

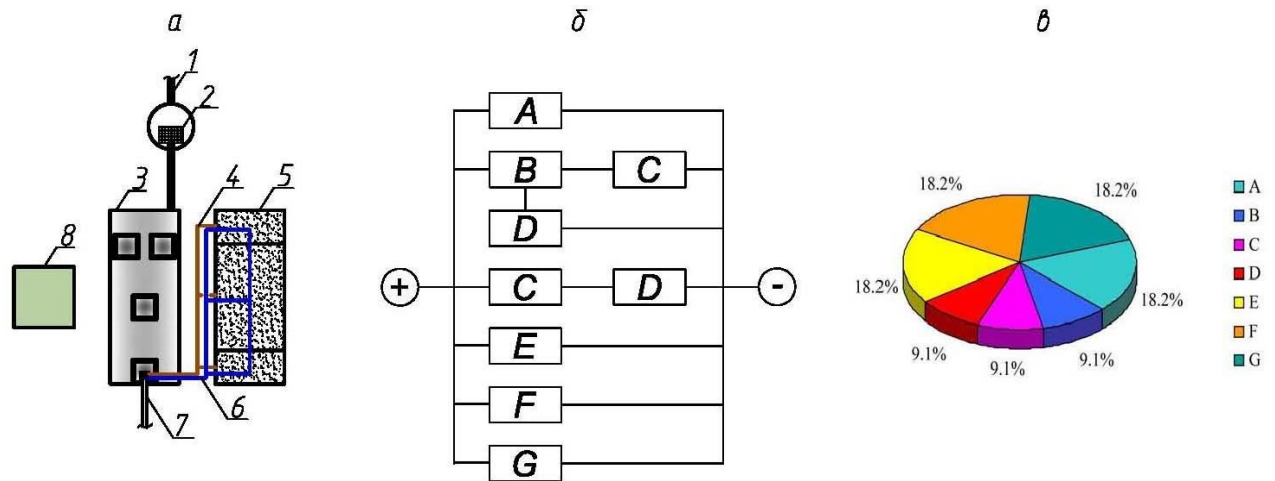
## **Применение модуля Safety для оценки надежности канализационных очистных сооружений**

В настоящее время значительно возрос интерес к проблемам надежности и безопасности систем водоснабжения и водоотведения (СВИВ). Имеются определенные наработки в области оценки надежности линейных элементов СВИВ, основанные на моделях функционирования сложных технических систем. Получили широкое распространение методы, основанные на представлении СВИВ как систем массового обслуживания, а для расчета их надежности используется соответствующий математический аппарат. С оценкой надежности работы очистных сооружений водопровода и канализации ситуация обстоит намного хуже. Основная проблема связана здесь с отсутствием статистического материала, характеризующего особенности эксплуатации этих сооружений с точки зрения надежности.

В этих условиях используются особые методы анализа надежности существующих и проектируемых систем. Ряд результатов может быть получен посредством исследования методами логико-вероятностного исчисления надежности структурно-сложных схем, описывающих процесс функционирования очистных сооружений. Методами анализа структурно-сложных схем можно оценить значимость каждого элемента СВИВ на условия безопасности системы в целом и оценить возможные риски при ее эксплуатации.

В работе приведены результаты, полученные при анализе надежности системы очистки сточных вод туристического комплекса, расположенного в прибрежной полосе рыбохозяйственного водоема. Требования к качеству сбрасываемых в него очищенных сточных вод высоки. В этом контексте задача определения структурной значимости элементов канализационных очистных сооружений (КОС) приобретает большое значение. В 2006 г КОС туристического комплекса не обеспечивали требуемой степени очистки сточных вод, поэтому были предложены решения по их реконструкции.

Предложенная технологическая схема (Рис. 1, а) включает в себя механическую очистку сточных вод на решетках 2, биологическую очистку на установке «Водолей-12» 3 с предварительной коагуляцией стоков, доочистку на медленных фильтрах 5 и обеззараживание хлорной известью. Очищенные сточные воды спускаются в ручей, который впадает в водоем, принимающий сточные воды.



**Рисунок 1**

1 – подача сточных вод на КОС, 2 – решетки, 3 – «Водолей-12», 4 – подача сточных вод на медленные фильтры, 5 – медленные фильтры, 6 – отвод сточных вод с медленных фильтров, 7 – выпуск сточных вод, 8 – реагентное хозяйство.

