

Шакенова Ж.Н.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ХЛОРАТОРНОЙ СТАНЦИИ В СИСТЕМЕ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Zh.N. Shakenova

RELIABILITY MODELING CHLORINATION PLANT IN THE WATER

УДК: 004.94:628.1

В данной статье рассматривается имитационный подход надежности работы хлораторной станции системы водоснабжения. Рассмотрен принцип работы хлоратора, события и какие виды отказов могут возникнуть. Описан алгоритм моделирования марковскими процессами.

Ключевые слова: надежность, отказ, хлор, хлораторная станция

In given article the imitating approach of reliability of work chlorate's stations of system of water supply is considered. The work principle chlorite is considered, events and what kinds of refusals can arise. The algorithm of modeling is described by markov's processes.

Key words: reliability, refusal, chlorine, hlorates station.

Введение

Вода играет чрезвычайно важную роль для жизнедеятельности человека, животного и растительного мира, и природы в целом необходима.

Среди многих отраслей современной техники, направленных на повышение уровня жизни людей, благоустройства населенных пунктов и развития промышленности, водоснабжение занимает самое основное место.

Подача достаточного количества воды в населенный пункт позволяет поднять общий уровень его благоустройства. Для удовлетворения потребностей современных крупных городов в воде требуются громадные ее количества, измеряемые в миллионах м³ в сутки. Выполнение этой задачи, а также обеспечение высоких санитарных качеств питьевой воды требуют тщательного выбора природных источников, их защиты от загрязнения и надлежащей очистки на очистных сооружениях водоснабжения [1].

О системе водоснабжения города

Современные системы водоснабжения являются сложным комплексом различных сооружений (подсистем), включающих в свой состав разнообразные элементы: установки, механизмы, приборы, арматуру, трубопроводы и т.п. На надежность работы этих сооружений, в значительной мере влияют природные источники, используемые в качестве источников водоснабжения, а также энергетические системы, обеспечивающие функционирование оборудования всех сооружений комплекса [2].

Системы водоснабжения, как и все технические системы обслуживания, должны соответствовать своему назначению:

- обладать способностью, успешно выполнять функции, для которых они предназначены;

- должны быть просты в эксплуатации и экономичны, то есть иметь возможность успешно выполнять заданные функции при минимальной величине затрат на их сооружение и эксплуатацию.

- обладать надежностью – способностью системы и ее отдельных элементов выдерживать заданные нагрузки в процессе работы.

Надежность объектов водоснабжения

Надежность функционирования систем водоснабжения – одно из основных условий бесперебойности обеспечения водой промышленных предприятий и населенных пунктов.

Переход объекта из исправного состояния в работоспособное (возможно и неисправное) происходит в результате повреждения, из работоспособного или исправного в неработоспособное состояние – в результате отказ. Последовательность событий объекта и состояний при анализе надежности приведена на рисунке 1 [3].

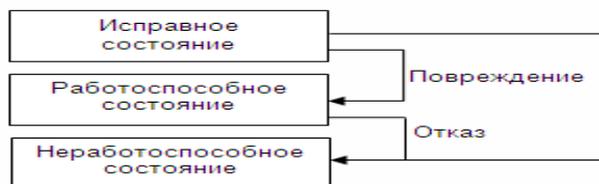


Рисунок 1. Схема основных событий и состояний при анализе надежности объекта

Отказы системы водоснабжения, то есть нарушение нормального водообеспечения снабжаемого объекта, весьма разнообразны. Нарушение может состоять в некотором недопустимом снижении уровня водообеспечения или в полном прекращении подачи воды потребителям (полный отказ). Отказ системы может заключаться не только в недопустимом ухудшении качества подаваемой воды или выхода из строя элементов оборудования и трубопроводов, но и из-за возникновения непредусмотренных ситуаций, в том числе чрезвычайных, при которых следует работать в условиях неопределенности и дефицита времени.

Повреждение любого элемента или сооружения системы при возникновении непредусмотренной ситуации, в том числе и чрезвычайной, оказывает то или иное влияние на качество функционирования системы в целом.

Длительность пребывания системы в состоянии неполной работоспособности определяется $t_{\text{вс}}$

– время восстановления, которое включает $t_{oa}+t_{pzz}$
 – время на обнаружения аварии и время на ремонт или замену элемента.

