

## Использование геотермальной энергии как способ стабилизации систем сельскохозяйственного водоснабжения

*М.Б. Фомин, к.т.н., А.Б. Рязанов, к.т.н., А.Ф. Абдюкаева, к.т.н., В.В. Реймер, к.т.н., Л.Р. Фомина, аспирантка, ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ*

Для высокопроизводительной деятельности сельскохозяйственных предприятий необходима чётко работающая и экономически выгодная система водоснабжения, которая спроектирована на основе сопоставления технологических вариантов с учётом особенностей объекта потребления, требуемых расходов и напора воды в различные периоды его развития, используемых источников водоснабжения при соответствующем качестве питьевого или технического ресурса. Территориальная рассредоточенность объектов хозяйствования обуславливает необходимость создания систем водоснабжения различной степени централизации, с увеличением которой основные сооружения системы будут функционировать в режиме стабильных нагрузок, следовательно, с более высоким коэффициентом использования [1].

**Цель исследования** — разработать и экспериментально проверить алгоритм расчёта конструктивных параметров металлических водонапорных башен для предотвращения их замерзания с использованием геотермальной энергии.

**Материал, методы и результаты исследования.** Как показывают результаты обследования технического состояния механизированного водоснабжения животноводческих ферм и комплексов, спроектированного по наиболее распространённой схеме, включающей водозабор с насосной станции, разводящую сеть и регулирующие сооружения, более половины (55%) из них нуждаются в технической модернизации (32% — рекомендованы на частичную реконструкцию, 12% — требуют функционального расширения и 11% — должны быть восстановлены полностью) [2].

Учитывая, что водонапорные башни, проектируемые с повышенным уровнем устойчивости к обледенению, относятся к комбинированным технологическим системам, следует иметь достоверные данные о влиянии совокупности источников и стоков теплоты, действующих в конкретной теплофизической модели, на температуру любого из её компонентов. Фактически речь идёт об установлении законов распределения температур

на различных участках технологической системы — буферной ёмкости, в первую очередь в местах льдообразования или в координатах внутренней полости, предполагаемых к заполнению растущим льдом. Дополнительно необходимо отметить, что на сегодняшний день не существует строго определённых конфигуративных матриц кристаллообразования, определяющих будущую форму ледяной массы. Стохастическое же образование ядер кристалла льда не даёт возможности работать с локальным направленным температурным полем как с тепловым явлением, препятствующим замерзанию эксплуатируемого гидросооружения [3].

Несмотря на сложность аналитических процедур в основу алгоритма теплофизического анализа должно быть положено уравнение, отражающее зависимость скорости нарастания льда от факторов, определяемых числом, месторасположением и формой источников и стоков теплоты в конструкционно-технической системе водонапорной башни [4, 5]. Остановка нарастания льда возможна при реализации адекватного итогового потока теплообмена, плотность которого формируется граничными условиями мощностных характеристик (напорных, аэрологических, конвекционных и т.д.) дополнительных источников энергии [1].

Поэтапная схематизация форм источников и стоков теплоты, действующих в технологической цепи системы водораспределения, привели к созданию схмотехнических решений, запатентованных и использованных при оптимизации конфигуративных и режимных параметров теплогенерирующих устройств для ёмкостей башенного типа, эксплуатируемых в дискретном режиме водопотребления [4].

Учитывая комбинированную специфику подвода тепла к гидронаполнителю буферной ёмкости, рассматривался вопрос замещения типового фундамента опорной колонны на адекватный по обеспечению её устойчивости резервуар подземного расположения, ниже опорного грунта. Играв роль противовеса, резервуар-накопитель совмещает в себе как функцию противопожарной ёмкости, не участвующей в разборе воды потребителям, так и функцию объёмного объекта стока радиогенного тепла и передачи тепловой энергии эксплуатируемой ёмкости. Поскольку

гипотетически можно утверждать, что целесообразно агрегатирование механизмов водонапорной башни с ветроэнергетическими установками, то следует иметь в виду влияние теплофизических параметров подземной части гидросооружения на общую структурную схему теплообмена при разработке алгоритма теплофизического анализа [2, 6–9]. Т.е. оптимизация размеров подземной части ёмкости должна проводиться на основе научно-инженерных расчётов для уровня подсистемы, находящейся в параметрическом и функциональном взаимодействии и взаимовлиянии при регламентированных условиях реализации технологического процесса дискретного водопотребления.

