

*Андреев Сергей Андреевич*

канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой

*Шибаров Дмитрий Васильевич*

аспирант

ФГБОУ ВО «Российский государственный

аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева»

г. Москва

## **ЭНЕРГЕТИКА ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ЗАМКНУТОМ КОНТУРЕ ПОД ВЛИЯНИЕМ РАЗНОСТИ ТЕМПЕРАТУР**

*Аннотация:* в статье показана возможность использования зависимости плотности жидкости от температуры для организации ее движения по замкнутому трубопроводу. Произведена оценка энергетических показателей процесса преобразования тепловой энергии в кинетическую энергию потока.

*Ключевые слова:* плотность жидкости, температура, замкнутый трубопровод, кинетическая энергия, скорость потока, мощность.

Особенностью телеметрических систем сельскохозяйственного назначения является их высокая пространственная рассредоточенность. Во избежание использования протяженных линий связи в таких системах целесообразно обращаться к передаче результатов измерения по эфиру. Для питания параметрических датчиков, входящих в состав телеметрических систем, а также для обеспечения работоспособности устройств первичной обработки и передачи полученной информации необходимы источники энергии. Эти источники могут быть весьма маломощными, однако должны обеспечивать непрерывное питание устройств и не требовать обслуживания. К сожалению, современные химические накопители электрической энергии таким требованиям не удовлетворяют. Поэтому при разработке подобных телеметрических систем проектировщики все чаще прибегают к использованию локальных источников различных видов энергии: световой, тепловой, электромагнитной и т. д.

Интересный способ преобразования тепловой энергии в механическую (а затем – в электрическую) основан на зависимости плотности некоторых жидкостей от температуры [1]. Это свойство широко применяется в системах отопления с естественной циркуляцией теплоносителя. В таких системах жидкий теплоноситель (например, вода), нагреваясь в котле, становится менее плотным и поднимается вверх. Далее, достигнув максимальной высоты, теплоноситель перемещается по наклонному трубопроводу вниз, вытесняя остывшую, более плотную жидкость и перемещая ее к котлу для последующего нагрева. Известны попытки решения обратной задачи, заключающейся в использовании кинетической энергии жидкости, движущейся по трубопроводу в замкнутом трубопроводе при разных температурах. В этом случае кинетическая энергия жидкости преобразуется в механическую энергию и впоследствии используется для привода небольшой рабочей машины или для вращения ротора электрогенератора [2; 3]. Экспериментальная проверка подтвердила реализуемость способа, однако научно обоснованная оценка энергетических характеристик такого преобразования до сих пор не производилась.

Вместе с тем, грубая оценка мощности может быть сделана по результатам сравнения отопительных систем с естественной и принудительной циркуляцией теплоносителя. Известно, что в системах с принудительной циркуляцией течение теплоносителя происходит примерно в 3 раза интенсивнее, чем в системах с естественной циркуляцией. Зная мощность циркуляционного насоса, поделив ее на 3 и приняв во внимание КПД, можно ориентировочно сделать заключение о возможной мощности. Однако при таком подходе может сформироваться большая ошибка вследствие незнания степени загрузки циркуляционного насоса. В случае, если насос был выбран с большим запасом по производительности, рассчитанная мощность окажется завышенной.

Гораздо более точный результат можно получить по выполнению несложного гидравлического расчета. Однако предваряя этот расчет, можно утверждать, что механическая энергия будет определяться диаметром трубопровода,

расстоянием между точками нагрева и охлаждения жидкости по высоте, зависимостью плотности жидкости от температуры, ее вязкостью, различными сопротивлениями движению потока, а также величиной разности температур.

Для упрощения оценки мощности будем считать, что жидкость совершает движение по замкнутому трубопроводу, имеющему торообразную форму (рис. 1). При таком допущении локализованные местные потери давления будут отсутствовать. В расчетах можно будет принять, что потери равномерно распределены по всему пути движения жидкости, представляющему собой окружность с радиусом  $R$ .

Представим место нагрева жидкости в виде некоторого малого объема (точки  $M$ ), расположенного в третьем квадранте, на середине дуги  $AB$ . Пусть плотность жидкости уменьшается с ростом температуры. Тогда нагретая жидкость будет подниматься по дуге трубопровода  $MD$ , затем охлаждаться и опускаться по дуге  $DBM$ . Таким образом, движение жидкости будет происходить по часовой стрелке.

Примем расстояние от нижней до верхней точки окружности, равным 4 м ( $2R = DB = 4$  м). Тогда длина пути жидкости или длина окружности составит  $C = 2\pi R = 12,56$  м.

Для расчета высоты подъема воды  $H$  за счет изменения ее плотности найдем длину отрезка  $OL$ , соединяющего точку пересечения перпендикуляра, опущенного из точки  $M$  на линию  $BD$ :

