

УДК 621

А.Н. Мальцев, аспирант ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ С ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

Ключевые слова: расчет надежности, безотказность, вероятность безотказной работы, канализационная станция, электропривод, отказ системы, работоспособность, функциональная схема, логическая схема, функция работоспособности, наработка системы

Изложены расчеты показателей безотказности канализационных станций с использованием частотно-регулируемых электроприводов насосных агрегатов. Определена надежность станции как системы, включающей механо-гидравлическую, электрическую и информационную подсистемы, с использованием подхода на базе логико-вероятностных методов расчета.

Одним из основных ресурсов, которые человек использует в своей жизнедеятельности, является вода. Расход электроэнергии на перекачку чистых и сточных вод с учетом оборотного водоснабжения в России оценивается в 120-130 млрд. кВтч/год, стоимость которой оценивается в 215-235 млрд. рублей [1]. От 30 до 40% электроэнергии теряется из-за сравнительно низкой энергоэффективности электроприводов насосных агрегатов, их работы с превышением напора, а также вследствие не высокой надежности систем перекачки в целом. Последнее обстоятельство часто усугубляется неправильно организованной системой ТО и ремонта, что служит причиной низких значений коэффициента готовности системы и коэффициента технического использования.

В связи с этим актуальной для практики задачей является анализ и разработка инженерных методов расчета надежности таких систем с выявлением элементов, имеющих наиболее низкую вероятность безотказной работы, т. е. «слабых звеньев» системы.

Для расчета надежности показателей [2], систему целесообразно представить в виде совокупности механо-гидравлической, электрической и информационной подсистем. Каждая из подсистем будет характеризоваться своими собственными единичными показателями надежности, определяя надежность системы в целом. Расчетная схема системы представлена на рис. 1.

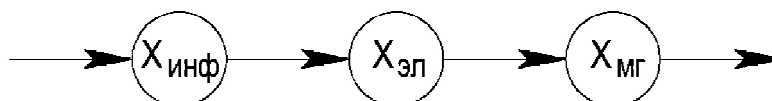


Рис. 1 Функционально-логическая схема системы перекачки фекальных стоков КНС.

В соответствии с принятым принципом декомпозиции системы выделены: информационная подсистема, электрическая подсистема и механо-гидравлическая

подсистема. Тогда функция работоспособности системы перекачки стоков может быть представлена в виде конъюнктивного набора элементов:

Работоспособность информационной подсистемы определяется работоспособностью системы управления, датчиками уровня и вязкости перекачиваемой среды, объемным расходомером фекальных стоков, сбрасываемых в выпускной коллектор, а также датчиком вибрации трубопроводной арматуры.

Работоспособность электрической подсистемы определяется работоспособностью электродвигателей насосных агрегатов, преобразователей частоты (ПЧ), а также работоспособностью элементов системы электроснабжения КНС (вводными, линейными и секционными автоматическими выключателями).

Работоспособность механо-гидравлической подсистемы определяется работоспособностью насосных агрегатов, трубопроводной арматуры на всасывающих и напорных коллекторах, а также целостностью (герметичностью) гидравлической системы.

При выполнении расчета надежности системы предполагается, что технологическое, энергетическое и информационно-измерительное оборудование станции находится в состоянии нормальной эксплуатации, т. е. применим экспоненциальный закон распределения. Влияние технических состояний системы и режимов эксплуатации на надежность характеристики станции и показатели энергосбережения подробно проанализировано в [3] – [8].

Для механо-гидравлической подсистемы принципиальная и функционально-логическая схемы изображены на рис. 2.