При составлении математической программы необходимо в первую очередь по справочным данным определить теплофизические характеристики материалов, влияющих на величины тепловых потоков в водонапорной башне, таких как теплопроводность стали, льда и грунта (в анализируемых диапазонах температур их можно считать постоянными). Далее в программу вносятся геометрические данные рассчитываемой водонапорной башни и метеорологические параметры, влияющие на рассматриваемый процесс, – скорость ветра, температура окружающего воздуха и грунта [10].

Значения коэффициентов теплоотдачи от стенки к воздуху и от воды к стенке, а также термическое сопротивление грунта определяется как:

$$\alpha_{возд} = 5,6 + 4 \cdot v_{возд}, \quad (1)$$

$$R_{сп} = \frac{\delta_{усл}}{\lambda_{сп}}, \quad (2)$$

где:  $v_{возд}$  – скорость воздуха, м/с;  $\delta_{усл}$  – условная глубина грунта, м;  $\lambda_{сп}$  – коэффициент теплопроводности грунта,  $\frac{Вт}{м \cdot К}$ .

Рассчитывая тепловой поток через боковую поверхность бака и опоры водонапорной башни, следует учитывать высоту цилиндра (1); температуру воды в башне ( $T_{воды}$ ) и окружающего воздуха ( $T_{возд}$ );

коэффициенты теплоотдачи от стальной стенки к воздуху ( $\alpha_1$ ) и от воды к стенке ( $\alpha_2$ ); коэффициенты теплопроводности стальной стенки ( $\lambda_{ст}$ ) и льда ( $\lambda_л$ ); наружный диаметр стальной стенки ( $d_{нар}$ ), внутренние диаметры стальной стенки и льда, что описывается выражением:

$$Q = \frac{\pi \cdot l (T_{воды} - T_{возд})}{\frac{1}{\alpha_1 d_{нар}} + \frac{1}{2\lambda_{ст}} \ln \frac{d_{нар}}{d_{вн}} + \frac{1}{2\lambda_л} \ln \frac{d_{вн}}{d_{вн.л}} + \frac{1}{\alpha_2 d_{вн.л}}}. \quad (3)$$

Технологически тепловой поток от грунта должен компенсировать тепловые потери наружной части башни. Следовательно, расчётная процедура должна предполагать баланс тепловых потоков, что делает возможным определение площади стенок подземной ёмкости, через которые осуществляется теплопоступление от грунта, с учётом температуры грунта ( $T_{сп}$ ), термического сопротивления грунта ( $R_{сп}$ ) и толщины стальной стенки ( $\delta_{ст}$ ):

$$S = \frac{Q \cdot (R_{сп} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2})}{T_{сп} - T_{воды}}. \quad (4)$$

Разработанный алгоритм позволяет найти площадь подземной ёмкости металлических водонапорных башен Рожновского различных моделей, при внедрении которой башни не подвергнутся перемерзанию при отрицательных температурах воздуха, температурных колебаниях грунта и экстремальном ветровом режиме. Предлагаемый алгоритм был реализован авторами в среде Mathworks Matlab R2012a и использован при анализе схемотехнических решений и элементов систем сельскохозяйственного водоснабжения.

На базе экспериментальных исследований лабораторной установки были проведены тестовые расчёты. Экспериментальная установка – металлическая цилиндрическая ёмкость с водой (высота 250 мм, внутренний диаметр 280 мм, толщина стенки – 0,7 мм), помещённая в грунт с теплоизоляционным экраном сверху (рис. 1). Охлаждение