$$OL = R \cdot \cos 45^\circ = 1,42 \text{ м}$$

$$\text{Или } H = R + OL = 3,42 \text{ м}$$

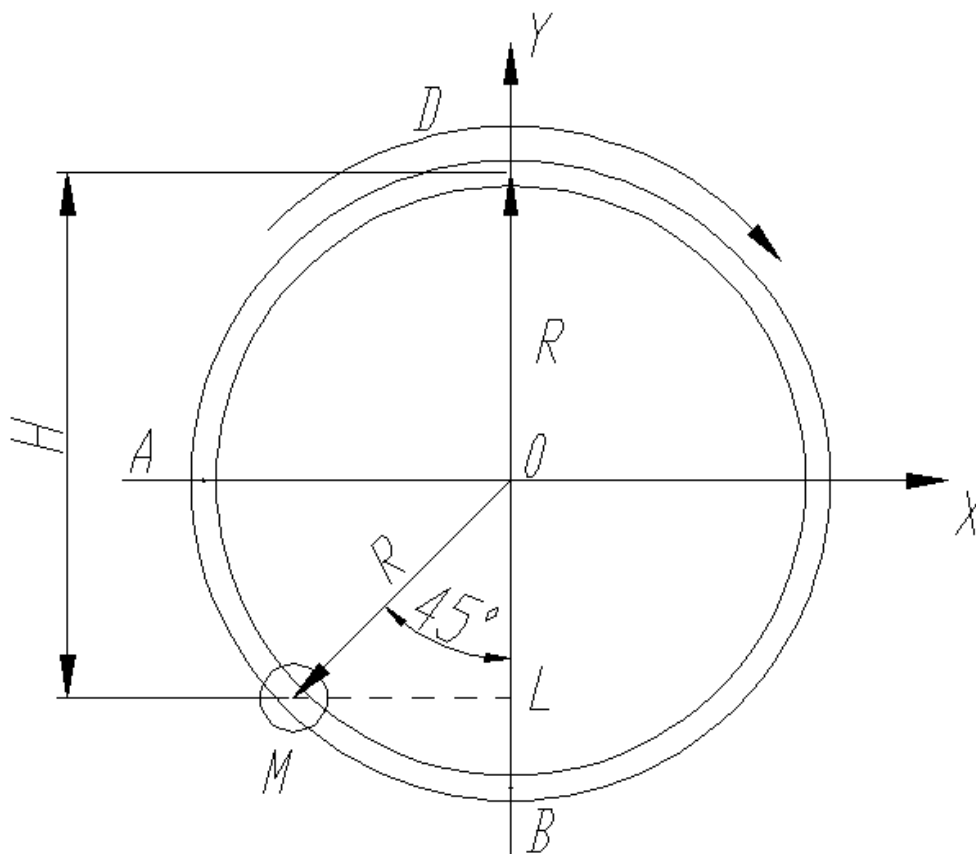


Рис. 1. Схема движения жидкости по замкнутому трубопроводу под влиянием разности температур

Пусть в качестве жидкости используется вода. При этом начальная температура воды (до нагрева) составляет  $40^{\circ}\text{C}$ , а в результате нагрева она повысится до  $60^{\circ}\text{C}$ . Плотность воды при этих температурах характеризуется величинами  $\rho_1 = 992$  кг/куб. м и  $\rho_2 = 983$  кг/куб. м [4] соответственно.

Найдем величину гидравлического напора:

$$F = gH(\rho_2 - \rho_1),$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>. Подставляя численные значения, получим,  $F = 306$  Па = 0,03 м вод. столба.

Будем считать, что в нашем примере используются широко распространенные «дюймовые» трубы с внутренним диаметром 0,0254 м. Принятое допущение

об отсутствии местных потерь дает основание приравнять величину рассчитанного гидравлического напора потерям напора по всей длине трубопровода [5]:

$$F = \lambda \frac{c \cdot v^2}{d \cdot 2 \cdot g}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – коэффициент гидравлического трения (коэффициент Дарси);  $d$  – диаметр трубы, м;  $V$  – скорость движения воды, м/с.

Для ламинарного режима движения воды коэффициент Дарси определяется соотношением  $\lambda = 64/Re$ , где  $Re$  – число Рейнольдса. Известно, что для ламинарного режима  $0 < Re < 2320$ . Тогда при  $Re = 2000$  коэффициент Дарси  $\lambda = 0,03$ .

Из соотношения (1) выразим значение скорости потока жидкости:

$$V = \sqrt{\frac{2gFd}{l\lambda}}$$

После подстановки численных значений получим  $V = 0,197$  м/с. При этом расход воды найдем произведением:  $Q = VS$ , где  $S$  – сечение трубы, м<sup>2</sup>. Для трубопровода с принятыми параметрами  $Q = 0,932 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>/с = 033 м<sup>3</sup>/ч.

Таким образом, учитывая среднюю плотность воды 990 кг/куб. м, можно сказать, что в течение часа по трубопроводу будет перемещены 326, 7 кг воды.

Такое же количество воды окажется поднятым на высоту  $H$ . Поднятая вода приобретет потенциальную энергию  $A$ , определяемую произведением  $mgH$ :

$A = mgH = 10.960$  Дж. которая в пересчете на 1 час будет характеризоваться мощностью 3 Вт.

Используя изложенную методику можно оценить энергетические показатели процесса для других параметров жидкости, трубопровода, а также для иных значений температур. При этом для практического использования явления следует применять наименее вязкие жидкости, обладающие наиболее выраженной зависимостью плотности от температуры.

### *Список литературы*

1. Андреев С.А. Энергонезависимое поддержание уровня теплоносителя в автономных отопительных системах / С.А. Андреев, Д.В. Шибаров // Современные материалы, техника и технологии: научно-практический журнал. 2015, №3 (3) / Редкол.: Горохов А.А. (отв. ред.); Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск: 2015. – С. 17–23.
2. Патент №143227 Российская Федерация МПК E03 В3/00 (2006.01) Устройство для подъема воды / С.А. Андреев, Ю.А. Судник, Д.В. Шибаров. – 2013152074/13; заявл. 25.11.2013; опубл. 20.07.2014. Бюл. №20.
3. Патент №156079 Российская Федерация МПК F24 J3/08, F03 G7/04 Устройство для получения электроэнергии / С.А. Андреев, Ю.А. Судник, Д.В. Шибаров. – 2014140412/06; заявл. 07.10.2014; опубл. 27.10.2015. Бюл. №30.
4. Кухлинг Х. Справочник по физике / Пер. с нем. – 2-е изд. – М.: Мир, 1985. – 520 с.
5. Бульба Е.Е. Основы гидравлики: Учебное пособие / Е.Е. Бульба; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 109 с.