



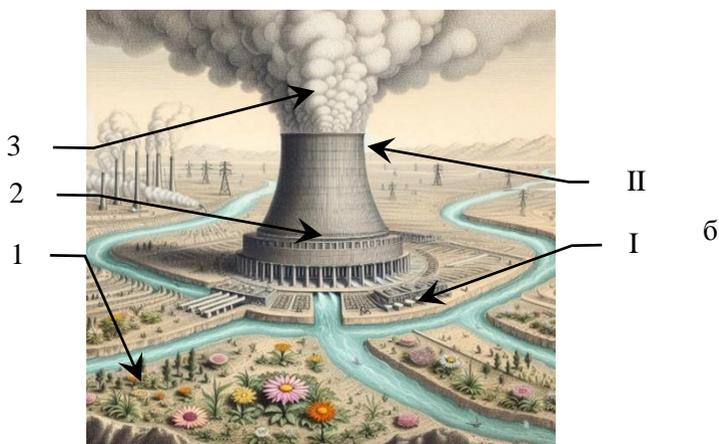


Рисунок 1 – Вертикальный сад ВС на несущей системе в виде вертикальной бионической башни ВББ (а) и цепочка превращения (б) воды 1 (на нижнем уровне I системы) с помощью возгонки в ВББ-башне 2 в пар 3 на верхнем уровне II системы (источник энергии – солнце – условно за кадром)

Предполагается, что башня (рис. 1) в составе инженерной системы выступает в качестве самодействующего преобразователя и потребителя солнечной энергии с задачами:

- снабжение вертикального сада (размещенного на самой башне между уровнями I и II) водой (самотеком);
- выращивание урожая цветов и растений (в вертикальном саду ВСБ и вокруг него) без потребления внешней электроэнергии и, по возможности, без монтажа каких-либо машин и механизмов.

Башне как инженерной системе должны требоваться только:

- достаточно много солнца сверху;
- вода (можно, соленая и даже загрязнённая) внизу;
- пространство для парников-испарителей вокруг башни;
- достаточно холодные слои воздуха в верхней части башни.

Для функционирования башни не принципиальны:

- ветер;
- характер основания (подходят почва, море, песок, отмель и т.д.);
- характер окружающего ландшафта.

Башня должна обеспечить:

- функционирование в верхней части башни распределенного источника воды (в жидкой фазе);
- самопроизвольную работу без расхода платных энергии и материалов;
- отсутствие обязательной системы управления;
- очистку и опреснение воды.

Предлагаемое техническое решение основывается на известной идее «солнечной тяги в трубе» (*solar chimney* or *sun updraft tower* – SUT [3]). Это идея заключается (рис.2, а) в нагреве воздуха в парнике (*collector*) и в создании благодаря этому естественной тяги в вертикальной башне (*tower*). Поток воздуха в достаточно высокой башне может стать настолько сильным, чтобы приводить турбины (*turbines*) и вырабатывать электричество. На этом принципе в конце 1980-х гг. в Испании была построена солнечная электростанция с высотой трубы 200 м, диаметром солнечного коллектора 250 м и мощностью 36 кВт. Аналогичная современная экспериментальная мини-станция [4] показана на рис.2, б.

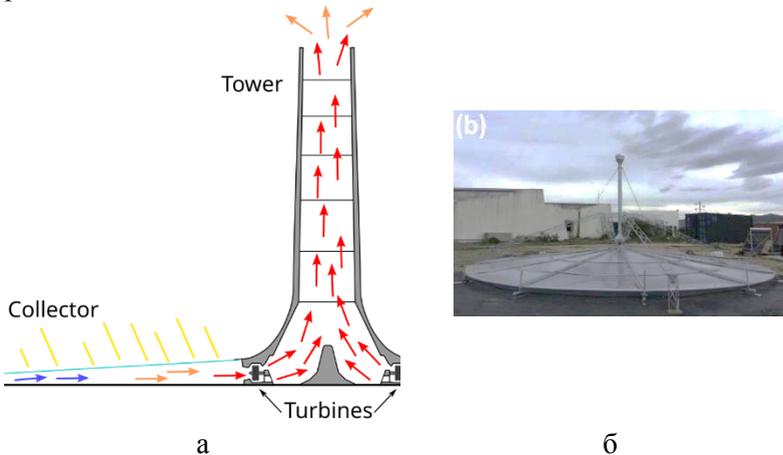


Рисунок 2 – Тепломеханическая машина SUT на схеме (а; [3]) и в эксперименте (б; [4]): поток сухого воздуха нагревается (переход от синих стрелок к красным) в парнике “collector” и поступает в башню “tower” с естественной тягой. Поток передает энергию турбинам “turbines”

В предлагаемом решении парники также должны снабжать нагретым воздухом высокие трубы-башни (рис. 3). Однако, *первое отличие* заключается в том, что в парниках воздух не только нагревается, но и насыщается парами воды (желательно, до предела). Такую среду далее будем называть паром, а парник – парником-испарителем (ПИ). Вода в ПИ может заливаться из любых подходящих источников, в том числе из моря.

