

Использование тепловой энергии грунтовых вод для предотвращения замерзания металлических водонапорных башен

А.Б. Рязанов, к.т.н., М.Б. Фомин, к.т.н.,
ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ

Цель исследования – обосновать способ предотвращения замерзания металлических водонапорных башен путём использования тепловой энергии грунтовых вод.

Материал, методы и результаты исследования. При регулярном поступлении воды из скважины (а вместе с ней и тепловой энергии) в металлические водонапорные башни Рожновского можно предотвратить их замерзание, тем самым организовать надёжное бесперебойное водоснабжение потребителей в любое время года [1–4]. Однако, как было отмечено в ранее опубликованном исследовании, водоразбор всегда имеет нерегулярный характер, т.е. в нём присутствуют периоды малого водопотребления или его отсутствия [1]. Если длительность таких периодов велика, то металлические водонапорные башни будут замерзать.

Мы предлагаем усовершенствовать конструктивно-режимные параметры металлических водонапорных башен Рожновского таким образом, чтобы тепловая энергия грунтовых вод поступала к ним вне зависимости от поступления воды, т.е. от режима водопотребления.

Конструкция выглядит следующим образом. В грунтовые воды помещается рекуперативный теплообменный аппарат, с помощью которого

тепловая энергия от грунтовых вод будет передаваться теплоносителю. Он, в свою очередь, будет отдавать эту энергию воде, находящейся в водонапорной башне. Возможно брать воду из самой башни, пропускать её через теплообменный аппарат и уже подогретую возвращать обратно (рис. 1), а также использовать промежуточный теплоноситель (рис. 2), который будет забирать тепло от грунтовых вод через подземный теплообменник и отдавать его воде в башне через теплообменный аппарат, расположенный внутри башни.

Тепловой поток через наружную цилиндрическую стенку башни рассчитываем по следующему выражению [5]:

$$Q = \frac{\pi \cdot l (T_{\text{воды}} - T_{\text{возд}})}{\frac{1}{\alpha_1 d_{\text{нар}}} + \frac{1}{2\lambda_{\text{ст}}} \ln \frac{d_{\text{нар}}}{d_{\text{вн}}} + \frac{1}{2\lambda_{\text{л}}} \ln \frac{d_{\text{вн}}}{d_{\text{вн.л}}} + \frac{1}{\alpha_2 d_{\text{вн.л}}}}, \quad (1)$$

где Q – тепловой поток, Вт;

l – высота цилиндра, м;

$T_{\text{воды}}$ – температура воды в башне, К;

$T_{\text{возд}}$ – температура окружающего воздуха, К;

α_1 – коэффициент теплоотдачи от стенки к воздуху, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}}$;

α_2 – коэффициент теплоотдачи от воды к стенке, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}}$;

