

УДК 628.1-192; 62-192; 628-16

Атаев С. В., преп. (ПВУЗ «Европейский университет», г. Ровно)

## **НАДЕЖНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ БЫТОВОЙ КАНАЛИЗАЦИИ**

**Пропонується спосіб підвищення експлуатаційної надійності каналізаційних насосних станцій систем водовідведення населених пунктів шляхом вбудови блоку попередньої очистки стічних вод.**

**Предлагается способ повышения эксплуатационной надежности канализационных насосных станций систем водоотведения населенных пунктов путем встраивания блока предварительной очистки сточных вод.**

**The way of increase of operational reliability of sewer pump stations of systems of water removal of settlements by embedding of the block of preliminary sewage treatment is offered.**

**Ключевые слова: канализационная насосная станция, система водоотведения, эксплуатационная надежность, оценка надежности.**

Одним из элементов систем водоотведения населенных пунктов есть канализационные насосные станции (КНС) [1-7]. В целом надежность систем водоотведения зависит от надежности ее составных элементов, в том числе и от надежности КНС. Следовательно, при повышении надежности КНС можно в определенной мере влиять на надежность других элементов канализации (коллекторов, трубопроводов, канализационных очистных сооружений и т.д.) и системы водоотведения в целом.

**Практический** опыт показывает [1-4, 6-9], что в большинстве случаев выгоднее предусматривать дополнительные средства на обеспечение надежности КНС на первоначальном этапе (при проектировании), чем расплачиваться дополнительными эксплуатационными затратами (надежностью в будущем). При этом тот же опыт показывает, что не все современные КНС были запроектированы с учетом дополнительных критериев надежности.

На сегодняшний день водопроводно-канализационное хозяйство Украины в основном идет по пути дополнительных эксплуатационных затрат (ремонтные работы, реконструкция и т.п.) на повышение надежности КНС, которые полностью или частично выработали свой ресурс. Но все такие затраты сводятся, как правило, к простой замене старых элементов КНС (неработоспособного оборудования) на новые элементы. Считается, что замена, например, старого насосного агрегата (НА) новым гарантирует необходимый уровень надежности эксплуатации КНС в целом. Но это далеко не так. На работу

КНС в нормальном режиме влияет целый спектр факторов (рис. 1) [6, 10-12], которые в один момент могут усиливаться, в другие моменты – замедляться. Одни из них проявляются через несколько лет после ремонтных работ, другие – сразу после запуска КНС.

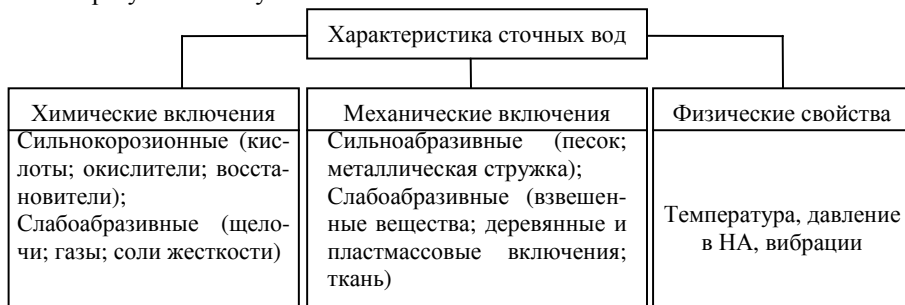


Рис. 1. Классификация факторов, которые зависят от характеристик перекачиваемой КНС сточной жидкости и способствуют увеличению интенсивности отказов насосных агрегатов

**Современные КНС** – это, как правило, однофункциональные объекты. Представление об эффективной работе КНС связано с бесперебойной перекачкой сточных вод. Считается, что расход сточных вод, который поступает на вход КНС, должен соответствовать расходу сточных вод на выходе станции [1]. Именно такое соотношение свидетельствует про эксплуатационную надежность этих объектов. При этом на другом плане остается вопрос качества сточных вод, которые поступают в канализационную сеть после КНС.