Второе отличие заключается в том, что вода должна конденсироваться в верхней части башни, расположенной в относительно холодных слоях воздуха. Предполагается система холодных конденсаторов, которые обеспечивают осаждение капель воды. Далее капли собираются и самотеком направляются вниз по башне, к растениям вертикального сада. Сад может находиться как внутри башни (рис. 3), так и снаружи от нее (рис. 8).

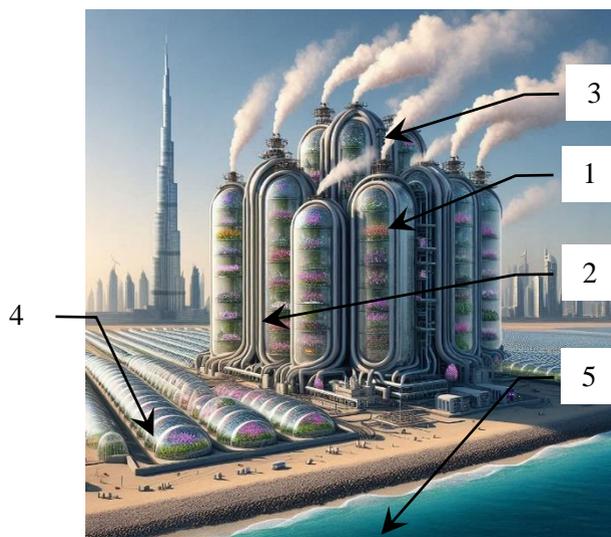


Рисунок 3 – Возможная компоновка для предлагаемой тепломеханической системы: сообщество вертикальных башен 1 с вертикальными садами 2 внутри, потребляющее пар 3 из горизонтальных парников-испарителей (ПИ) 4 путем испарения соленой воды 5

Идея парника-испарителя ПИ иллюстрируется на рис. 4. Испарение идет при солнечном свете. Предполагается наличие водоема (канала), в который поступает вода, например, из моря. Тогда уровень моря является самым нижним уровнем рассматриваемой инженерной системы.

Выращивание растений в ПИ возможно, но не является его основной функцией. Главным процессом является генерация насыщенного пара. Пар должен вытягиваться из ПИ путем естественной тяги в трубу (бионическую башню).



Рисунок 4 – Парник-испаритель ПИ, выпаривающий поступающую воду за счет энергии солнечных лучей (наличие в парнике растений необязательно)

Общая схема работы системы представлена на рис. 5. Солнце 1 служит единственным источником энергии. Вода поставляется по каналам 2. Реализована радиальная компоновка, когда парники-испарители 3 расположены на нижнем уровне радиально к оси башни 4. Потoki прохладного сухого воздуха 5 (синие стрелки) проходят парники-испарители и становятся горячими и влажными.

Горизонтальные потоки 5 собираются в вертикальный поток 7 (красная стрелка), идущий внутри башни 4 вверх. Из вертикального потока 7 выпадают капли пресной воды 6. Таким образом, данная система не только доставляет воду в верхнюю часть бионической башни, но и работает опреснительной установкой.

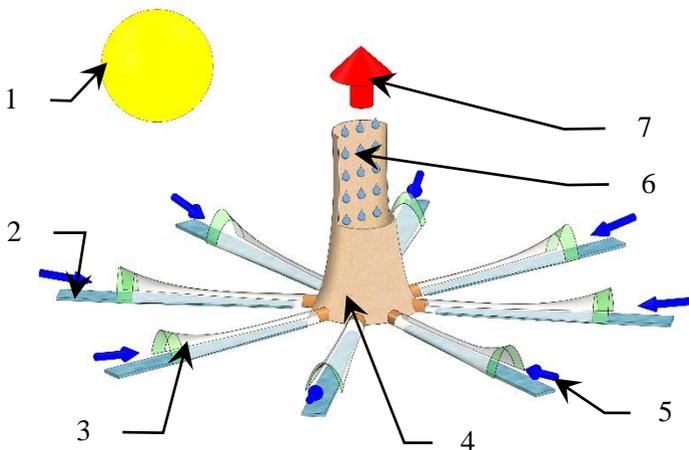


Рисунок 5 – Схема работы ВББ: 1 – солнце; 2 – водный поток; 3 – прозрачный парник-испаритель; 4 – бионическая башня; 5 – входящий поток сухого воздуха; 6 – конденсирующиеся капли воды; 7 – выходящий поток пара (воздуха, насыщенного парами воды)

Система конденсации пара (СКП) в верхней части башни способна самопроизвольно работать при условии обтекания башни потоками прохладного воздуха. Варианты устройства СКП многочисленны [5]. Один из вариантов показан на уровне общей схемы на рис. 6, а.