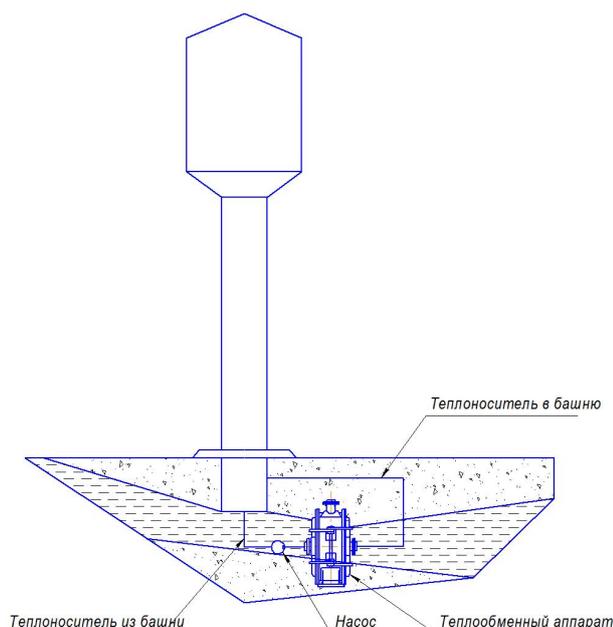


Рис. 1 – Схема расположения теплообменного аппарата в грунтовых водах

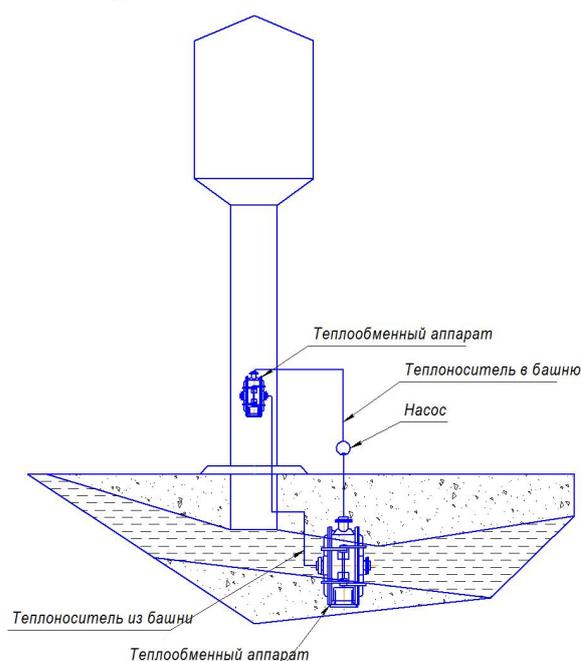


Рис. 2 – Схема расположения теплообменного аппарата в грунтовых водах и стойке водонапорной башни

$\lambda_{ст}$ – коэффициент теплопроводности стальной стенки, $\frac{Вт}{м \cdot К}$;

$\lambda_{л}$ – коэффициент теплопроводности стенки льда, $\frac{Вт}{м \cdot К}$;

$d_{нар}$ – наружный диаметр стальной стенки, м;

$d_{вн}$ – внутренний диаметр стальной стенки, м;

$d_{вн,л}$ – внутренний диаметр стенки льда, м.

Коэффициенты теплоотдачи рассчитываем по следующим эмпирическим зависимостям [6]:

$$\alpha_1 = 5,6 + 4 \cdot v_{возд}; \quad (2)$$

$$\alpha_2 = 350 + 2100 \sqrt{v_{воды}}, \quad (3)$$

где $v_{возд}$, $v_{воды}$ – скорости воздуха и воды, $\frac{м}{с}$.

Эта же энергия должна поступать в башню ежесекундно для предотвращения дальнейшего льдообразования. Следовательно, площадь стенки теплообменного аппарата, который необходимо разместить в грунтовых водах для предотвращения замерзания водонапорной башни, можно рассчитать следующим образом:

$$S = \frac{Q \cdot \left(\frac{1}{\alpha_{нар}} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_{вн}} \right)}{T_{гр} - T_{воды}}, \quad (4)$$

где $T_{гр}$ – температура грунтовых вод, К;

$T_{воды}$ – температура воды в башне, К;

$\alpha_{нар}$ – коэффициент теплоотдачи от грунтовых вод к стенке теплообменного аппарата, $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$;

$\alpha_{вн}$ – коэффициент теплоотдачи от стенки теплообменного аппарата к теплоносителю, $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$.

По данным уравнениям был получен график зависимости площади поверхности теплообмена, необходимой для предотвращения замерзания башни, от скорости теплоносителя в теплообменном аппарате.

Расчёты проводились при следующих параметрах: объём водонапорной башни 25 м³, температура воздуха –30°С, скорость ветра 5 м/с, температура грунтовых вод 5°С, скорость грунтовых вод равна нулю. Эти значения параметров являются достаточно экстремальными, что позволяет утверждать, что при рассчитанной таким образом поверхности теплообмена в башню будет поступать достаточное количество энергии для предотвращения её замерзания в различных условиях эксплуатации [7 – 10].

