

УДК 697.329

UDC 697.329

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ
ПОДЗЕМНОГО ТЕПЛООВОГО
АККУМУЛЯТОРА**

**INCREASING THE EFFICIENCY OF
SUBTERRANEAN HEAT ACCUMULATOR**

Кириченко Анна Сергеевна, аспирант,
kir89ann@gmail.com
*Кубанский государственный аграрный
университет, Краснодар, Россия*

Kirichenko Anna Sergeevna, post-graduate,
kir89ann@gmail.com
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

Показаны основные виды тепловых аккумуляторов с различным теплоаккумулирующим материалом. Рассмотрены наиболее простые и надежные устройства аккумуляирования тепла. Изложены вопросы аккумуляирования теплоты и методы интенсификации процесса теплоотдачи за счет использования турбулизаторов потока.

There were shown the main types of heat accumulators with different heat-accumulating material. There were considered the simpler and reliable equipment of heat accumulation. There were set off the questions of heat accumulation and methods of intensification of the process of heat emission at the expense of use of flow turbulizator use.

Ключевые слова: ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ, НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЕ ТЕПЛО, ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИЙ МАТЕРИАЛ, ТЕПЛОВОЙ АККУМУЛЯТОР, ТЕПЛОНОСИТЕЛЬ, ТЕПЛООБМЕН, ТЕПЛОПЕРЕДАЧА, ТУРБУЛИЗАТОР ПОТОКА

Keywords: RENEWABLE SOURCES OF ENERGY, LOW POTENTIAL HEAT, HEAT ACCUMULATING MATERIAL, HEAT ACCUMULATOR, HEAT CARRIER, HEAT EXCHANGE, HEAT EMISSION, FLOW TURBULIZATOR

Причиной все возрастающего интереса к нетрадиционным возобновляемым источникам энергии и энергосберегающим технологиям стал рост потребления энергии, ограниченность запасов традиционных ископаемых ресурсов, увеличение вредных выбросов в атмосферу, парниковый эффект.

Развитие технологий с использованием возобновляемых источников энергии в большинстве стран происходит по целому ряду причин, среди которых основными являются: уменьшение зависимости от органического ископаемого топлива, снижение негативного влияния на окружающую среду, неисчерпаемость и доступность возобновляемых источников энергии [1].

Хорошо изученными и наиболее распространенными возобновляемыми видами энергии на сегодняшний день являются энергия солнца, ветра и биотоплива [2].

Каждый из этих видов ресурсов обладает своими преимуществами и недостатками, которые необходимо учитывать при выборе источника энергии. Однако для всех них характерно неравномерное поступление энергии в течение времени. Наибольшая зависимость от неравномерности поступающей энергии заметна для солнечной энергетики, где поступление энергии зависит не только от времени года и от части суток, но и от прозрачности атмосферы и погодных условий. Все это приводит к необходимости создания средств, предназначенных для выравнивания интенсивности поступления энергии от солнечной радиации к потребителю, и способов накопления и хранения этой энергии [3,4].

Для этой цели применяют тепловые аккумуляторы (рис. 1), которые принято разделять по виду материала засыпки на: тепловые аккумуляторы с твердым, жидким, паровым, плавящимся теплоаккумулирующим материалом и тепловые аккумуляторы с электронагревательным элементом.

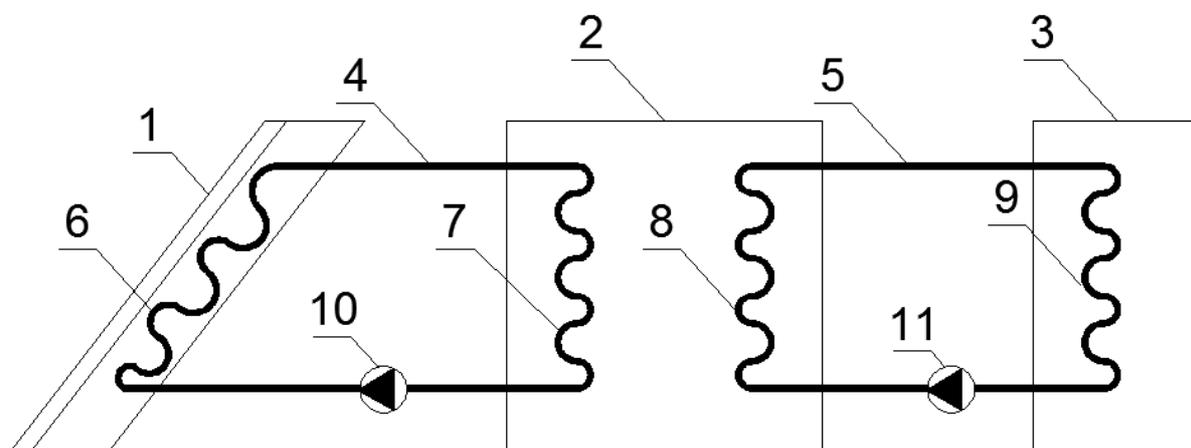


Рис. 1. Система солнечного теплоснабжения с тепловым аккумулятором:
1 – солнечный коллектор, 2 – тепловой аккумулятор, 3 – потребитель теплоты, 4,5 –циркуляционные контуры, 6-9 – теплообменные аппараты, 10,11 – циркуляционные насосы.

