

## **ВЛИЯНИЕ ОХЛАЖДЕНИЯ СТОЧНЫХ ВОД НА ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДООТВЕДЕНИЯ**

**А. Н. КОВАЛЕНКО\***, канд. техн. наук, **В. А. ЮРЧЕНКО\*\***, д-р техн. наук,  
**А. В. КОВАЛЕНКО\*\***, канд. техн. наук, **Е. С. ЛЕБЕДЕВА\*\***

*\*КП «Харьковводоканал»*

*\*\*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры  
ул. Сумская, 40, г. Харьков, Украина, 61002  
e-mail: kaf-hgtusa@rambler.ru*

Ресурсосбережение и энергоэффективность в различных отраслях коммунального сектора города является перспективным направлением, которое реализует цели экологической безопасности. В настоящее время теплоснабжение объектов КП «Харьковводоканал» осуществляется от газовых котельных. Проектом предлагается для отопления комплекса использовать чиллер/тепловой насос с классом энергоэффективности А. В качестве источника низкопотенциального тепла используются неочищенные сточные воды с забором из камеры канализационного коллектора и сбросом в коллектор ниже камеры по течению. Отбор тепла циркуляционным контуром испарителя теплового насоса производится через коаксиальный теплообменник-утилизатор. Сточные воды имеют температуру около 22<sup>0</sup>С, при использовании теплообменной системы температура снижается на 6-8<sup>0</sup>С. Тепловой насос, работающий по принципу парокомпрессионной холодильной машины на хладагенте R134, переводит низкопотенциальную энергию на более высокий энергетический уровень. Циркуляционный контур конденсатора теплового насоса связан воздушной теплотрассой с существующей котельной. Из котельной теплоноситель подается на системы-потребители насосной группы. Существующая система отопления комплекса позволяет использовать тепловой насос как единственный источник тепла, или параллельно с котельной, кроме того сохраняется возможность работы только от котельной. Прогнозируемый срок окупаемости проекта составляет 5 лет.

Целью настоящей работы является количественная оценка влияния охлаждения транспортируемых сточных вод при использовании теплового насоса на образование и выброс экологически опасных газообразных соединений, а также показатели эксплуатационной долговечности бетонных трубопроводов водоотведения.

Известно, что при использовании тепловых насосов достигается следующие эффекты, способствующие повышению экологической безопасности водоотведения:

- прекращение использования природного газа для отопления;
- ликвидация выбросов парниковых газов в атмосферу.

Расчет ожидаемых сокращений выбросов (ОСВ,т СО<sub>2</sub> – экв), парниковых газов возможно рассчитать по формуле (1), рекомендованной ЦЭИ:

$$OCB = 0,63 \cdot V, \quad (1)$$

где  $V$  – среднегодовой объем потребленного газа за определенный период.

Ориентировочная стоимость выбросов парниковых газов составляет 100 грн/т  $CO_2$  – экв. В результате реализации данного проекта на одной из насосных станций канализационной сети г. Харькова достигается экономический эффект 45754 грн. за счет сокращения выбросов парниковых газов. Такой экологический эффект крайне важен, поскольку комитет ООН по обеспечению соблюдения Киотского протокола восстановил статус соответствия Украины требованиям протокола и снял с нее запрет на торговлю квотами на выбросы парниковых газов. Упомянутые выше экологические эффекты хорошо известны и широко рекламируются в предложениях по внедрению тепловых насосов на различных технических объектах. Однако, на сооружениях канализации охлаждение транспортируемых сточных вод позволяет достичь еще ряда положительных результатов, имеющих экологическое и эксплуатационное значение.

Канализационный коллектор представляет собой «биологический реактор», в котором происходят спонтанные микробиологические процессы, приводящие к целому ряду негативных последствий:

- образование высокотоксичных газообразных соединений в экологически опасных концентрациях:  $H_2S$ ,  $NH_3$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $NO_2$ ,  $CH_4$ ,  $CH_3CH_2SH$ ,  $CH_3SH$  и др., выброс которых в городскую атмосферу создает угрозу экологической безопасности населения;

- коррозионное разрушение сводовой части, которое на некоторых участках сети создает угрозу обрушения с чрезвычайно опасными последствиями как для городской среды и, так и населения, так и для надежности водоотведения. Наиболее опасным процессом для эксплуатационной долговечности бетонных конструкций и экологической безопасности городской атмосферы является микробиологическая сульфатредукция в транспортируемых сточных водах. Она продуцирует газообразный  $H_2S$  (соединение 2 класса опасности), который на сводовой части коллектора инициирует микробиологическую коррозию бетона.

