

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАВАЮЩЕЙ КРЫШИ РЕЗЕРВУАРА С УСТРОЙСТВОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОДОГРЕВА

Маяков Г.С.¹, Клепиков С.И.²

¹Маяков Георгий Сергеевич – магистрант;

²Клепиков Сергей Иванович – профессор, доктор технических наук,
факультет автоматизации и информационных технологий,

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
Тихоокеанский государственный университет,
г. Хабаровск

Аннотация: на примере конкретного технического решения рассмотрена эффективность устройства электрического подогрева для плавающей крыши. Проведен анализ воздействия снеговой нагрузки на плавающую крышу и подбор оборудования.

Ключевые слова: резервуар, плавающая крыша, снеговые осадки, электрический подогрев, снеговая нагрузка.

На сегодняшний день поверхность плавающих крыш резервуаров очищают ручным способом при толщине снега более 100мм. Процесс очистки снега весьма трудоемкий, так как на плавающей крыше может образоваться сложная снежоледовая смесь, которая при толщине 10 см на резервуаре объемом 50000 м³ весит порядка 28,7 тонны [1].

Опыт эксплуатации резервуаров с плавающей крышей показал, что снеговой покров на плавающей крыше распределен неравномерно по поверхности. Неравномерность распределения снеговых нагрузок приводит к возникновению кренящего момента, который способствует отказу в работоспособности или вовсе к затоплению плавающей крыши. Отмечены случаи потопления плавающих крыш резервуаров, которые эксплуатировались в районах со снеговой нагрузкой 1,5 кПа и выше [4]. Неравномерность распределения снеговой нагрузки обусловлена геометрическими параметрами резервуара, скоростью и направлением потока ветра при снегопаде, высотой уровня жидкости в резервуаре.

В статье предложено конкретное техническое решение по подогреву снежоледяных осадков на плавающей крыше, результат которого это - избежание ручного труда путем автоматизации всей конструкции, а также равномерное распределение тепла по обогреваемой поверхности.

Подбор оборудования для реализации технического решения

Наиболее эффективной, дешевой и простой в монтаже является кабельная система обогрева. Данная система уже активно применяется для избавления кровли домов от обледенения и снега [2]. Имеется множество поставщиков и специалистов, осуществляющих монтаж оборудования. Необходимо только внедрить эту технологию для избавления от снеговой нагрузки на поверхности плавающей крыши резервуара.

Состав системы кабельного обогрева кровли: нагревательный (греющий) кабель; соединительные и концевые муфты для греющего кабеля; силовой питающий кабель; датчик температуры и влаги и др. элементы.

Самым важным элементом является нагревательный кабель. По принципу действия его разделяют на саморегулирующийся и резистивный. Первый, изменяет температуру нагрева в зависимости от погодных условий, а второй имеет постоянную мощность по всей длине кабеля.

Так как потребность тепла на различных участках плавающей крыши примерно равна, то наиболее эффективным будет прокладка резистивного нагревательного кабеля марки Nexans Defrost Twin 28Вт/м. Резистивный кабель нагревается за счет внутреннего сопротивления току. Он имеет одну или две жилы и покрывается защитным слоем. Данные кабели широко применяются для обустройства «теплых полов» и «теплых лестничных площадок» и характеризуются невысокими затратами на монтаж и эксплуатацию.

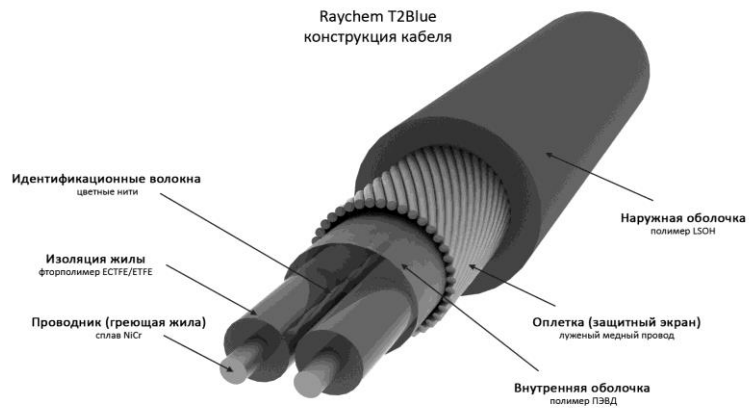


Рис. 1. Резистивный кабель:

1 - проводник (греющая жила, сплав NiCr); 2 - изоляция жилы (фторполимер); 3 – идентификационные волокна; 4 – внутренняя оболочка; 5 – оплетка (защитный экран); 6 – наружная оболочка (полимер LSOH)

Основным недостатком резистивного кабеля является одинаковая теплоотдача по всей длине, что при неравномерном распределении снега или засорении поверхности кабеля может привести к его перегреву. При монтаже данного кабеля необходимо очень точно рассчитать его длину, чтобы обеспечить необходимую мощность для обогрева.