В башне 1 (условно показана прозрачной и в разрезе) закреплены конденсирующие структуры – «ветви». Ветви могут быть сделаны из теплопроводящего материала, например, бронзы, и иметь внутри себя стандартные тепловые трубы. Наружная часть каждой ветви 2а (сток тепла) охлаждается прохладным воздухом, особенно, в теневой части башни. Внутренние части ветви 2б собирают теплоту из идущего снизу вверх пара. Это обеспечивает конденсацию пара и сбор капель воды в поддоне 3. Далее вода поступает самотеком на стену башни (начиная с отметки 4) для полива растений.

Вариант конденсации «трубы» (рис. 6, б) также предполагает движение пара под действием вертикальной тяги по стрелкам А – В. Однако, в верхней части башни пар должен соприкоснуться со внутренними трубами, по которым проходит высотный прохладный воздух (стрелки С – D). Высотный воздух отбирает тепло у пара и сам устремляется вверх. Пар частично конденсируется на наружных поверхностях труб и собирается в поддоны и т.п.

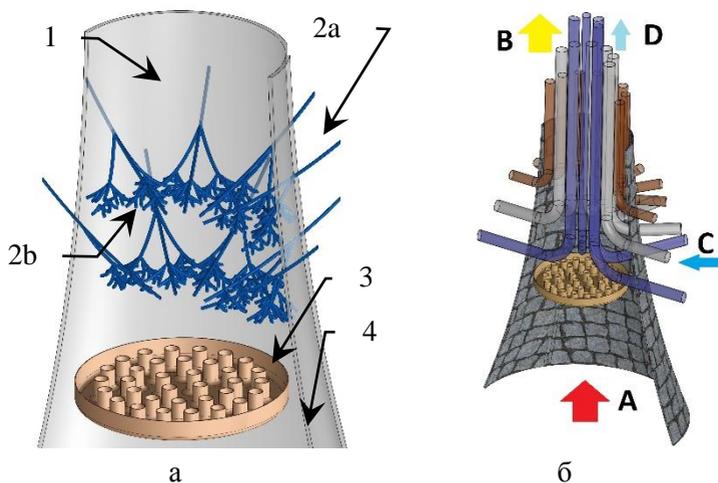


Рисунок 6 – Схема конденсации пара внутри башни ВББ в вариантах : а – «ветви» (1 – башня; 2а – наружная (охлаждаемая) часть конденсирующей структуры «ветвь»; 2b – внутренняя (нагреваемая) часть «ветви»; 3 – поддон для конденсата; 4 – отметка самотека); б – «трубы» (А, В – движение пара сквозь башню; С, D – движение прохладного высотного воздуха по трубе)

Как вариант «Ветви», так и вариант «Трубы» являются самодействующими. Они не требуют обязательного присутствия изнашивающихся механизмов и блоков управления.

Процесс конденсации пара в капли может происходить как внутри башни, так и непосредственно над ней. Это показано на рис. 7. На рис. 7, а башня установлена среди соляных полей на берегу соленого водоема с жарким климатом. На соляном поле под солнцем идет выпаривание воды. Ускорить технологический

процесс можно с помощью парникового эффекта. Сбор выпариваемой воды (пара) обеспечивает на рис. 7, а функционирование вертикального сада, архитектурно задрапированного под небоскреб. При наличии избытка пара в середине дня возможен самополив (2) башни благодаря восходящему потоку пара и капель.

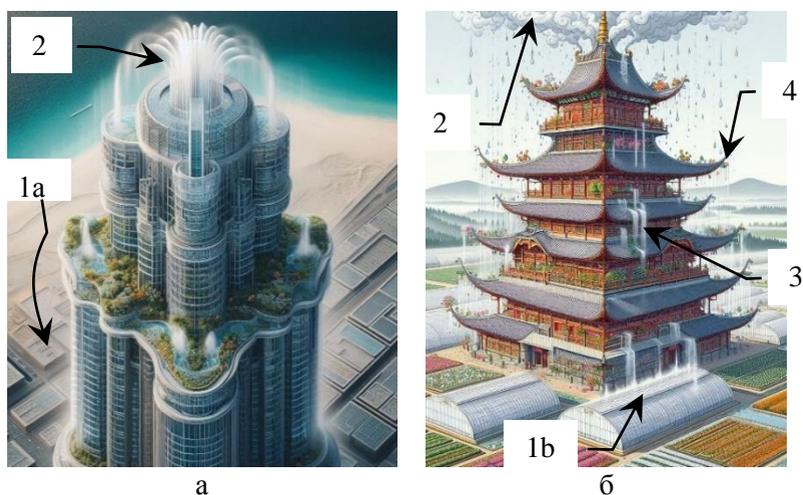


Рисунок 7 – Варианты башни, базирующейся на соляных выпариваемых полях (а) и на равнине (б): 1а, 1б – выпариваемое поле и парник-испаритель; 2 – внешняя конденсация пара над вертикальным садом; 3 – следы внутренней конденсации; 4 – архитектурно замаскированная охлаждаемая часть структуры конденсации.