**В данной** работе рассматривается способ повышения эксплуатационной надежности КНС путем добавления новых элементов в техническую систему, несущих функцию очистки сточных вод. На примере реконструкции системы водоотведения населенного пункта рассчитана надежность таких станций продуктивностью перекачки сточных вод до 200 м<sup>3</sup>/сутки.

**При эксплуатации** КНС более эффективными методами повышения их надежности считаются [1-6]: плановое (профилактическое) обслуживание; повышение квалификации обслуживающего персонала; разработка инструкций и правил по эксплуатации КНС на основе научно обоснованных методов и принципов эксплуатации оборудования и т.д. Необходимо подчеркнуть, что не существует уникальных рекомендаций по повышению надежности КНС, находящихся в разных условиях работы. Каждая КНС по своему уникальна, поэтому лишь комплексное представление о ее надежности, т.е. с точки зрения работы в системе водоотведения, может способствовать повышению реального уровня надежности.

Одной из типичных систем водоотведения населенных пунктов есть канализация с. Весняное Николаевской обл., проблема реконструкции которой возникла по причине аварийного состояния КНС. При техническом осмотре

станции эксперты установили, что только стены, окна и перекрытия находятся в нормальном состоянии, все другие элементы, включая оборудование, находятся в неработоспособном состоянии. Как результат – затопление машинного зала, неудовлетворительная работа системы канализации (сброс неочищенных сточных вод на поля фильтрации) и повышение вероятности затопления прилегающих к станции селитебных территорий. По мнению контролирующих органов, выход из данной ситуации возможен только после проведения капитального ремонта станции, который предусматривает возобновление работы всех систем КНС, включая и оборудование. Но даже замена старых НА новыми не гарантировала бы надежную работу КНС и системы водоотведения в целом. Поэтому было принято решение включить в технологический блок КНС операции по предварительной очистке сточных вод при одновременной перекачке.

Принципиальная технологическая схема КНС со встроенным блоком предварительной очистки сточных вод показана на рис. 2.

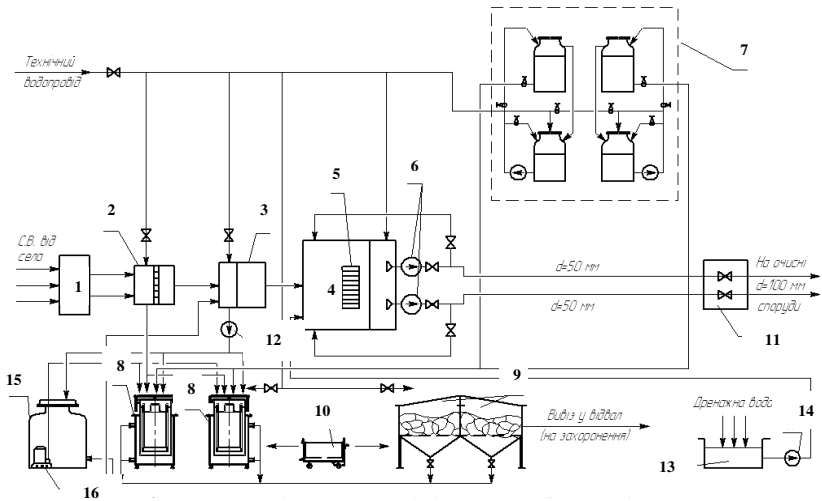


Рис. 2. Принципиальная технологическая схема КНС со встроенным блоком предварительной очистки сточных вод:

- 1 – колодец; 2 – механическая решетка; 3 – песколовка-отстойник; 4 – усреднитель-накопитель; 5 – биореактор; 6 – НА перекачки сточных вод; 7 – реагентное хозяйство;
- 8 – нутч-фильтр; 9 – бункеры для осадка; 10 – воз; 11 – колодец переключения;
- 12 – муловый НА; 13 – дренажный приямок; 14, 16 – НА перекачки осадков;
- 15 – бак осадков

На сегодняшний день внедрение в КНС элементов предварительной очистки сточных вод не есть решением «know how». Как на отечественном, так и на зарубежном рынке работают организации, которые предлагают такие но-

вовведения [10-14]. При этом большинство из них, к сожалению, не приводят конкретных данных о надежности таких станций. Поэтому на примере КНС с. Весняное были проведены расчеты ее надежности как до внедрения блока предварительной очистки сточных вод, так и после внедрения.