Наиболее широкое применение нашли тепловые аккумуляторы с твердым и жидким теплоаккумулирующим материалом, среди которых особое место занимают подземные тепловые аккумуляторы, которые используют теплоемкость грунта или водоносных горизонтов.

Грунтовый аккумулятор (рис. 2) использует теплоемкость грунта и представляет собой систему горизонтальных или вертикальных проложенных в грунте каналов, выполненных из металлических или металлопластиковых труб, по которым в период зарядки циркулирует нагретый теплоноситель, передавая теплоту окружающей породе. В период разрядки аккумулятора теплота грунта передается холодному теплоносителю, циркулирующему по этим же каналам в противоположном направлении [5,6].

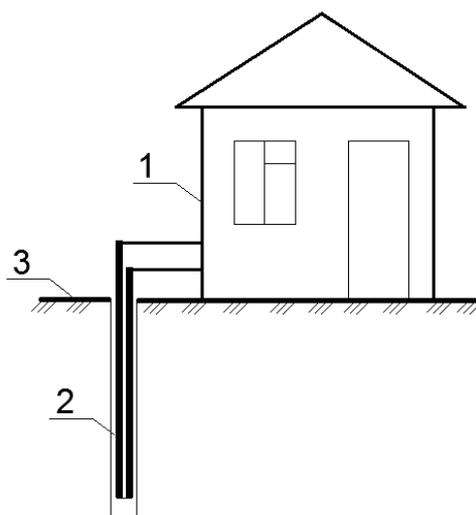


Рис. 2. Грунтовый тепловой аккумулятор: 1 – потребитель теплоты, 2 – грунтовый теплообменник, 3 – грунт.

Аккумулятор тепла в водоносных горизонтах (рис.3) использует теплоемкость водопроницаемого слоя земли, в который в режиме заряда через скважину закачивается горячая вода, а в режиме разряда через другую скважину закачивается холодная вода. Вследствие отсутствия поверхностей теплообмена данный тип тепловых аккумуляторов обеспечивает наилучшие экономические характеристики среди подземных

аккумуляторов тепла. Однако, такой способ аккумулирования тепла сложен при проектировании для конкретного вида водоносного горизонта, а так же требует больших энергетических затрат на прокачку теплоносителя [7].

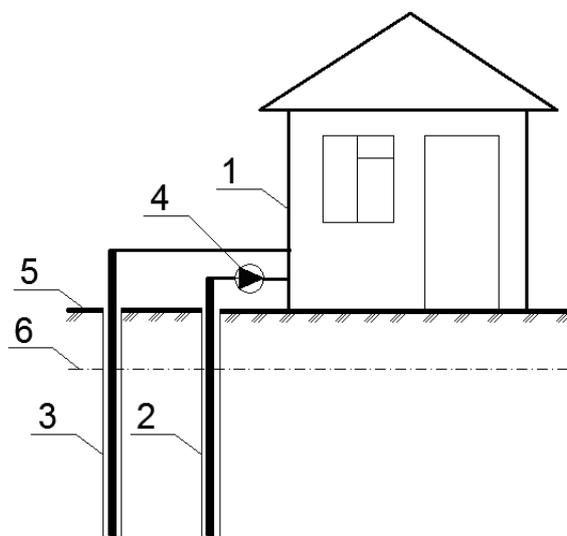


Рис. 3. Аккумуляторы тепла в водоносных горизонтах: 1 – потребитель, 2 – эксплуатационная скважина, 3 – нагнетательная скважина, 4 – насос, 5 – грунт, 6 – горизонт грунтовых вод.

При проектировании подземного теплового аккумулятора необходимо в полной мере обладать сведениями о его рабочих характеристиках и протекающих внутри него процессах [8].

Для подземных тепловых аккумуляторов, количество теплоты, сохраняемое при нагреве объема грунта массы m

$$Q = m \int_{T_0}^{T_1} C_p dt, \quad (1)$$

где m – масса теплоаккумулирующего материала (ТАМ), C_p – теплоемкость ТАМ, T_0, T_1 – начальная и конечная температура ТАМ.

Теплоемкость грунтов определяется теплоемкостью их твердой, жидкой и газообразной составляющих, и их соотношением по объемному и массовому содержанию в грунте.

Теплоемкость твердой компоненты грунтов (табл. 1) обусловлена ее минералогическим составом и содержанием органических веществ.

Таблица 1 - Теплоемкость твердой компоненты грунтов [9].

Вид компоненты грунта	Теплоемкость компоненты грунта, кДж/кг·°С	Вид компоненты грунта	Теплоемкость компоненты грунта, кДж/кг·°С
Базальт	0,84	Глина	0,88
Гранит	0,75	Гравий	0,90
Гумус	2,01	Известняк	0,58
Каолин	0,98	Кварц	0,74
Мрамор	0,80	Песок (кварцевый)	0,82
Песок (речной)	0,86	Песчаник (глиноизвестковый)	0,96
Песчаник (красный)	0,71	Торф	2,09

Теплоемкость воды в несколько раз выше теплоемкости минеральных и органических веществ и при температуре 20°С составляет 4,2 кДж/кг·°С. Теплоемкость льда в замерзшем грунте равна 2,1 кДж/кг·°С [10].