Снижение температуры сточных вод приводит к замедлению процессов микробиологической сульфатредукции в сточной воде, согласно формуле (2):

$$\rho = \rho_{\max} \left( \frac{S}{K_m + S} \right) \cdot K_{f_2} \cdot K_t \cdot K_{pH}; \quad (2)$$

где  $\rho_{\max}$  – максимальная удельная скорость образования  $H_2S$ ,  $S$  – концентрация исходного субстрата  $SO_4^{2-}$ ,  $K_m$  – константа полунасыщения субстратом,  $K_{O_2}$ ,  $K_b$ ,  $K_{pH}$  – мультипликативные коэффициенты, учитывающие влияние на процесс кислородного режима, температуры, кислотности среды

$$K_t = 10^{k_T(T-T_{opt})}, \quad (3)$$

где  $k_T$  – коэффициент, равный для иммобилизованной микрофлоры - 0,03;  $T$  – температура среды,  $^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{opt}$  – оптимальная температура среды,  $25^{\circ}\text{C}$ .

Исходя из этой формулы, при понижении температуры на 6 градусов, скорость образования  $\text{H}_2\text{S}$  снижается ~ на 30%. Поскольку каждый участок канализационной сети можно рассматривать как квазистационарную систему с установившейся скоростью потока  $\text{H}_2\text{S}$  из сточных вод через атмосферу подсводового пространства в конденсатную влагу на своде, то ожидаемо аналогичное снижение концентрации  $\text{H}_2\text{S}$  в атмосфере коллектора и конденсатной влаге. Снижение температуры сточных вод приведет к повышению растворимости  $\text{H}_2\text{S}$  в воде и снижению его элюирования в газообразную среду. При снижении температуры воды на  $6^{\circ}\text{C}$  (с 22 до 16) растворимость  $\text{H}_2\text{S}$  повысится на 20 %, т.е. на 20% снизится выброс в атмосферу. Если суммировать эти эффекты, то в целом, концентрация  $\text{H}_2\text{S}$  в подсводовом пространстве коллекторов после снижения температуры транспортируемой сточной воды, снизится ~ на 45%. Суммарный эффект (СЭ) был посчитан по формуле (4):

$$СЭ = C_{исх.} \cdot \frac{100-30a}{100} \cdot \frac{100-20в}{100} = 0,5 \quad (4)$$

где  $C_{исх.}$  - исходная концентрация  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $a$  – эффект снижения концентрации  $\text{H}_2\text{S}$  в сточной воде, %,  $в$  – эффект задержания  $\text{H}_2\text{S}$  в сточной воде, %.

Скорость коррозии зависит от концентрации  $\text{H}_2\text{S}$  в конденсатной влаге, которая пропорциональна потоку  $\text{H}_2\text{S}$  из воздушной среды. Поскольку концентрация  $\text{H}_2\text{S}$  в воздухе после снижения температуры воды снизится ~ на 45 %, то его концентрация в конденсатной влаге снизится также ~ на 45 %, а значит и на столько же - концентрация образуемой из него серной кислоты.

Глубина коррозии бетона сводовой части коллектора зависит от концентрации серной кислоты на его своде согласно уравнению. Глубина коррозии бетона (5):

$$h_k = \sqrt{2\tilde{D}_k \frac{C_1^0}{C_1^*} t + \delta^2} - \delta \quad (5)$$

где  $Dk$  – коэффициент молекулярной диффузии кислоты в порах бетона,  $C_1^0$  – концентрации серной кислоты на поверхности бетона,  $C_1^*$  – концентрация серной кислоты на фронте коррозии,  $\delta$  – расстояния диффузии серной кислоты вглубь неповрежденного бетона впереди фронта коррозии [4].

Скорость коррозии бетона  $V_{корр.}$  можно определить из зависимости (6):

$$V_{корр.} = \frac{h_k}{t} \quad (6)$$

где  $h_k$  – глубина коррозии, см,  $t$  – продолжительность кислотной агрессии

При снижении концентрации  $\text{H}_2\text{S}$  в конденсатной влаге до 0,6  $C_{исх.}$ , глубина коррозии будет пропорциональна ~0,77 от исходной глубины. В целом, снижение глубины и скорости коррозии на сводовой части составит около 23%. Прямой расчет не отображает всех особенностей коррозии бетона

сводовой части коллектора: снижение концентрации серной кислоты в области рН 5,5 - 6,5 приведет к переводу процесса в чрезвычайно замедленную фазу. Кроме того, снижение температуры в лотковой части понизит температуру на сводовой части коллектора, что также снизит активность микробиологических коррозионных процессов. Выполненные расчеты свидетельствуют, что охлаждение сточных вод на участках канализационной сети на 6-8<sup>0</sup>С понизит выброс экологически опасных газообразных веществ ~ 40 % и скорость коррозии бетона сводовой части коллектора ~ 25 %.