На рис. 7, б вертикальный сад стилизован под пагоду, стоящую среди парников-испарителей 1б на сельскохозяйственных угодьях. Если сбор и конденсация пара идут эффективно, то возможны одновременно самополив 2 башни (наружная конденсация) и внутренняя конденсация, на которую указывают потоки 3 избыточной воды. Обратим внимание на хорошо обдуваемые воздухом свесы крыш 4 многоярусной пагоды. В них могут быть эффективно встроены охлаждаемые части (стоки теплоты) конденсирующих систем СКП.

На рис. 8 представлена компоновка с бионической башней морского базирования. Такой проект может быть реализован, например, в акваториях среди аравийских искусственных островов, где волнение моря ограничено.

Здесь бионическая башня снаружи своей нижней части 1а несет вертикальный сад. Вода для него поступает самотеком из верхней части башни 1б. Парники-испарители 2 превращают морскую воду 3 в пар 4. Возможно, внутри парников-испарителей окажется возможным выращивать какие-либо виды растений. Тогда объекты 2 станут своего рода горизонтальным садом под вертикальным садом ВББ.

Бионические башни с вертикальными садами могут применяться как мультисистемы. Например, они могут «заселять» пустынную береговую линию вдоль жаркого моря (рис.9). Тогда открываются экономические выгоды от их совместного возведения. Не исключены положительные сдвиги в исходном засушливом микроклимате.

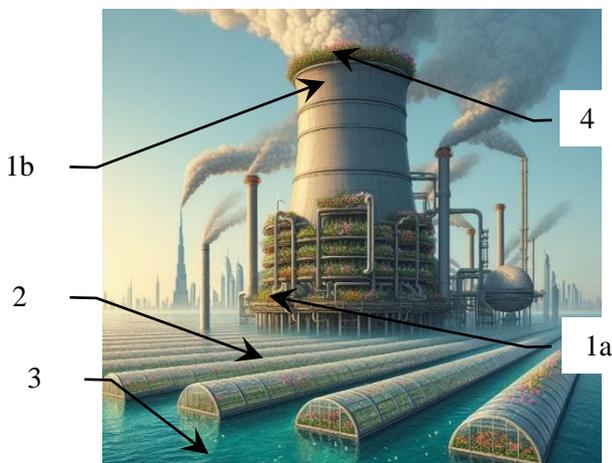


Рисунок 8 – Компоновка вертикального сада морского базирования:

1а – вертикальный сад снаружи башни; 1б – область сбора конденсирующейся воды внутри башни; 2 – парники-испарители; 3 – морская вода, отбираемая в парники; 4 – выход пара и каемка растений на верху башни.



Рисунок 9 – Заполнение пустынной морской береговой линии бионическими башнями с вертикальными садами

Итак, на базе механической несущей системы бионической башни виртуально построена самодействующая тепловая машина. В проекте все части статичны и не предполагают работы каких-либо обязательных механизмов и контроллеров. Система экологична и не создает загрязнений. Обеспечивается выращивание растений и опреснение воды.

Предлагаемая система позволяет многочисленные архитектурно-ландшафтные интерпретации. Поэтому концепция «горизонтальное испарение воды – естественная тяга – вертикальная высотная конденсация» (ГИВЕТ-В2К) представляется перспективной и заслуживающей дальнейшего развития.

Литература

1. Бионическая башенная несущая система для базирования и обеспечения вертикальной экосистемы. Часть А: графическое представление концепции с помощью ИИ. Студенты гр.10305121, 10305221 Цыбульский М.А., Мануш А.Д, Тарасевич А.А. Научный руководитель – доц. Довнар С.С. / НИРС МСФ-2024. Сборник материалов 80-й студенческой научно-технической конференции. Минск, БНТУ. 2024.
2. https://en.wikipedia.org/wiki/Hanging_Gardens_of_Babylon
3. https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_updraft_tower

4. Omar Faruqi Marzuki, Ellie Yi Lih Teo, Azmin Shakrine Mohd Rafie. CURRENT TREND IN SMALL SCALE SOLAR UPDRAFT TOWER DESIGNS: A REVIEW. Article in Huadong Ligong Daxue Xuebao /Journal of East China University of Science and Technology, May 2022
5. Libin Ma and Jianxing Ren 2018 *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 108 052116 DOI 10.1088/1755-1315/108/5/052116