Расчетный эффект очистки по взвешенным веществам и БПК<sub>полн</sub> на установке «Водолей-12» составляет 95%, эффект от коагулирования сточных вод – 60% по взвешенным веществам и 25% по БПК<sub>полн</sub>, эффект очистки на медленных фильтрах – 90% по обоим показателям. Отказ системы очистки сточных вод может быть обусловлен двумя причинами:

1. Превышением предельно допустимых концентраций (ПДК) по взвешенным веществам и/или БПК<sub>полн</sub> сточных вод на выходе из КОС,
2. Бактериальным загрязнением очищенных сточных вод.

По результатам проведенных численных экспериментов над разработанной имитационной моделью реконструируемых КОС было установлено следующее:

1. Механическая очистка не может оказать значительного влияния на дальнейший процесс очистки сточных вод. Это связано с тем, что, во-первых, количество крупных отбросов не столь велико, а во-вторых, неснятые крупные загрязнения оседают в первичном отстойнике установки «Водолей-12» и незначительно ухудшают качество очищенных стоков.
2. Снижение эффекта очистки стоков на установке «Водолей-12» более чем на 10% приведет к превышению ПДК на выходе из очистных сооружений и по взвешенным веществам и по БПК<sub>полн</sub>.
3. Снижение эффекта очистки на медленных фильтрах более чем на 17% приведет к превышению ПДК на выходе из КОС по БПК<sub>полн</sub>.
4. Подача пониженных доз коагулянта при нормальной работе остальных элементов системы приводит к незначительному ухудшению качества очищенных стоков. Однако при неудовлетворительной работе установки «Водолей-12» или медленных фильтров может привести к превышению ПДК взвешенных веществ и БПК<sub>полн</sub>.
5. Снижение эффекта очистки на установке «Водолей-12» до 90% и одновременно на медленных фильтрах до 86% также приводит к отказу КОС.
6. Нарушения в работе блока обеззараживания сточных вод приведет к их бактериальному загрязнению.
7. Отключение электричества приведет к остановке всех насосных агрегатов КОС, а это в свою очередь к аварийному сбросу неочищенных сточных вод в ручей и далее в озеро.

На основании проведенного анализа была построена схема нарушений (структурно-сложная схема) в работе очистных сооружений, приводящих к их отказу (Рис 1, б). Функция алгебры логики (ФАЛ), описывающая аварийное состояние в этих условиях, принимает следующий вид:

$$A + BC + CD + BD + E + F + G, \quad (1)$$

где А – снижение эффекта очистки на установке «Водолей-12» до 85%, В – снижение эффекта очистки на установке «Водолей-12» до 90%, С – снижение эффекта от коагулирования стоков в 2 раза (до 30% по взвешенным

веществам, до 12.5% по БПК<sub>полн</sub>), D – снижение эффекта очистки на медленных фильтрах до 86%, E – снижение эффекта очистки на медленных фильтрах на 17%, F – отключение электричества, G – отказ блока обеззараживания очищенных сточных вод. Для анализа структурной значимости параметров, входящих в функцию (1) используется метод И.А. Рябина с предварительной ортогонализацией ФАЛ:

$$A + DCA' + BDAC' + EAD'CB' + EAD'CB + EAD'CB' + EAD'CB. \quad (2)$$

В результате анализа (2) было установлено, что структурная значимость параметров A, E, F, G в 2 раза выше структурной значимости остальных элементов (Рис. 1, в). Полученные результаты свидетельствуют о необходимости структурного резервирования в составе КОС ряда элементов (установки «Водолей-12», блока медленных фильтров и системы обеззараживания стоков). Результаты анализа в целом являются ожидаемыми. Однако в более сложных случаях, когда размерность схемы высока, результат решения задачи по оценке значимости элементов не столь очевиден.

### **Литература:**

1. Рябинин И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. СПб.: Политехника, 2000 – 248 с.
2. Канализация населенных мест и промышленных предприятий: Справочник проектировщика / Под общ. Ред. В. Н. Самохина. – М.: Стройиздат, 1981. – 639 с.
3. Установка для очистки сточных вод «ВОДОЛЕЙ-12»: Паспорт У 9507.00.000 ПС – «ЦНИИЭП инженерного оборудования» «ЭКСИКА»