При оценке надежности КНС были приняты следующие условия: 1) из структурно-логической схемы исключены все системы, кроме технологического блока; 2) все коммуникации станции (вентиляция, автоматика и др.) соответствуют критериям надежности; 3) конструктивная надежность машинного зала соответствует всем нормам; 4) рабочие НА станции однотипны и работают параллельно, при этом предусматривается один резервный НА.

Эксплуатационная надежность исследуемой станции рассчитывалась согласно модели, описанной в [1]. При этом надежность станции до внедрения оценивалась при условии замены старых НА и возобновления работы всех других систем. После внедрения учитывалось также влияние технологических операций по предварительной очистке сточных вод на работу основных и резервных насосных агрегатов.

В качестве показателя эксплуатационной надежности исследуемой КНС использовалось соотношение [1]

$$\gamma = \frac{\Delta Q}{Q} = \frac{\int_0^{T_{np}} \Delta q(t) dt}{\int_0^{T_{np}} q_{ex}(t) dt}; \quad (1)$$

где  $\Delta Q$  – объем сточных вод, который не может быть перекачан КНС за период прогнозирования  $T_{np}$ , т.е. сбрасывается «на рельеф»,  $m^3$ ;  $Q$  – объем сточных вод, который поступает на вход КНС за время  $T_{np}$ ,  $m^3$ .

Значение  $\gamma$  лежит от 0 (абсолютно надежная КНС) до 1 (полностью неработающая КНС).

Строго говоря, приток сточной воды на вход станции  $Q$ , как функция времени, – стохастический процесс. Однако при оценке  $Q$  допустимо считать его постоянным, равным среднему значению расхода сточных вод  $(q_{ex})_{cp}$  ( $m^3/c$ ), поступающих на вход КНС. Тогда объем сточных вод, поступающих на вход КНС за время прогнозирования  $T_{np}$ , оценивается как

$$Q = (q_{ex})_{cp} \cdot T_{np}. \quad (2)$$

Используя статистические данные о эксплуатации КНС до отказа было установлено, что средний расход сточных вод на ее входе составляет  $(q_{ex})_{cp} = 0,003 m^3/c$ . Термин прогнозирования работоспособности станции охватывал 5 лет (43800 часов). Таким образом, расход сточных вод, который будет поступать на вход КНС до и после внедрения блока предварительной очистки сточных вод за период прогнозирования  $T_{np}$ , составил  $Q = 4730400 m^3$ .

Расчет объема сточных вод  $\Delta Q$  представлял собой процедуру из следующих этапов.

Сначала определили расход сточной воды  $q_i$  для каждого из возможных  $i$ -ых состояний КНС (комбинации работающих и неработающих НА) до и после внедрения блока предварительной очистки сточных вод

$$q_i = \frac{(k + (l/\beta)) \cdot \sqrt{a_k^2 + 4[b_k + \alpha(k + (l/\beta))^2]} \cdot (H_{HO} - H_{BO}) - a_k}{2[b_k + \alpha(k + (l/\beta))^2]}, \quad (3)$$

где  $k$  и  $l$  – количество рабочих основных и резервных насосов, соответственно;  $\beta$  – целочисленный коэффициент,  $\beta = 2-4$ ;  $b_k$  и  $a_k$  – постоянные коэффициенты, зависящие от особенностей работы основных НА, 0,8 и -3,6 соответственно;  $\alpha$  – постоянный коэффициент,  $\alpha = 1,04$ ;  $H_{HO}$  – максимальный напор, развиваемый основным НА, м;  $H_{BO}$  – разница между верхними и нижними отметками водоотводящей сети, м.