Схема прокладки оборудования

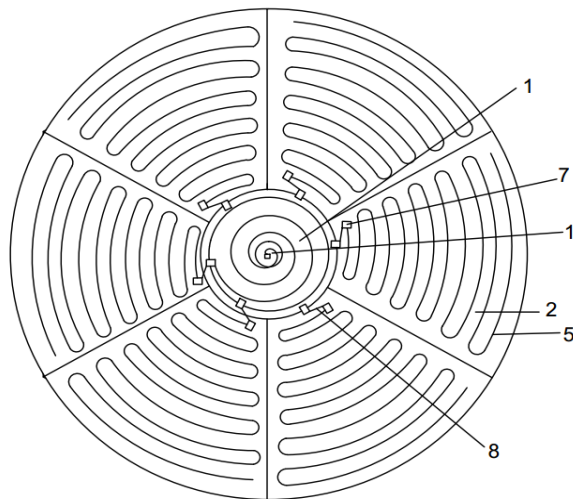


Рис. 2- Плавающая крыша резервуара, вид сверху

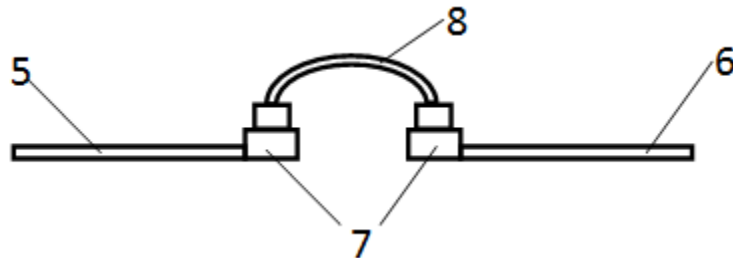


Рис. 3. Соединительный разъем греющих кабелей

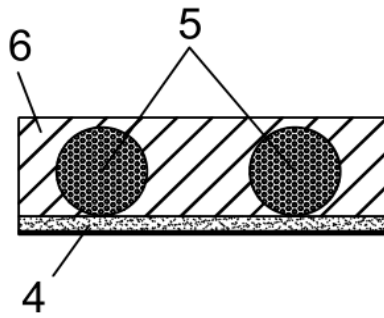


Рис. 4. Конструкция электрического подогрева в профиль

Плавающая крыша с устройством электрического подогрева представляет собой конструкцию, состоящую из: кольцевого отсека (1), радиального отсека (2), патрубка системы водоспуска (3), теплоизолирующего слоя (4), греющего кабеля (5), теплопроводного слоя (6), разъемов (7), соединительного кабеля (8).

Плавающую крышу резервуара покрывают теплоизолирующим слоем, поверх него на каждом из отсеков укладывается греющий кабель, который покрывается теплопроводным слоем с высокой теплоемкостью, накапливающим тепло за счет электроподогрева кабелем, и дальнейшим равномерным распределением его по поверхности, в результате чего снег тает и испаряется, причём теплоаккумулирующий слой связывает греющий кабель с теплоизолирующим слоем, а концы кабелей, уложенных на кольцевой и радиальные отсеки, снабжены разъёмами через которые греющие кабели сообщаются между собой соединительными кабелями.

Анализ потребляемой мощности и затрат на эксплуатацию конструкции

Для примера возьмем г. Хабаровск, Хабаровского края. Для расчета мощности примем месяц январь, так как он с наибольшей средней суммой осадков и отрицательной среднемесячной температурой.

Рассмотрим случай сильного снегопада, в условиях которого количество осадков за 24 часа приблизительно равно месячной норме осадков.

В соответствии с СП 131.13330.2012 [3] количество осадков в холодный период года составляет 82 мм, следовательно, месячная норма осадков 14 мм. Объемный расход составит 0,58мм/ч

Так как миллиметр осадков это один литр воды на квадратный метр, то количество осадков в виде снега при плотности последнего 100кг/м³ составит h= 5,8мм/ч.

Для резервуара РВСПК 50000 его диаметр будет равен D = 60,4м, а площадь плавающей крыши S=2865м².

Массовый расход выпадающего снега при плотности ρ=100 кг/м³ на 1 м² составит G=0,58кг/ч.

Мощность необходимая для нагревания снега определяется по формуле

$$Q=G \cdot C_{\text{сн}} \cdot (t_2 - t_1) \quad (1)$$

где: G- часовая расход;

C_{сн}-теплоемкость снега, 2,1 кДж/(кг*К);

t₁ - среднесуточная температура января, -19,3⁰С [3];

t₂=0⁰С.

Q_н=0,58*2100*(0+19,3)=23,64 кДж/ч.