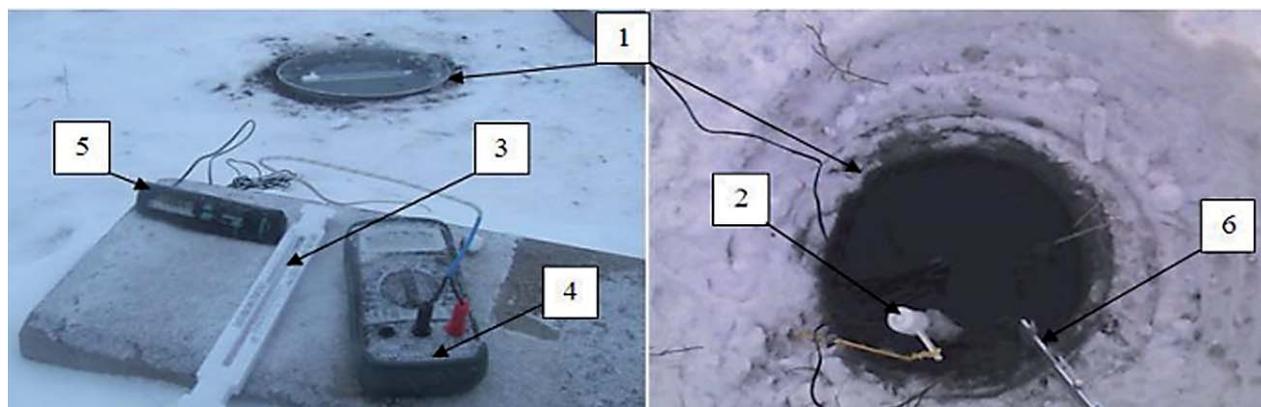


Рис. 1 – Экспериментальная установка по определению параметров работы подземной ёмкости с водой: 2 – технический термометр с органической жидкостью (СП-2 ТУ25–11.663–76; 0...+50); 3 – термометр метеорологический (ТМ-1 ГОСТ 112–78; – 35...+50); 4 – мультиметр (UNI-T UT33С); 5 – электронные часы; 6 – штангенциркуль (ШЦ-1)

воды в ёмкости осуществлялось в процессе теплообмена с грунтом.

Полученные результаты экспериментальных исследований лабораторного оборудования, позволяющего моделировать тепловые процессы в металлических водонапорных башнях, выявили достоверность расчётных параметров на уровне свыше 90% (рис. 2).

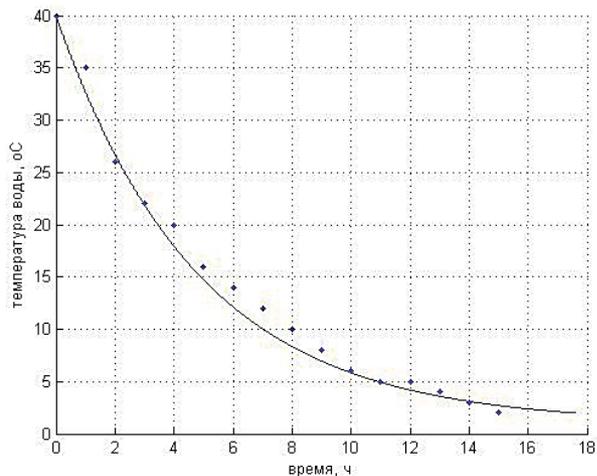


Рис. 2 — Результаты расчётных и экспериментальных данных исследования процесса обледенения гидросооружений

Можно утверждать достоверно, что полученная математическая модель адекватно описывает процессы теплопередачи в подземных ёмкостях и приемлема при проектировании устойчивых к обледенению водонапорных башен с подземными ёмкостями для эксплуатации в периоды устойчивых отрицательных температур.

**Вывод.** Применение программы для ЭВМ, основанной на разработанном алгоритме, учитывающем параметрическую вариабельность схмотехниче-

ских решений водонапорных башен, адекватную характеристикам льдообразования в контрольный период водопотребления, позволяет сократить себестоимость проектируемой конструкции в 1,5 раза ещё на этапе до её технической реализации.

### Литература

1. 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. С. 7–28.
2. Асманкин Е.М. Способ повышения устойчивости водонапорной ёмкости к обледенению / Е.М. Асманкин, И.А. Рахимжанова, М.Б. Фомин [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 2 (58). С. 48–49.
3. Кухлинг Х. Справочник по физике: пер. с нем. Е.М. Лейкина. 2-е изд. М.: Мир, 1985. 520 с.: ил.
4. Сотников А.Г. Теплофизический расчёт теплопотерь подземной части здания // АВОК. 2010. № 8. С. 62–67.
5. 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: Издательский центр ОГАУ, 2017. С. 46–50.
6. Асманкин Е.М. Водонапорная башня / Е.М. Асманкин, М.Б. Фомин, И.А. Рахимжанова [и др.] // Официальный бюллетень «Изобретения. Полезные модели» RU 162119, 2016. Бюл. № 15.
7. Петько В.Г., Рязанов А.Б. Совершенствование конструктивных параметров водонапорных башен Рожновского для повышения устойчивости к обледенению // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2009. № 4. С. 85–86.
8. 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, С.А. Соловьев [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 5 (67). С. 129–132.
9. Петько В.Г., Рязанов А.Б. Перспективы усовершенствования водоснабжения в АПК // Состояние, перспективы экономико-технологического развития и экологически безопасного производства в АПК. Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2010. С. 524–527.
10. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2015618683 РФ. Расчёт размеров подземной части ёмкости водонапорных башен с ветроэнергетической установкой / Е.М. Асманкин, В.Г. Петько, М.Б. Фомин, А.Б. Рязанов, А. Рахимжанова.