Затем рассчитали вероятность реализации  $p_i$  каждого  $i$ -го состояния КНС до и после внедрения блока предварительной очистки сточных вод

$$p_i = p_{K^k} (1 - p_K)^{K-k}, \quad (4)$$

где  $p_{K^k}$  – вероятность безотказной работы  $k$ -го рабочего основного насоса из  $K$  существующих.

Вероятность  $p_K$  определялась за формулой [6]

$$p_K = \exp^{-\lambda t}; \quad (5)$$

где  $t$  – время до отказа, месяцев;  $\lambda$  – интенсивность отказа насосов.

Далее для всех  $i$ -ых состояний КНС необходимо было рассчитать дефицит производительности  $\Delta q_i$ , когда приток стоков на КНС будет меньше ее пропускной способности  $q_k$  (при условии работы всех НА)

$$\Delta q_i = q_i - q_k. \quad (6)$$

Результаты расчетов  $q_i$ ,  $\Delta q_i$  и  $p_i$  для  $i$ -ых состояний КНС при работоспособных (+) и неработоспособных (–) насосах приведены в таблице.

Зная  $n$ -ые состояния КНС, при которых дефицит ее производительности положительный, переходим к расчету объема сточных вод  $\Delta Q$ :

$$\Delta Q = \sum_{i \in n} [(q_{ax})_{cp} - q_i] \int_0^t \exp[-k\lambda_K(t + \theta_K) - l\lambda_L(t + \theta_L)] \times \\ \times \{1 - \exp[-\lambda_K(t + \theta_K)]\}^{K-k} \{1 - \exp[-\lambda_L(t + \theta_L)]\}^{L-l} dt; \quad (7)$$

где  $\theta_K$  и  $\theta_L$  – суммарное время наработки каждого основного и резервного НА за время, предшествующего моменту  $t = 0$  на начало прогноза, часов;  $\lambda_k$  и  $\lambda_l$  – интенсивность отказа основного и резервного насосов соответственно.

Таблица

**Результаты промежуточных расчетов  $q_i$ ,  $\Delta q_i$  и  $p_i$  для исследуемой КНС**

№ п/п	Состояния НА		Вероятность состояния $p_i$			Расход $q_i$ для $i$ -го состояния КНС, м <sup>3</sup> /с		Дефицит производительности $\Delta q_i$ для $i$ -го состояния КНС, м <sup>3</sup> /с	
	Основной НА	Резервный НА	Расчетная формула	До внедрения	После внедрения	До внедрения	После внедрения	До внедрения	После внедрения
1	+	+	$P_{K^2}$	0,988	0,999	1,47	1,57	-1,47	-1,57
2	+	-	$p_K(1-p_K)$	0,009	0,009	2,62	2,69	0,00	0,00
3	-	+	$p_K(1-p_K)$	0,003	0,003	1,89	2,12	0,00	0,00
4	-	-	$(1-p_K)^2$	0,0004	0,0003	0,00	0,00	+0,003	+0,003

Поскольку КНС была введена в эксплуатацию после замены 2 старых НА на новые ( $\theta_k = 0$  часов), то дальнейшее интегрирование выражения (7) для оценки  $\Delta Q$  до внедрения блока предварительной очистки приобрело вид:

$$\Delta Q = 0,003 \int_0^{43800} (1 - \exp(-0,00025t)) \cdot (1 - \exp(-0,00015t)) dt. \quad (8)$$

Аналогично после внедрения блока предварительной очистки

$$\Delta Q = 0,003 \int_0^{43800} (1 - \exp(-0,00021t)) \cdot (1 - \exp(-0,00011t)) dt. \quad (9)$$

График функции  $\Delta Q$  для исследуемой КНС до и после технологических изменений показан на рис. 3. Видно, что объем сточных вод, потенциально

сбрасываемых «на рельеф», возрастает с течением времени, но для варианта КНС после технологических изменений (кривая 2) такое возрастание меньше по сравнению с вариантом до изменений (кривая 1). Более наглядной есть графическая зависимость (рис. 4), которая показывает динамику показателя надежности  $\gamma$  исследуемой КНС.