Величина удельной теплоемкости пористых и влажных пород с весовой влажностью, не превышающей 15—20%, ориентировочно может быть рассчитана по формуле [11]

$$C_{ВЛ} = C_T \cdot (1 - W) + W \cdot C_B, \quad (2)$$

где C_B – удельная теплоемкость воды, C_T – удельная теплоемкость твердой компоненты грунта, W — весовая влажность.

П. И. Андрианов предложил следующую формулу для определения теплоемкости грунта, отражающую увеличение теплоемкости грунтов в зависимости от их влажности при учете содержания в них связанной воды, для определения удельной теплоемкости дисперсных грунтов и почв, находящихся во влажном состоянии [12]

$$C_{ВЛ} = 0,2x + 0,7y + (W - y), \quad (3)$$

где x — весовое количество минеральных частиц, y — количество прочносвязанной воды.

Теплоемкость воздуха при постоянном давлении и температуре 20°С равна 1,04 кДж/кг·°С. Весовое количество воздуха, находящегося в 1 г

грунта менее 0,1%, поэтому при определении теплоемкости грунта как трехкомпонентной системы теплоемкость воздуха не учитывается.

На рисунке 4 изображен график зависимости теплоемкости грунта от его состава, на котором видно, что теплоемкость грунта линейно возрастает с увеличением массовой влажности, а скорость возрастания напрямую зависит от теплоемкости твердой составляющей грунта.

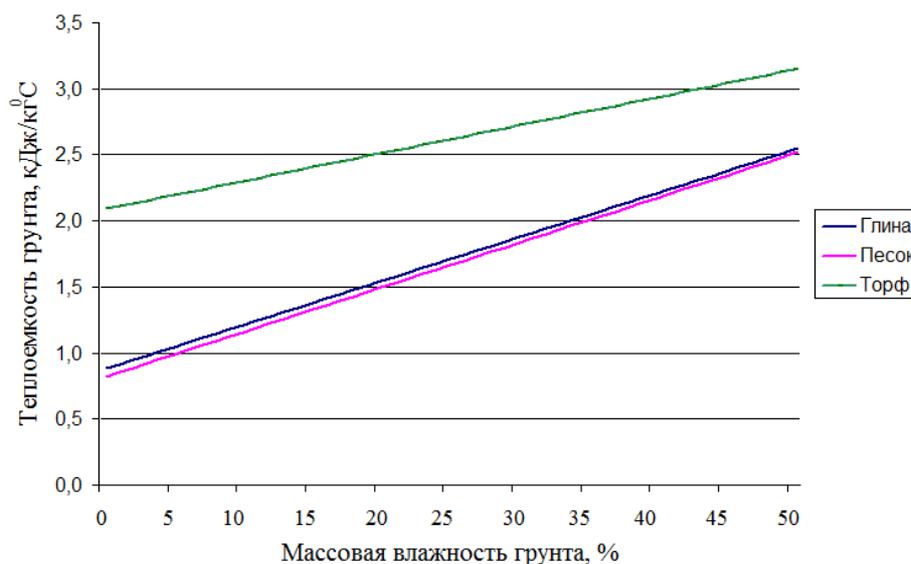


Рис. 4. График зависимости теплоемкости грунта от его состава.

От количества теплоты, которое способен накопить тепловой аккумулятор напрямую зависит его размер, то есть, трудоемкость и материалоемкость при его изготовлении монтаже и эксплуатации. Так как количество теплоты, запасенное в тепловом аккумуляторе, напрямую зависит от температуры, до которой нагревается теплоаккумулирующий материал, то для уменьшения расхода теплоаккумулирующего материала необходимо максимально увеличить температуру при зарядке теплового аккумулятора. Однако такое увеличение температуры ведет и к увеличению тепловых потерь.

Еще одним немаловажным параметром при расчете теплового аккумулятора является интенсивность теплообмена между источником,

теплоаккумулирующим материалом и потребителем теплоты, которая передается при зарядке и разрядке теплового аккумулятора.

Теплообмен, происходящий в теплоаккумулирующем материале и внутри материала, из которого выполнен теплообменный аппарат, характеризуется теплопроводностью данного материала и описывается законом Фурье [13]

$$dQ = -\lambda \frac{dT}{dl} dF d\tau, \quad (4)$$

где λ – коэффициент теплопроводности, $\frac{dT}{dl}$ – температурный градиент, F – площадь теплоотдающей поверхности, τ – время.

Теплопроводность грунта зависит от соотношения твердой, жидкой и газообразной составляющих, их химико-минералогического состава, структурными и текстурными особенностями пород, их влажностью, агрегатным состоянием воды и температурой.

Теплопроводность резко возрастает по мере увеличения влажности грунтов, поскольку теплопроводность воздуха, вытесняемого водой из пор породы, приблизительно в 30 раз меньше теплопроводности воды. При полном заполнении всех пор водой теплопроводность грунта достигает максимального значения.

Теплопроводность существенно зависит от объемного веса и, следовательно, пористости грунтов, так как теплопроводность твердой компоненты грунта значительно выше теплопроводности заполняющих поры воды или воздуха. Чем меньше объемный вес грунтов, тем менее плотно прилегают частицы друг к другу и тем меньше теплопроводность грунта. Уплотнение приводит к увеличению теплопроводности грунтов [14].

Теплопроводность твердой компоненты грунтов (табл. 2) обусловлена ее минералогическим составом и содержанием органических веществ.

Таблица 2 – Коэффициент теплопроводности твердой компоненты грунтов [9].