Очень серьезные последствия могут иметь отказы, связанные с внешними воздействиями на работу очистных сооружений водоснабжения, например:

- отключения электроэнергии;
- аварии, имеющие место природного характера;
- аварии антропогенного характера.

Такие отказы могут привести к нарушению бесперебойной работы водоснабжения и до полного временного прекращения подачи воды, если не предусмотрены резервные емкости в системе водоснабжения.

Отказ природного характера (землетрясение, оползни, сели и обвалы), будет представлять особую опасность для нарушения работы системы водоснабжения и может привести к полному отказу системы подачи воды.

Отказ системы подачи электроэнергии могут вызвать временный перерыв в подаче воды потребителям, так как нарушается работа насосных станций. Насосные станции обеспечивают перекачку воды во многих коммунальных системах водоснабжения, водоотведении, отоплении и теплоснабжении, иными словами системы жизнеобеспечения. Они с определенной вероятностью не должны допускать перерывов в подаче воды, либо эти перерывы должны быть не более одного рабочего дня (6-7 часов). Отказы насосных станций могут причинить большие материальные и финансовые потери, поскольку насосные станции являются частью системы подачи воды в системах водоснабжения или тепла в системах теплоснабжения, и если произойдет отказ их работы, то это может привести к отказу всей системы жизнеобеспечения. На территории системы водоснабжения должны быть предусмотрены дополнительные электроподстанции, которые могли бы обеспечить резервным питанием насосные станции, в случае общегородского отключения электроэнергии.

Главным звеном в системе водоснабжения являются хлораторные станции вакуумного типа, которые считаются самым простым, надежным, распространенным и обоснованным способом хлорирования воды, путем эжекции газообразного хлора в воду. Для обеззараживания воды применяется хлор в газообразном состоянии.

Работа хлораторов эжекционного типа ЛОНИИ-100 используется на нашем объекте исследования. Рассмотрим принцип работы данного хлоратора более подробно. Хлоратор состоит из 14 основных узлов, которые приведены на рисунке 2.

Хлор для обеззараживания воды находится в стальном баллоне, емкостью от 30-55 л или в контейнере емкостью от 0,7 до 3 т. Хлор находится под давлением до 3 МПа. Баллон (контейнер) снабжен сифонной трубкой опущенной почти до его дна и через эту трубку хлор выходит из баллона. В хлоратор должен подаваться только газообразный хлор, хлоропровод, идущий к дозатору, присоединяют к промежуточному баллону (1). Он представляет собой обычный стандартный баллон с запорным краном (2) для выпуска жидкого и выпуска газообразного хлора. Жидкий хлор, поступающий в промежуточный баллон, попадает на его дно (вместе с возможными загрязнениями) и, испаряясь, в виде газа уходит через фильтр (3). Через фильтр и манометр высокого давления (6) газ проходит к редукционному клапану (5), который снижает его давление. Ротаметр (10) обеспечивает дозирование хлора, который поступает по соединительной трубке (9) в смеситель (11). В смесителе газообразный хлор смешивается с водой из дозировочной бачка (14). При смешивании образуется хлорная вода, которая путем эжекции (13) распределяется в водопроводную сеть. Эжектор служит для создания вакуума в узлах хлоратора, который зависит от напора и расхода воды, питающий эжектор.

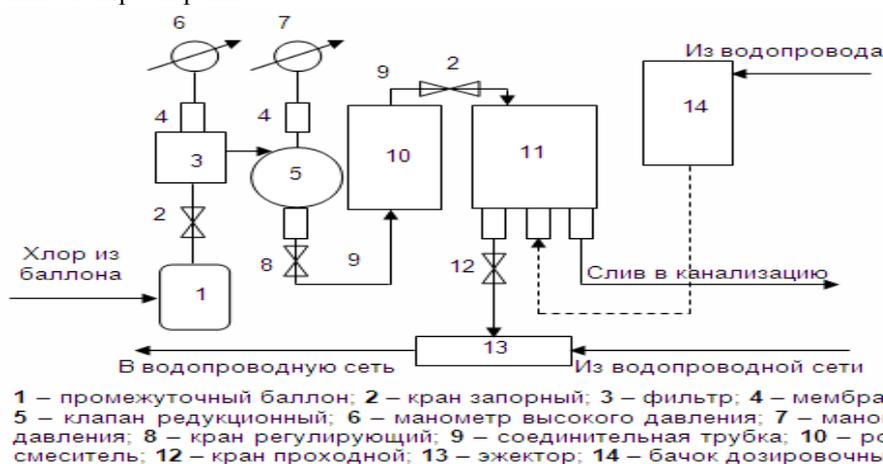


Рисунок 2. Процесс хлорирования воды

К сожалению, в настоящее время часто ссылаются на несовершенство отечественных хлораторов, сравнивая их с зарубежными аналогами.