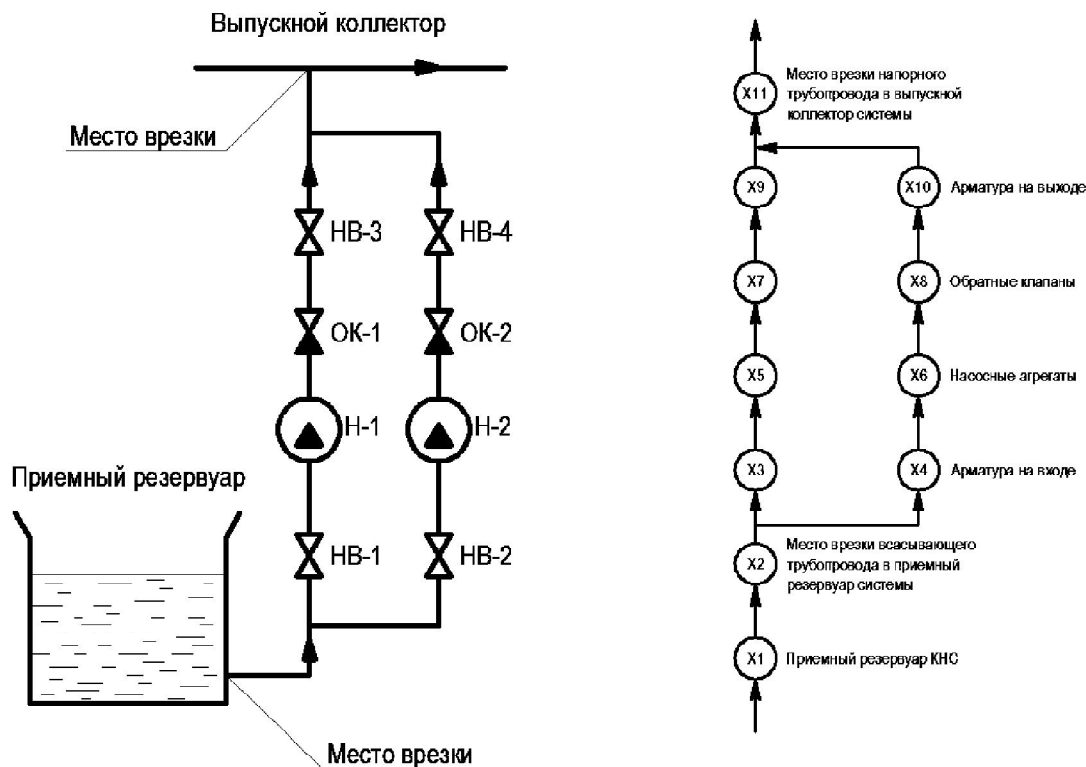


Рис. 2 Принципиальная гидравлическая схема системы перекачки фекальных стоков КНС и соответствующая ей функционально-логическая расчетная схема.

Фекальные стоки из приемного резервуара, пройдя через механические решетки на входе, перекачиваются рабочим насосом Н-1 в выпускной коллектор КНС. Для повышения надежности системы выполняется дублирование, посредством параллельного включения второго (резервного) насоса Н-2, с соответствующей трубопроводной обвязкой и арматурой.

Исходные данные для расчета вероятности безотказной работы механо-гидравлической подсистемы приведены в таблице 1.

Таблица 1

№ п.п.	Наработка элемента	Значение, час.
1.	Приемный резервуар	$700,8 \cdot 10^3$
2.	Место врезки всасывающего коллектора в приемный резервуар	$350,4 \cdot 10^3$
3.	Место врезки напорного коллектора в выпускной коллектор	$350,4 \cdot 10^3$
4.	Трубопроводная арматура	$14 \cdot 10^3$
5.	Обратные клапаны	$5 \cdot 10^3$
6.	Насосные агрегаты	$55 \cdot 10^3$

Вероятность безотказной работы, при постоянной интенсивности отказов:

—

где T_i – наработка i -ого элемента подсистемы;

λ_i – интенсивность отказов i -ого элемента подсистемы.

Результаты расчета сведены в Таблицу 2.

Таблица 2

№ п.п.	Элемент	Значение P(t)
1.	Приемный резервуар	0,9876
2.	Место врезки всасывающего коллектора в приемный резервуар	0,9753
3.	Место врезки напорного коллектора в выпускной коллектор	0,9753
4.	Трубопроводная арматура	0,5349
5.	Обратные клапаны	0,1734
6.	Насосные агрегаты	0,8528

Регламентированная периодичность проведения технического обслуживания (ТО) системы перекачки фекальных стоков КНС составляет 1 год, отсюда примем наработку системы $T_c = 8760$ ч.

Вероятность безотказной работы кратчайших путей успешного функционирования (КПУФ):

Поэтому общая вероятность безотказной работы механо-гидравлической подсистемы составит:

Из сравнения полученных показателей хорошо видно, что «слабым звеном» подсистемы, с точки зрения надежности, являются обратные клапаны.

Расчетные схемы электрической части приведены на рис. 3.