Вид компоненты грунта	Теплопроводность компоненты грунта, кДж/кг·°С	Вид компоненты грунта	Теплопроводность компоненты грунта, кДж/кг·°С
Базальт	1,3	Глина	1,6
Гранит	2,4	Гравий	0,84
Гумус	0,07	Известняк	2,3
Каолин	1,6	Кварц	5,3
Мрамор	2,6	Песок (кварцевый)	0,84
Песок (речной)	0,86	Песчаник (глиноизвестковый)	1,8
Песчаник (красный)	1,8	Торф	0,07

Теплоперенос между стенкой теплообменного аппарата и циркулирующим теплоносителем характеризуется коэффициентом теплоотдачи, который зависит от множества факторов, поэтому для проведения расчетов конвективного теплообмена вводят критерии подобия. Таким образом, значение коэффициента теплоотдачи зависит от критерия Нуссельта

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{R_0}, \quad (5)$$

где Nu – число Нуссельта, R_0 – определяющий размер.

Несмотря на многообразие факторов, влияющих на интенсивность теплообмена, следует выделить режим движения жидкость внутри теплообменного аппарата. При этом различают три режима движения жидкости: ламинарный (число Рейнольдса $Re \leq 2300$), турбулентный ($Re \geq 10^5$) и смешанный ($2300 < Re < 10^5$).

В результате движения теплоносителя в прямых гладких трубах (рис. 5) при стабилизированном ламинарном течении теплоносителя и стабилизированном теплообмене коэффициент теплопередачи, который характеризует критерий Нуссельта, примет вид

$$Nu = 4 \cdot \varepsilon_t = 4 \cdot \left(\frac{Pr_f}{Pr_w} \right)^{0.25}, \quad (6)$$

где ε_t – коэффициент, учитывающий зависимость свойств теплоносителя от температуры, Pr_w , Pr_f – число Прандтля при температуре стенки и теплоносителя.

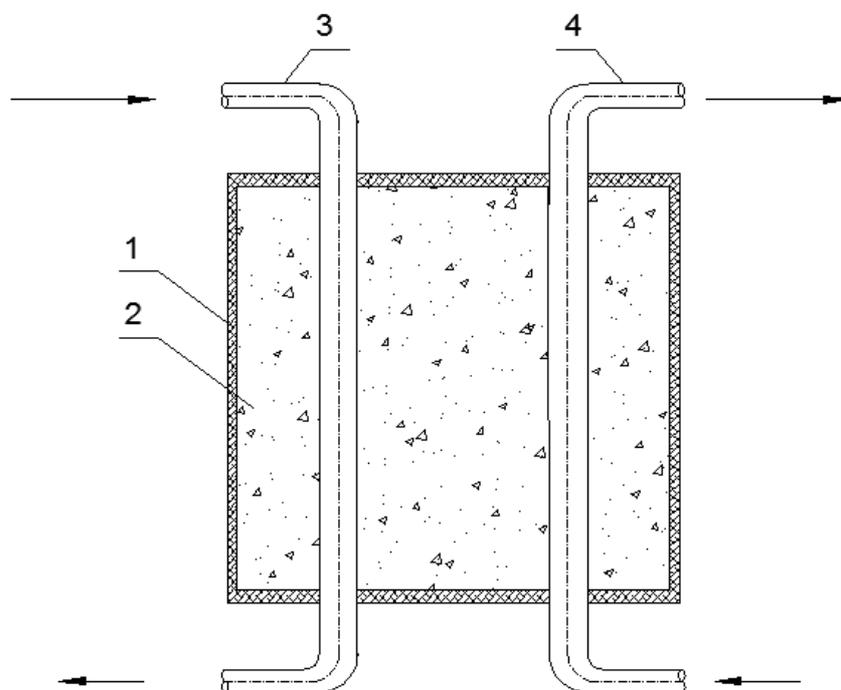


Рис.5. Тепловой аккумулятор с прямыми гладкими трубками теплообменника: 1 - корпус с изоляцией, 2 - твердый теплоаккумулирующий материал, 3 – подводящий, 4 - отводящий трубопроводы

Для более точного расчета ламинарный режим предложено разделять на два подрежима по числу Рэлея: вязкий ($Ra < 8 \cdot 10^5$) и вязко гравитационный ($Ra \geq 8 \cdot 10^5$) [13].

Для вязкого ламинарного режима критерий Нуссельта рассчитывается по формуле Б.Г. Петухова [15]

$$Nu = 1.55 \cdot \left(Pe \frac{d}{l} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\mu_f}{\mu_w} \right)^{0.14} \cdot \bar{\varepsilon}_l, \quad (7)$$

где Pe – число Пекле, d – внутренний диаметр трубок теплообменного аппарата, l – длина поверхности теплообмена, μ_w , μ_f – динамический коэффициент вязкости при температуре стенки и температуре

теплоносителя, $\bar{\varepsilon}_l$ - коэффициент, учитывающий влияние на теплоотдачу гидродинамической стабилизации потока на начальном участке теплообмена.

Для вязко гравитационного ламинарного режима критерий Нуссельта определяется по формуле М.А.Михеева [16]

$$Nu = 0.15 \cdot Re_f^{0.33} \cdot Pr_f^{0.33} (Gr_f \cdot Pr_f)^{0.1} \varepsilon_l \cdot \bar{\varepsilon}_l, \quad (8)$$

где, Gr – число Грасгофа.