Отказы в работе хлоратора могут привести к аварийным ситуациям, которые могут повлечь за собой чрезвычайную ситуацию. Рассмотрим, какие виды отказов могут возникнуть при работе хлоратора ЛОНИИ-100:

- а) выход из строя запорного крана на баллоне (контейнера) хлора или на промежуточном баллоне;
- б) вышел из строя регулирующий кран на ротаметре;
- в) отказал запорный кран на смесителе;
- г) выход из строя эжектора;
- д) выход из строя напорных насосов;
- е) бракованный баллон (контейнер) с хлором.

Рассмотрим процесс работы хлораторной станции, который представлен в виде марковской модели.

На рисунке 3 вероятностный процесс работы хлораторной станции представлен графом состояний переходов из одного состояния в другое.

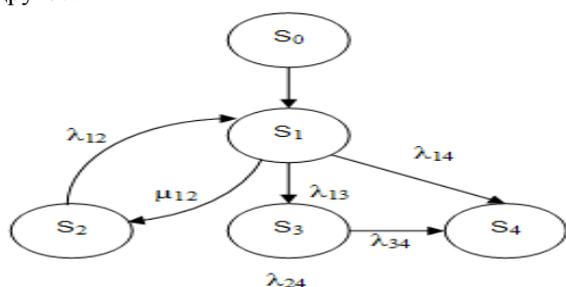


Рисунок 3. Орграф возможных состояний хлораторной станции в процессе эксплуатации

Процесс работы хлораторной станции был охарактеризован состояниями:

S_0 – смена баллонов на хлораторной станции;

S_1 - *исправное* – хлораторная станция отвечает всем требованиям нормативно-технической документации (НТД);

S_2 - *неисправное* – состояние хлораторной станции, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований, установленных НТД (т.е. выход из строя одного из элементов аппаратуры ХС);

S_3 - *работоспособное* – хлораторная станция может не отвечать некоторым требованиям нормативных документов, однако способен выполнять требуемые функции (т.е. ремонт аппаратуры хлораторной станции с подключением резервов);

S_4 - *неработоспособное* – хлораторная станция не способна выполнять требуемые функции, т.е. отказ хлораторной станции.

Данным состояниям соответствуют средние времена:

T_{01} -на смену баллонов на хлораторной станции;

T_{12} -безотказной работы хлораторной станции;

T_3 -ремонта аппаратуры хлораторной станции;

T_2 -тестирования аппаратуры хлораторной станции на соответствие требованиям НТД;

T_{12}, T_{32}, T_{42} – безотказная работа хлораторной станции;

T_{13}, T_{24}, T_{43} – время тестирования элементов аппаратуры ХС;

T_{14}, T_{24}, T_{34} – время ремонта.

T^{ia} - время обнаружения аварии;

T^{oc} - время ремонта элемента (или замены элемента);

T^{ec} -время восстановления работы хлораторной станции.

$$T = T^{ia} + T^{oc} + T^{ec}.$$

В общем виде марковскую модель можно представить матрицей переходных вероятностей, соответствующей вероятностям событий перехода хлораторной станции в процессе эксплуатации и образующей стохастическую сетевую модель ее поведения в дискретном соотношении:

$$\frac{dP}{dt} = AP, \quad P = [P_0, P_1, P_2, P_3, P_4]^T,$$

где A – матрица переходных вероятностей; P – вектор нахождения системы в одном из четырех состояний.

$$A = \begin{bmatrix} -\lambda_{01} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \lambda_{01} & -\lambda_{1\Sigma} & \mu_{21} & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_{12} & -\lambda_{2\Sigma} & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_{13} & \lambda_{23} & -\lambda_{34} & 0 \\ 0 & \lambda_{14} & \lambda_{24} & \lambda_{34} & 0 \end{bmatrix},$$

где

$$\lambda_{1\Sigma} = \lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{14},$$

$$\lambda_{2\Sigma} = \lambda_{23} + \lambda_{24} + \mu_{21}.$$

Вероятность нахождения процесса в j – м состоянии после k интервалов времени:

$$P_j(k) = P_j(k-1)p_{ij} + \sum_i P_i(k-1)p_{ij},$$

где $P_j(k)$ – вероятность нахождения хлораторной станции в j -м состоянии после k интервалов времени.