Мощность, необходимая для плавления 0,58 кг/ч снега в воду определяется по формуле :

$$Q_{\text{пл}}=\lambda \cdot G,$$

где: λ - удельная теплота плавления льда, равная 335 кДж/кг.

$$Q_{\text{пл}}=335 \cdot 0,58=194,3 \text{ кДж/ч}$$

Мощность, необходимая для нагрева 1 кг воды от 0⁰С до 5⁰С, определяется по формуле:

$$Q_{\text{нв}}=C_{\text{в}} \cdot G \cdot (t_3 - t_2) \quad (2)$$

где: C_в - удельная теплоемкость воды, равная 4,2 кДж/(кг*К);

G - часовая расход;

t₂ - температура воды начальная, 0⁰С;

t₃ - температура воды конечная, 5⁰С.

$$Q_{\text{нв}} = 4,2 \cdot 0,58 \cdot (5 - 0) = 12,18 \text{ кДж/ч.}$$

Суммарная тепловая мощность для плавления 5,8 мм/ч снега на плавающей крыше резервуара с площадью S=2865 м² определяется по формуле:

$$Q=(Q_{\text{н}}+Q_{\text{пл}}+Q_{\text{нв}}) \cdot F, \quad (3)$$

$$Q=(23,64+194,3+12,18) \cdot 2865=230,12 \text{ кВт}$$

Определение потерь тепловой мощности при оттаивании снежного покрова.

При выпадении снега на плавающую крышу и последующем его оттаивании образуется сложная неравномерно распределенная снеговодная смесь с различной температурой, которая также взаимодействует с окружающим воздухом, и поэтому точное количество потерянной мощности можно установить только эмпирическим путем.

Для теоретического определения потерь принимаем несколько допущений: температура поверхности плавающей крыши по всей площади одинакова; площадь соприкосновения снега и поверхности плавающей крыши равна 75% от всей площади; тепло переданное снегу полностью поглощается им и не передается в окружающую среду; теплом, переданным плавающей крыше пренебречь. Потери тепла в основном идут на нагрев окружающего воздуха. Потери тепла в окружающую среду обусловлены теплоотдачей при обтекании воздуха поверхности плавающей крыши.

Потеря теплоты при обтекании воздуха определяется по формуле:

$$Q = \alpha * F * (t_c - t_v), \quad (4)$$

где: α – коэффициент теплоотдачи;

F – площадь соприкосновения поверхностей, принимаем равной 25% площади плавающей крыши;

t_c - температура стенки, принимаем 5°C ;

t_v - среднемесячная температура воздуха в январе, $-19,3^{\circ}\text{C}$.

Коэффициент теплоотдачи определяется по формуле:

$$\alpha = N_{удж} * \lambda_{ж} l, \quad (5)$$

где: $N_{удж}$ - средняя теплоотдача поверхности, определяется по формуле;

$\lambda_{ж}$ - теплопроводность воздуха, $0,0222 \text{ Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$ [4];

l - характерный линейный размер системы, принять равным четверти диаметра плавающей крыши, то есть $15,1 \text{ м}$;

$$N_{удж} = 0,032 Re_{лж}^{0,8}, \quad (6)$$

где: $Re_{лж}$ – число Рейнольдса, определяется по уравнению:

$$Re_{лж} = W * l_{вж},$$

$$Re_{лж} = W * l_{вж}, \quad (7)$$

где: W – средняя скорость ветра в Хабаровском крае, $3 \text{ м}/\text{с}$ [5];

$l_{вж}$ – вязкость воздуха при среднемесячной температуре воздуха, $16,06 * 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

$$Re_{лж} = W * l_{вж} = 3 * 15,116,06 * 10^{-6} = 2,82 * 10^6$$

$$N_{удж} = 0,032 Re_{лж}^{0,8} = 0,032 * (2,82 * 10^6)^{0,8} = 4626,4$$

$$\alpha = 4626,4 * 0,0222 * 15,1 = 6,8 \text{ Вт}/\text{м}^2 * \text{C} \quad Q = 6,8 * 28654 * (5 + 19,3) = 118 \text{ кВт}$$

Суммарная тепловая мощность включает в себя мощность необходимую для плавления снега и потерь тепла при обтекании воздухом плавающей крыши:

$$Q_{сумм} = 230,12 \text{ кВт} + 118 \text{ кВт} = 348,12 \text{ кВт}$$

Заключение

Таким образом, для избавления поверхности плавающей крыши от снеговой нагрузки наиболее эффективным является система кабельного обогрева. Данная система способна справиться с сильным снегопадом в кратчайшие сроки и имеет мощность $348,12 \text{ кВт}$. Уменьшение нагрузки на плавающую крышу способствует уменьшению кренящего момента и повышению ресурса уплотняющих затворов.

Список литературы

1. ОР-23.020.00-КТН-279-09. Специальный регламент по эксплуатации однодечной и двудечной плавающей крыши резервуаров РВСПК, ЖБРПК в зимний период. М.: ОАО «АК «Транснефть», 2009.
2. Использование систем с резистивными кабелями. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://kryshkrovli.ru/raboty/uteplenie/obogrev-krovli-i-vodostokov-montazh.html/> (дата обращения 15.03.2017).
3. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99* (с Изменением № 2). Дата введения 01.01.2013.
4. СНиП 23-02-2003 Строительные нормы и правила российской федерации. Тепловая защита зданий. Дата введения 26.06.2003.
5. Дальнереченский район // Климатология, 2014. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://dalnerechye.ru/index/spisok_naseljonnykh_punktov_dalnerechenskogo_rajona/0-62/ (дата обращения: 20.03.2017).