**Результаты** прогнозирования  $\gamma$  на протяжении 5 лет исследуемой КНС дают возможность сделать следующие выводы.

Зону влияния процесса очистки сточных вод на эксплуатационную надежность КНС можно разделить на три участка (рис. 4): 1 – зона стабильного повышения надежности; 2 – зона постепенного снижения надежности; 3 – зона отсутствия влияния. Так, для КНС с. Весняное распределение таких зон следующее: зона 1 – с момента введения в эксплуатацию до 2,28 лет; зона 2 – с 2,28 до 4,08 лет; зона 3 – с 4,08 лет до неработоспособного состояния.

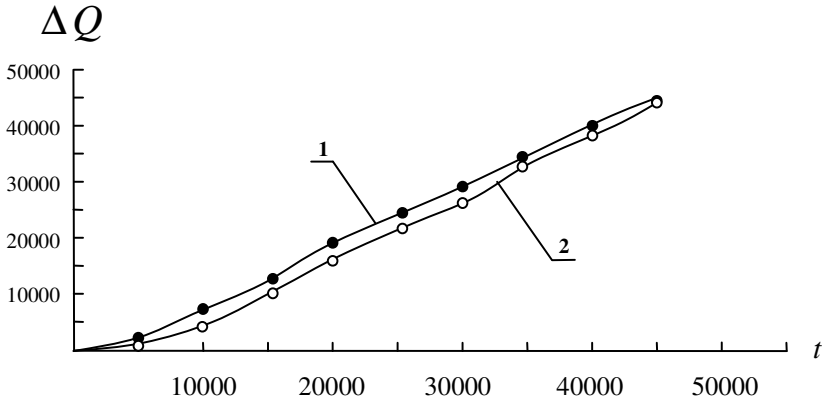


Рис. 3. Зависимость неперекачанного объема воды  $\Delta Q$  (м<sup>3</sup>) насосной станцией от времени  $t$  (часов)

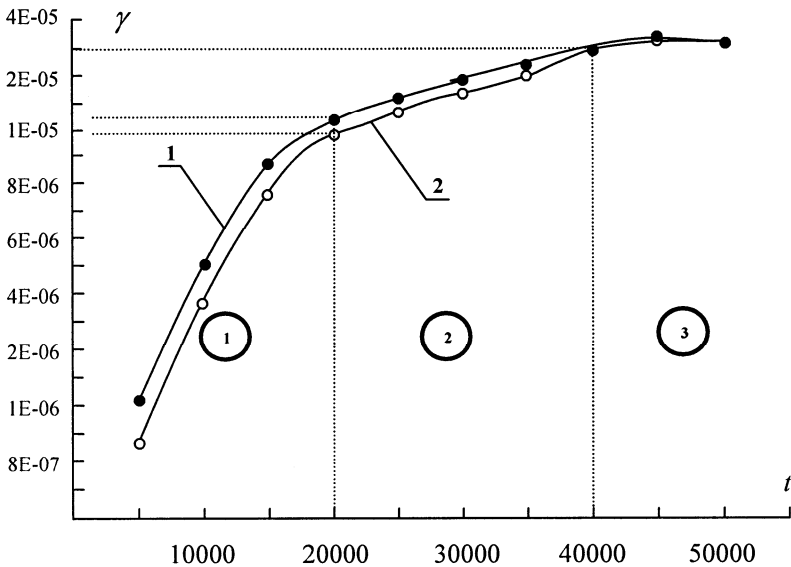


Рис. 4. Динамика показателя эксплуатационной надежности  $\gamma$  исследуемой КНС до (1) и после (2) технологических изменений