График (рис. 3) и расчёты показывают:

1. Площадь поверхности теплообмена достаточно мала (порядка 1 м²), что позволяет достаточно просто разместить такой теплообменный аппарат в грунтовых водах.

2. Расчётное значение поверхности теплообмена практически не зависит от скорости теплоносителя (это обусловлено высокой теплоотдачей между

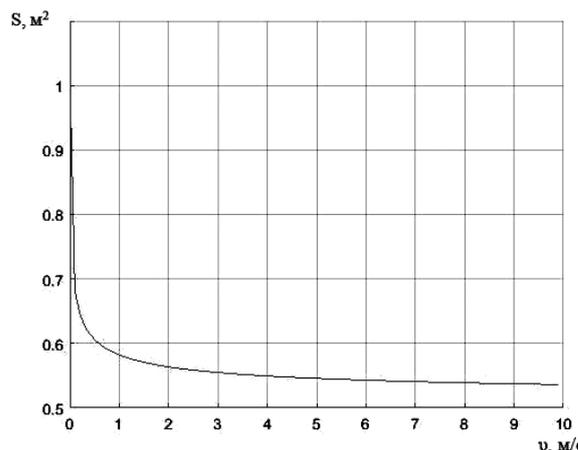


Рис. 3 – Зависимость площади поверхности теплообмена S (м²) от скорости теплоносителя v (м/с)

стенкой и жидкостью). Соответственно не потребуются большие значения энергии для обеспечения циркуляции теплоносителя.

Вывод. Предложенные изменения конструктивно-режимных параметров работы металлических водонапорных башен Рожновского позволяют организовать непрерывное поступление тепловой энергии к находящейся в них воде, тем самым исключается их замерзание при любых климатических условиях и режимах водопотребления.

Литература

1. Рязанов А. Б. Повышение эффективности функционирования водонапорной башни Рожновского при отрицательных температурах окружающего воздуха: дис. ... канд. техн. наук. Оренбург, 2012. 136 с.
2. Петько В. Г., Рязанов А. Б. Совершенствование конструктивных параметров водонапорных башен Рожновского для повышения устойчивости к обледенению // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2009. № 4 (24). С. 85 – 86.
3. Петько В. Г., Рязанов А. Б. Перспективы усовершенствования водоснабжения в АПК // Состояние, перспективы экономико-технологического развития и экологически безопасного производства в АПК. Оренбург: Изд. центр ОГАУ, 2010. С. 524 – 527.
4. Пат. РФ № 2379452, МПК Е 04 Н 12/30. Водонапорная башня / В. Г. Петько, А. Б. Рязанов; опубл. 20.01.10. Бюл. № 2.
5. Брюханов О. Н., Шевченко С. Н. Тепломассообмен. М.: АСВ, 2005. 460 с.: ил.
6. Куллинг Х. Справочник по физике: пер. с нем. Е. М. Лейкина. 2-е изд. М.: Мир, 1985. 520 с.: ил.
7. Асманкин Е. М., Рязанов А. Б., Фомин М. Б. Использование низкопотенциальной геотермальной энергии для предотвращения льдообразования в металлических водонапорных башнях // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2015. № 6.
8. Фомин М. Б. Экспериментальное исследование процесса льдообразования водонапорных ёмкостей с комбинированным подводом энергии / М. Б. Фомин, Е. М. Асманкин, И. А. Рахимжанова [и др.] // Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК. Оренбург: Изд. центр ОГАУ, 2017. С. 46 – 50.
9. Петько, В. Г. Процесс обледенения металлической водонапорной башни в системах водоснабжения объектов сельского хозяйства, выполненной по типу «бак – стойка» / М. Б. Фомин, В. Г. Петько, Л. Р. Фомина [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 5(67). С. 129 – 132.
10. Asmankin Y. M., Ushakov Y. A., Fomin M. B., Fomina L. R. More efficient use of the water tower agricultural land at low ambient temperatures, V international scientific congress. Agricultural machinery 2017, 21.06 – 24.06.2017, Varna, Bulgaria. P. 149 – 151.