При стабилизированном турбулентном режиме движения теплоносителя и стабилизированном теплообмене критерий Нуссельта будет равным

$$Nu = 0.021 \cdot Re_f^{0.8} \cdot Pr_f^{0.43} \cdot \varepsilon_l \cdot \bar{\varepsilon}_l, \quad (9)$$

а при стабилизированном переходном режиме движения теплоносителя и стабилизированном теплообмене критерий Нуссельта примет вид

$$Nu = K_0 \cdot Pr_f^{0.33} \cdot \varepsilon_l \cdot \bar{\varepsilon}_l, \quad (10)$$

где K_0 – комплекс, зависящий от числа Рейнольдса.

В свою очередь критерий Рейнольдса рассчитывается по формуле:

$$Re = \frac{w \cdot R_0}{\nu} = \frac{\rho \cdot w \cdot R_0}{\mu}, \quad (11)$$

где w – скорость движения теплоносителя, R_0 – определяющий размер, ρ – плотность среды, ν – кинематический коэффициент вязкости, μ – динамический коэффициент вязкости.

Таким образом, при одинаковой скорости движения теплоносителя в трубопроводе, режим течения будет зависеть от вязкости теплоносителя.

Для увеличения поверхности теплообменного аппарата его трубки могут быть выполнены в виде змеевиков (рис. 6).

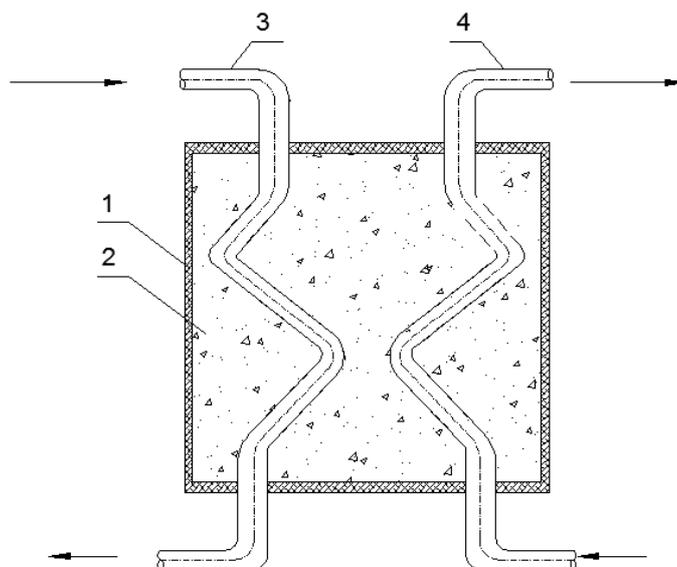


Рис. 6. Тепловой аккумулятор с гладкими трубками теплообменника, выполненного в форме змеевика: 1 - корпус с изоляцией, 2 - твердый теплоаккумулирующий материал, 3 – подводящий, 4 - отводящий трубопроводы.

При этом так же происходит увеличение интенсивности теплообмена вследствие возникновения зон турбулизации в изгибах и поворотах трубки теплообменника

$$Nu = 0.021 \cdot Re_f^{0.8} \cdot Pr_f^{0.43} \left(1 + 1.8 \cdot \frac{d}{R_2} \right)^{0.1} \cdot \varepsilon_t \cdot \bar{\varepsilon}_l, \quad (12)$$

где R_2 – радиус изгиба трубки теплообменного аппарата.

При стабилизированном течении и теплообмене, в процессе теплопередачи между теплоносителем и теплоаккумулирующим материалом интенсивность теплообмена сравнительно низкая из-за протекания ламинарного потока теплоносителя в тонком пристенном слое, характеризующемся наличием значительных градиентов скорости [17].

Одним из таких способов является принудительная вибрация стенок теплообменного аппарата, в результате чего возникают поперечные колебания теплоносителя, вызывающие турбулизацию потока.

Тепловой аккумулятор, построенный на данном принципе (рис. 7) работает следующим образом: горячий теплоноситель подается в трубопровод и, проходя по нему, отдает теплоту теплоаккумулирующему материалу, одновременно с этим включается пневматический вибратор путем подвода к нему сжатого воздуха под давлением от 2 до 5 атм. Упругие колебания, возникающие в обойме пневматического вибратора, носят ударный характер и при помощи волновода, жестко прикрепленного к трубопроводу, вызывают нарушение пограничного ламинарного слоя, придавая ему турбулентный характер и тем самым увеличивая процесс теплопередачи, а соответственно и скорость зарядки аккумулятора [18].