Для разных КНС зоны 1, 2 и 3 в зависимости от состава и объема перекачиваемой жидкости могут различаться, но пример с исследуемой КНС с. Весняное свидетельствует о том, что после внедрения операций по очистке стоков период стабильной работы НА увеличивается. Так, для исследуемой КНС период стабильной работы НА увеличивается от 1 года (за общепринятой статистикой [6]) до 2,28 лет.

Таким образом, учитывать фактор качества перекачиваемой сточной воды на КНС при ее эксплуатации очень важно, поскольку от состава стоков зависит уровень эксплуатационной надежности станции. Как показывают расчеты показателя  $\gamma$  для КНС с. Весняное, уровень ее надежности при одновременной очистке и перекачке сточных вод повышается за счет снижения напора насосов, уменьшения вероятности неработоспособных состояний КНС и интенсивности отказов насосных агрегатов.

1. Алексеев М. И. Надежность систем водоотведения / М. И. Алексеев, Ю. А. Ермолин. – СПб. : СПб. гос. арх.-строит. ун-т, 2010. – 166 с.
2. Кармазинов Ф. В. Повышение эксплуатационной надежности, управляемости и эффективности системы водоотведения крупного города: автореф. дис. ... / Ф. В. Кармазинов. – СПб. : СПбГАСУ, 2000.
3. Найманов А. Я. Повышение надежности насосных станций и методы ее оценки / А. Я. Найманов, Ю. В. Гостева // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2010. – Випуск № 3 (83). – С. 201-207.
4. Обеспечение надеж-



ности главных насосных станций / Ф. В. кармазинов и др. // Водоснабжение и сантехника, 2009. – № 10. – С. 34-46. **5.** Примин О. Г. Разработка и применение информационных технологий для оценки и обеспечения экологической безопасности и надежности сетей водоснабжения и водоотведения города: автореф. дисс. ... / О. Г. Примин. – М., 2001. **6.** Эксплуатация систем водоснабжения, канализации и газоснабжения: справочник / под ред. В. Д. Дмитриева, Б. Г. Мишукова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л. : Стройиздат, 1988. – 393 с. **7.** Walski T. M. Analysis of water distribution systems. – NY: Van Nostrand Reinhold, 1984. **8.** Dhillon B. S., Singh C. Engineering reliability: new techniques and applications. – New York: John Wiley and Sons, 1981. **9.** Herz R. K. Exploring rehabilitation needs and strategies for water distribution networks. – J. Water SRT-Aqva. – 47(6). – 1998. **10.** Mays L. W., ed. Reliability Analysis of Water Distribution Systems. – New York: American Society of Civil Engineers, 2011. **11.** Ang A. H-S., Tang W. H. Probability concepts in engineering planning and design, Vol.II: Decision, risk and reliability. – NY: John Wiley, 1984. **12.** Henley E. J., Kumamoto H. Reliability engineering and risk assessment. – New Jersey: Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1981. **13.** Ермолин Ю. А. Надежность технических систем: учебное пособие / Ю. А. Ермолин. – М. : МИИТ, 2009. – 234 с. **14.** Тазетдинов Г. М. Надежность очистки сточных вод / Г. М. Тазетдинов, М. С. Гоухберг, Л. В. Зелик, В. В. Никитин, Ю. А. Ильин, В. С. Игнатчик // Водоснабжение и сан. техника. – 1996. – № 11. – С. 23-37. **15.** Найманов А. Я. Возможные нормы надежности элементов систем водоснабжения и водоотведения / А. Я. Найманов, Ю. В. Гостева // Коммунальное хозяйство городов. – 2010. – № 93. – С. 62-66.

Рецензент: д.т.н., проф. Филипчук В. Л. (НУВГП)