Переходные вероятности определяются по формулам

$$p_{ij} = \lambda_{ij}\Delta t; \quad p_{ji} = \mu_{ji}\Delta t,$$

где Δt - время, в течение которого совершается не более одного перехода из одного состояния

хлораторной станции в другое, λ_{ij} , μ_{ij} - интенсивность переходов из i -го состояния в j -е.

В свою очередь,

$$\sum_{j=1}^4 p_{ij} = 1; \quad \Delta t = \frac{1}{\sum_i \lambda_{ij} + \sum_i \mu_{ij}}.$$

При составлении марковской модели были приняты следующие допущения:

- дискретность времени смены состояний хлораторной станции;
- не учитывается предыстория протекающих процессов.

Алгоритм процесса работы хлораторной станции

Алгоритм процесса работы хлораторной станции можно представить следующим образом [4]:

Шаг 1. $i=1$ и $k=0$. Здесь i – номер реализации процесса; k – индекс состояний марковской цепи.

Шаг 2. Положить $p_j = p_{kj}$, $j = \overline{1, n}$.

Шаг 3. Получить реализацию z базовой случайной величины ξ .

Шаг 4. Принять $k=1$. $R=p_k$.

Шаг 5. проверить условие $z \leq R$. При его выполнении переход на шаг 7.

Шаг 6. Положить $k=k+1$ и $R=R+p_k$. Возврат на шаг 5.

Шаг 7. Положить $S_i=S_k$, $i=i+1$.

Шаг 8. Проверить условие $i > N$, т.е. все ли реализации марковского процесса получены, если нет, то возврат на шаг 2.

Шаг 9. Вывод полученных результатов.

Выводы

Таким образом, надежность оборудования на очистных сооружениях водоснабжения, можно оценить количественными показателями, как напор, вес, расход воды и др. Разница будет в том, что указанные показатели можно определить по приборам или по лабораторным данным, а вот показатели надежности будут определяться с помощью статистических обработок, полученных из опыта. Для определения надежности функционирования оборудования и водоводов на

очистных сооружениях водоснабжения является наблюдение за их отказами и восстановлениями, а точность измерения зависит от числа единиц оборудования, за которыми установлено наблюдение.

В процессе эксплуатации оборудования на очистных сооружениях водоснабжения надежность проявляется как свойство, для которой характерны цикличность. Нормальный цикл эксплуатации оборудования включает подготовку к работе, безотказную работу, простои и профилактические мероприятия. На длительность нормального цикла влияет режим эксплуатации и надежность оборудования. Если оборудование менее надежно, тем чаще проводят профилактические работы по поддержанию их работоспособности.

Нарушение нормального цикла работы оборудования есть случайное событие, и выражается в виде отказов и восстановления работоспособности, которые в повседневной эксплуатации системы водоснабжения могут произойти, а могут и не произойти.

Время возникновения отказа, продолжительность ремонта оборудования на водоснабжении, есть случайная величина, тогда показатели надежности имеют вероятностный характер. Они имеют статистическое и вероятностное определение. Статистическое определение необходимо для оценки показателей надежности по результатам эксплуатации оборудования и водоводов, вероятностное определение – для теоретического анализа надежности сооружения системы водоснабжения.

Литература:

1. Абрамов Н.Н. Водоснабжение. Издание третье, переработанное и дополненное.- М: Стройиздат, 1982.- 26-29 с.
2. Ильин Ю.А. Расчет надежности подачи воды.- М: Стройиздат, 1987.- 5-10 с.
3. Александровская Л.Н., Аронов И.З., Круглов В.И. и др. Безопасность и надежность технических систем. Учебное пособие.- М: Логос, 2008.-21 с.
4. Шукаев Д.Н. Компьютерное моделирование.- Алматы: КазНТУ, 2004.-47 с.

Рецензент: д.т.н., профессор Шукаев Д.Н.