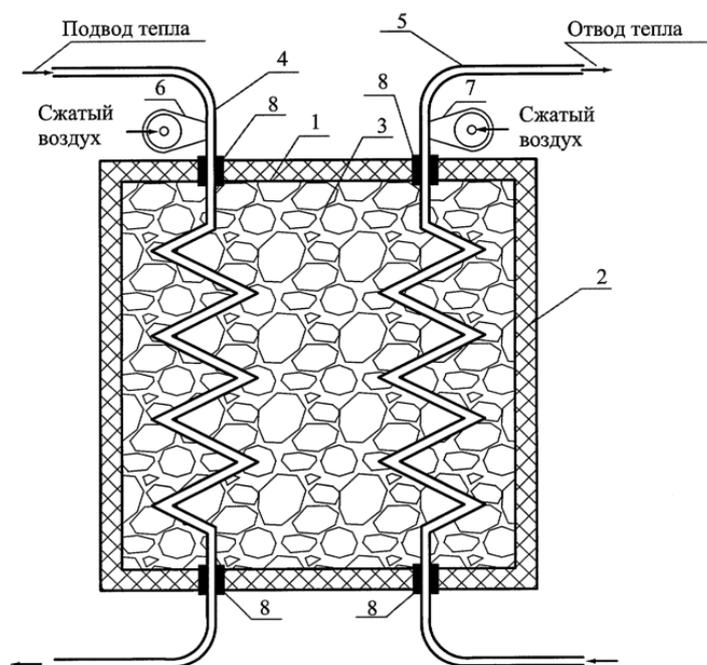


Рис. 7. Тепловой аккумулятор с вибрационным разрушением пристенного ламинарного слоя: 1 – тепловой аккумулятор, 2 -корпус с изоляцией, 3 - твердый теплоаккумулирующий материал, 4 – подводящий, 5 - отводящий трубопроводы, 6 - пневматический вибратор подводящего трубопровода, 7 - пневматический вибратор отводящего трубопровода, 8 - гаситель вибрации.

Аналогично происходит процесс разрядки аккумулятора: холодный теплоноситель подается по трубопроводу в нижнюю часть теплового аккумулятора и, проходя по нему, забирает теплоту у теплоаккумулирующего материала, одновременно с этим включается пневматический вибратор, и далее процесс проходит, как и при зарядке теплового аккумулятора.

Во избежание распространения колебаний на корпус теплового аккумулятора в местах ввода в него подающих трубопроводов устанавливаются гасители вибрации, изготовленные из вакуумированной резины.

Частота и амплитуда колебаний пневматических вибраторов принимаются в зависимости от типа и размера теплового аккумулятора и определяются геометрическими размерами обоймы и шарика пневматического вибратора, а так же давлением и расходом сжатого воздуха. Частотный диапазон устройства может быть выбран в пределах от нескольких сот герц до десятков килогерц. Амплитуда колебаний излучателя достигает сотен микрон.

Другим способом турбулизации потока является установка внутри трубки теплообменника диффузорно-конфузорных участков (рис. 8), которые разрушают тонкий пристенный ламинарный слой и усиливают интенсивность теплообмена.