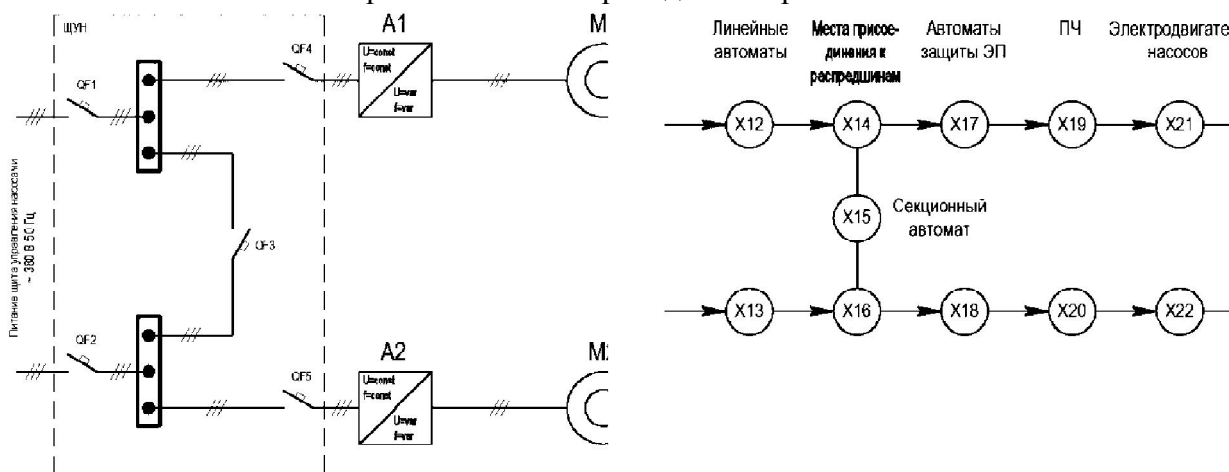


Рис. 3 Принципиальная электрическая схема системы перекачки фекальных стоков КНС и соответствующая ей функционально-логическая расчетная схема.

Поскольку электрическая часть системы перекачки стоков КНС рассматривается как подсистема, обеспечивающая работоспособность насосных агрегатов, то

функционально-логическая схема данной подсистемы не заканчивается электродвигателями, а имеет выходы, под которыми подразумеваются выходные валы асинхронных двигателей (АД). С этих выходов осуществляется отбор механической мощности насосными агрегатами, т. е. обеспечивается дальнейший поток энергии для обеспечения работоспособности всей системы. Поэтому выходы данной подсистемы следует рассматривать как элементы, обеспечивающие связь между электрической и механо-гидравлической частями системы перекачки стоков КНС.

Исходные данные для расчета и результаты расчета вероятности безотказной работы электрической подсистемы приведены в таблице 3 и 4.

Таблица 3

№ п.п.	Наработка элемента	Значение, час.
1.	Автоматические выключатели	$10 \cdot 10^3$
2.	ПЧ	$80 \cdot 10^3$
3.	Электродвигатели	$11,1 \cdot 10^3$
4.	Распределительные шины	$6,7 \cdot 10^6$

Таблица 4

№ п.п.	Элемент	Значение P(t)
1.	Автоматические выключатели	0,4165
2.	ПЧ	0,8963
3.	Электродвигатели	0,7689
4.	Распределительные шины	0,9987

Вероятность безотказной работы КПУФ:

Общая вероятность безотказной работы электрической подсистемы:

Из сравнения полученных показателей хорошо видно, что «слабым звеном» подсистемы, с точки зрения надежности, являются автоматические выключатели.

Для анализа надежностных характеристик информационной подсистемы рассмотрим функционально-логическую схему системы работы датчиков. Данная схема приведена на рис. 4.

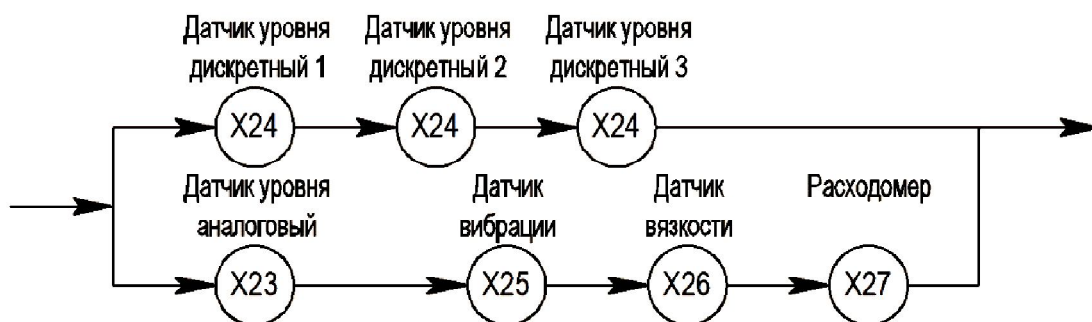


Рис. 4 Функционально-логическая расчетная схема информационной подсистемы объекта.