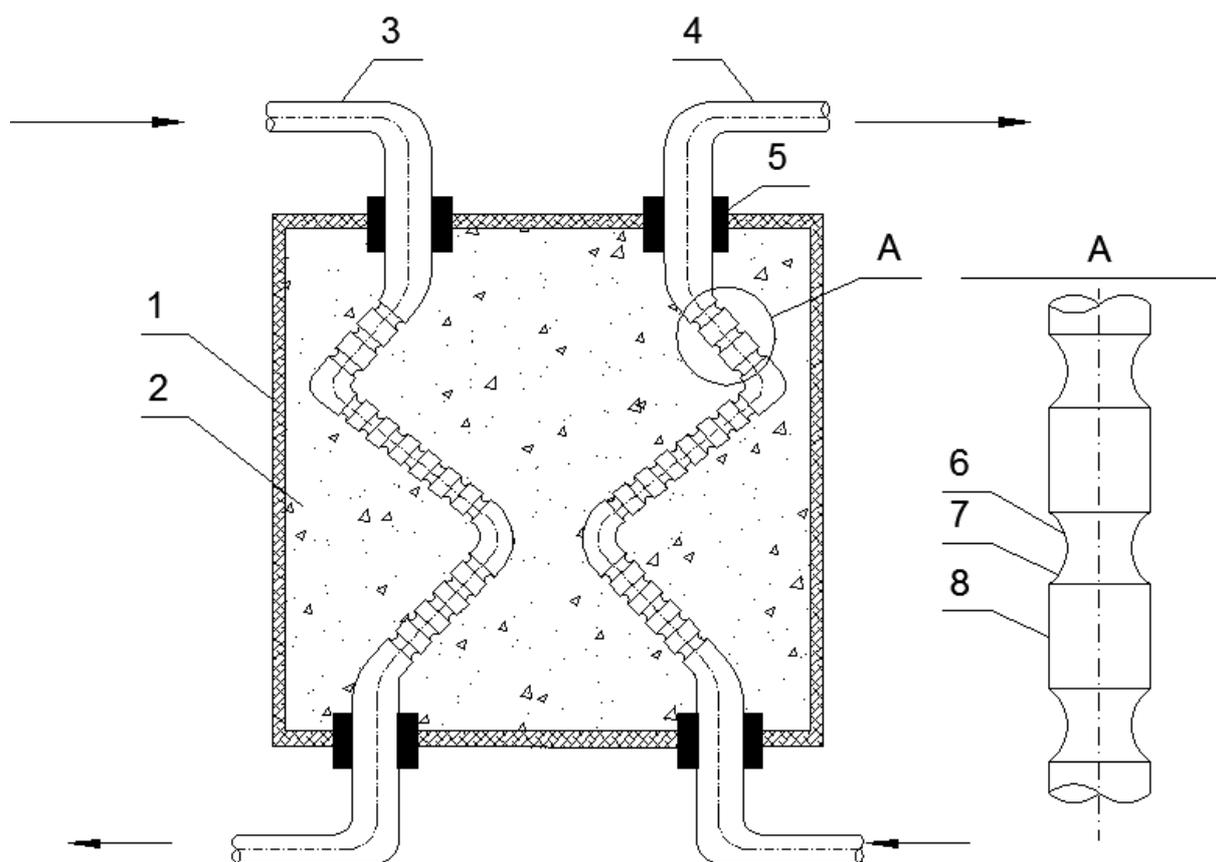


Рис.8. Тепловой аккумулятор с диффузно-конфузорными участками трубки теплообменного аппарата: 1 - корпус с изоляцией, 2 - твердый теплоаккумулирующий материал, 3 – подводящий, 4 - отводящий трубопроводы, 5 - гаситель вибрации, 6 – конфузорный участок, 7 – диффузорный участок, 8 - цилиндрический участок.

Но наибольшего результата можно добиться, комбинируя оба приведенные выше способа (рис. 9) [19].

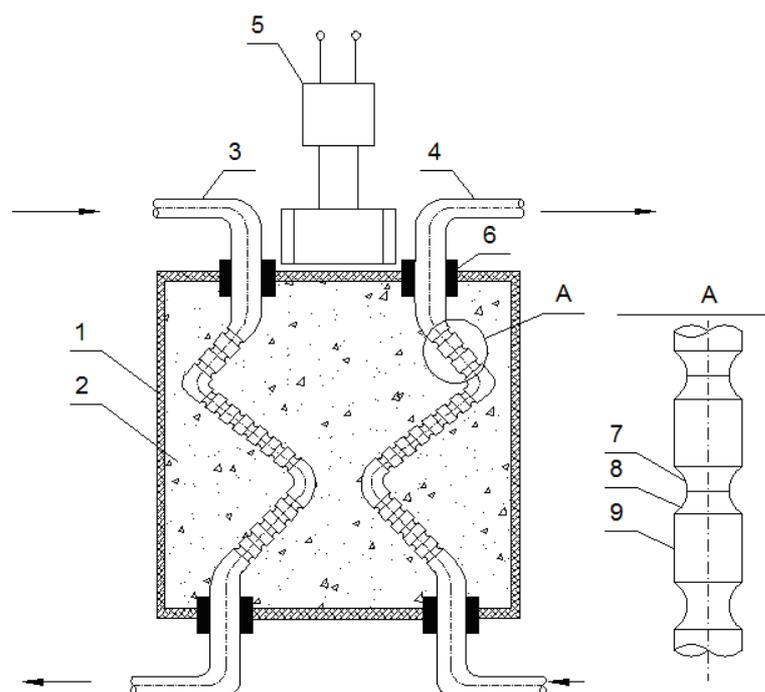


Рис. 9. Тепловой аккумулятор с усилением теплообмена: 1 - корпус с изоляцией, 2 - твердый теплоаккумулирующий материал, 3 – подводящий, 4 - отводящий трубопроводы, 5 - магнестрикционный вибратор, 6 – гаситель вибрации, 7 – конфузорный участок, 8 – диффузорный участок, 9 - цилиндрический участок.

Тепловой аккумулятор работает следующим образом: холодный теплоноситель подается по трубопроводу в нижнюю часть теплового аккумулятора и, проходя по нему, отбирает теплоту у теплоаккумулирующего материала, при этом теплоноситель движется внутри трубок. Вихревые зоны, возникающие на цилиндрических участках за последовательно размещенными на внутренней поверхности трубки конфузорными и диффузорными участками, вызывающие дополнительную турбулентность, которая появляется на границе этих зон, переносится основным течением, увеличивая коэффициент турбулентной температуропроводности на большей длине за турбулизатором. Одновременно с этим включается магнестрикционный вибратор.

Регулируя частоту и величину электромагнитных импульсов, подбирают оптимальную величину теплопередачи.

Однако, усложнение конструкции теплообменного аппарата значительно увеличивает стоимость теплового аккумулятора, что ведет к необходимости проведения экономического анализа, по результатам которого и будет подобран оптимальный вариант конструкции теплового аккумулятора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григораш О.В. Возобновляемые источники электроэнергии: Монография / О.В. Григораш, Ю.П. Степура, Р.А. Сулейманов и др. Краснодар: КубГАУ. 2012. 272 с.
2. Безруких П.П. Возобновляемые источники энергии и надежность электроснабжения. Энергетическая политика. 2008. №3. С. 3 – 10.
3. Амерханов Р.А., Кириченко А.С. Способы аккумуляции энергии // Труды Кубанского госагроуниверситета. №4 (37). Краснодар: КубГАУ, 2012. - С. 296-298.
4. Амерханов Р.А., Бутузов В.А., Гарькавый К.А. Вопросы теории и инновационных решений при использовании гелиоэнергетических систем. М.: Энергоатомиздат. 2009. 504 с.
5. Амерханов Р.А. Гарькавый К.А. Теплоаккумуляционная и теплонасосная система теплоснабжения на основе возобновляемых источников энергии // Альтернативная энергетика и экология. 2011. №3(95) . С. 41-43
6. Недвига П.Н. Возможности использования тепловых аккумуляторов и низкопотенциального тепла земли при отоплении индивидуальных домов // Инженерно-строительный журнал. № 3. 2010. С. 11-14.
7. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. М.: КНОРУС. 2010. 232 с.
8. Sorensen V. Renewable energy conversion, transmission and storage. Academic Press, 2007. 344 p.
9. Лысенко М.П. Состав и физико-механические свойства грунтов. Изд. 2, перераб. и доп. 1980. 272 с.
10. Мищенко К.П., Равдель А.А. Краткий справочник физико-химических величин. Л.: Химия, 1974. – 200 с.
11. Moench A. F., Evans D. D. Thermal conductivity of soil using a cylindrical heat source // Soil Sci. Soc. Am. Proc. v. 34. 1970. p. 377-381.
12. Андрианов П.И. Связанная вода почв и грунтов // Труды Института мерзлотоведения АН СССР. М.-Л.: Изд-во АН СССР. Т. 3. 1946. 138 с.
13. Амерханов Р.А., Драганов Б.Х. Теплотехника. М.: Энергоатомиздат. 2006. 432 с.
14. Трофимов В.Т. Грунтоведение. / Трофимов В.Т., Королёв В.А., Вознесенский Е.А. и др. М.: Изд-во МГУ, Наука. 2005. 1024 с.
15. Краснощеков Е.А., Сукомел А.С. Задачник по теплопередаче. М.: Энергия, 1980. – 288 с.
16. Михеев М.А. Основы теплопередачи. М.-Л.:ГЭИ, 1956. 390 с.
17. Л. Ландау, Е. Лифшиц. Механика сплошных сред. М.: Полиграфкнига, 1944, 623 с.