Исходные данные для расчета вероятности безотказной работы информационной подсистемы приведены в таблице 5.

Таблица 5

№ п.п.	Наработка элемента	Значение, час.
1.	Датчик вибрации	$15 \cdot 10^3$

2.	Датчик уровня дискретный	$18 \cdot 10^3$
3.	Датчик уровня аналоговый	$60 \cdot 10^3$
4.	Датчик вязкости	$10 \cdot 10^3$
5.	Расходомер	$100 \cdot 10^3$

Результаты расчета сведены в Таблицу 6.

Таблица 6

№ п.п.	Элемент	Значение P(t)
1	Датчик вибрации	0,5577
2	Датчик уровня дискретный	0,6147
3	Датчик уровня аналоговый	0,8642
4	Датчик вязкости	0,4164
5	Расходомер	0,9161

Вероятность безотказной работы КПУФ:

$$P_I = P_{X24} \cdot P_{X24} \cdot P_{X24} = 0,6147 \cdot 0,6147 \cdot 0,6147 = 0,3779$$

$$P_{II} = P_{X23} \cdot P_{X25} \cdot P_{X26} \cdot P_{X27} = 0,8642 \cdot 0,5577 \cdot 0,4164 \cdot 0,9161 = 0,1839$$

Общая вероятность безотказной работы информационной подсистемы составит:

$$P_{инф} = 1 - Q_{инф} = 1 - (1 - P_I) \cdot (1 - P_{II}) = 1 - (1 - 0,3779) \cdot (1 - 0,1839) = 0,4923$$

Из сравнения полученных показателей хорошо видно, что «слабым звеном» подсистемы, с точки зрения надежности, является датчик вязкости.

Общая вероятность безотказной работы всей системы составит:

$$P_c = P_{мг} \cdot P_{эл} \cdot P_{инф} = 0,0779 \cdot 0,3984 \cdot 0,4923 = 0,0153$$

Используя табличный метод расчета вероятности безотказной работы подсистем соответственно составят: 0,0777; 0,3964 и 0,5191, соответственно. Тогда вероятность безотказной работы всей системы составит 0,0160.

Анализируя полученный материал, важно отметить невысокую вероятность безотказной работы механо-гидравлической части системы. Именно эта часть, согласно данным статистики, наиболее подвержена отказам и требует, в процессе эксплуатации, регулярного ТО и тщательного ремонта.

Предложенный подход с разбивкой системы перекачки стоков на 3 независимые подсистемы позволяет не сложно и достаточно точно определить один из главных показателей безотказности системы – вероятность безотказной работы, выявить «слабые звенья» каждой подсистемы и разработать мероприятия по повышению показателей надежности КНС.

Список литературы:

- [1]. Б.С. Лезнов, В.Б. Чебанов. Технические основы энергосбережения в насосных установках». Водоснабжение и санитарная техника: ВСТ – журнал, 2004. №7.
- [2]. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1990.
- [3]. Ильин Ю. А., Игнатчик С. Ю., Анисимов Ю. П. и др. Обеспечение эксплуатационной надежности канализационных насосных станций: Тр. ВИТУ. – СПб: Стройиздат, 2008. Вып. 7.
- [4]. Игнатчик С. Ю. Обеспечение надежности и энергосбережения при расчете сооружений для транспортирования сточных вод: Тр. ВСТ. – М: 2010. Вып. 8., стр. 56 – 63.
- [5]. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках. М.: Энергоатомиздат, 2006.

- [6]. Шихов А.А., Адрианов В.А. Применение частотно регулируемого привода в энергосберегающих системах управления насосными установками//Водоснабжение и санитарная техника. 2004. №7.
- [7]. Брошюра Shneider Electric. J.Schoonek. Cahier Technicue no214. Energy efficiency: benefits of variable speed controls in pumps, fans and compressors. France, 2008.
- [8]. Лезнов Б.С. Частотно регулируемый электропривод насосных установок.- М.: Машиностроение, 2013 – 176 с ил.

Calculation of sewerage plants reliability indices with variable frequency drive pumps

A.N. Malcev

It sets out the calculations of indicators of reliability pumping stations using variable frequency drives of pump units. Determined plant reliability as a system that includes mechanical and hydraulic, electric and information subsystems, using an approach based on the logical and probabilistic methods of calculation.

calculation of reliability, reliability, probability of failure-free operation, sewer station, power, system failure, performance, functional diagram, logic, performance function, working hours system