18. Амерханов Р.А., Потапенко А.И., Ададунов Е.А. Тепловой аккумулятор. Патент на изобретение RUS2253807 30.08.2004.
19. Амерханов Р.А., Гарькавый К.А., Кириченко А.С. Тепловой аккумулятор. Патент на полезную модель RUS144055 10.08.2014.

REFERENCES

1. Grigorash O.V. Vozobnovljaemye istochniki jelektrojenergii: Monografija / O.V. Grigorash, Ju.P. Stepura, R.A. Sulejmanov i dr. Krasnodar: KubGAU. 2012. 272 s.
2. Bezrukih P.P. Vozobnovljaemye istochniki jenergii i nadezhnost' jelektrosnabzhenija. Jenergeticheskaja politika. 2008. №3. S. 3 – 10.
3. Amerhanov R.A., Kirichenko A.S. Sposoby akumulirovanija jenergii // Trudy Kubanskogo gosagrouniversiteta. №4 (37). Krasnodar: KubGAU, 2012. - S. 296-298.
4. Amerhanov R.A., Butuzov V.A., Gar'kavyj K.A. Voprosy teorii i innovacionnyh reshenij pri ispol'zovanii geliojenergeticheskikh sistem. M.: Jenergoatomizdat. 2009. 504 s.
5. Amerhanov R.A. Gar'kavyj K.A. Teploakkumuljacionnaja i teplonasosnaja sistema teplosnabzhenija na osnove vozobnovljaemyh istochnikov jenergii // Al'ternativnaja jenergetika i jekologija. 2011. №3(95) . S. 41-43
6. Nedviga P.N. Vozmozhnosti ispol'zovanija teplovyh akumuljatorov i nizkopotencial'nogo tepla zemli pri otoplenii individual'nyh domov // Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal. № 3. 2010. S. 11-14.
7. Sibikin Ju.D., Sibikin M.Ju. Netradicionnye i vozobnovljaemye istochniki jenergii. M.: KNORUS. 2010. 232 s.
8. Sorensen B. Renewable energy conversion, transmission and storage. Academic Press, 2007. 344 p.
9. Lysenko M.P. Sostav i fiziko-mehanicheskie svojstva gruntov. Izd. 2, pererab. i dop. 1980. 272 s.
10. Mishhenko K.P., Ravdel' A.A. Kratkij spravochnik fiziko-himicheskikh velichin. L.: Himija, 1974. – 200 s.
11. Moench A. F., Evans D. D. Thermal conductivity of soil using a cylindrical heat source // Soil Sci. Soc. Am. Proc. v. 34. 1970. p. 377-381.
12. Andrianov P.I. Svjazannaja voda pochv i gruntov // Trudy Instituta merzlotovedenija AN SSSR. M.-L.: Izd-vo AN SSSR. T. 3. 1946. 138 s.
13. Amerhanov R.A., Draganov B.H. Teplotehnika. M.: Jenergoatomizdat. 2006. 432 s.
14. Trofimov V.T. Gruntoveden'e. / Trofimov V.T., Koroljov V.A., Voznesenskij E.A. i dr. M.: Izd-vo MGU, Nauka. 2005. 1024 s.
15. Krasnoshhekov E.A., Sukomel A.S. Zadachnik po teploperedache. M.: Jenergija, 1980. – 288 s.
16. Miheev M.A. Osnovy teploperedachi. M.-L.:GJeI, 1956. 390 s.
17. L. Landau, E. Lifshic. Mehanika sploshnyh sred. M.: Poligrafkniga, 1944. 623 s.
18. Amerhanov R.A., Potapenko A.I., Adadurov E.A. Teplovoj akumuljator. Patent na izobretenie RUS2253807 30.08.2004.
19. Amerhanov R.A., Gar'kavyj K.A., Kirichenko A.S. Teplovoj akumuljator. Patent na poleznuju model' RUS144055 10.08.2014.