

Раздел 3. Инженерное обеспечение

УДК 628.1+612.0

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДА ГАРАНТИРОВАННОЙ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СХЕМЫ НА ОСНОВЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

ЧАСТЬ 2. Расчет периода безотказной работы гидравлической схемы системы водоснабжения по эксплуатационным показателям надежности современного насосного оборудования

Николенко¹ И.В., Котовская¹ Е.Е., Будчаний² А.О.

¹Академия строительства и архитектуры, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»
295493, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская 181
e-mail: energia-09@mail.ru

²ООО «Н₂О-Крым»
295542, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Залеская, 41
e-mail: fantikraft@mail.ru

Аннотация. В статье представлены подходы к оценке показателей надежности технических систем при проектировании. Показано что на стадии проектирования рассматривается период нормального режима эксплуатации при котором обеспечивается постоянная интенсивность отказов системы, для которого наиболее точной математической моделью является экспоненциальный закон распределения отказов. В первой части настоящей статьи определены значения интенсивности отказов для поставляемых в Республику Крым четырех типов насосов на основе статистической обработки данных по их эксплуатации. Полученные значения интенсивности отказов позволили оценить показатели надежности гидравлической схемы, в которых применяется различные типы такого насосного оборудования. Выполнен расчет периода безотказной работы гидравлической схемы для системы водоснабжения сафари-парка «Тайган». Проведен анализ полученных результатов расчета, а также даны рекомендации по увеличению надежности гидравлической схемы.

Предмет исследования. Закономерности изменения показателей безотказности в течении жизненного цикла технических систем, а также математические модели распределения отказов для различных периодов их работы. Зависимости между основными количественными характеристиками безотказности для периода нормальной эксплуатации, в качестве которой принимается математическая модель экспоненциального закона распределения отказов.

Материалы и методы исследования: Значения показателей надежности для четырех видов насосного оборудования на основе обработки данных эксплуатации методами математической статистики. Анализ и разработка рекомендаций по проектированию гидравлической схемы системы водоснабжения с учетом показателей безотказности на основе применения зависимостей теории вероятности для экспоненциального закона распределения отказов

Результаты. Определен период гарантированной безотказной работы гидравлической схемы проектируемой системы водоснабжения на основе эксплуатационных показателей надежности насосных агрегатов. Повышение эффективности работы гидравлических схем систем водоснабжения и водоотведения за счет выявления реальных показателей надежности.

Выводы. По результатам выполненного расчета гидравлической схемы проектируемой системы водоснабжения выполнена оценка периода гарантированной безотказной работы всей гидравлической схемы и ее составных частей, а также даны предложения по повышению надежности работы рассмотренной системы водоснабжения.

Ключевые слова: техническая система, отказ, вероятность, наработка на отказ, безотказность, интенсивность отказов, гидравлическая схема, количественная оценка, доверительный интервал, резервирование.

ВВЕДЕНИЕ

Качество – это совокупность свойств технической системы (ТС), которые определяют пригодность удовлетворять конкретные потребности в соответствии с её назначением. Показатель качества продукции – это количественная характеристика одного или нескольких свойств продукции, входящих в ее качество, которая рассматривается применительно к определенным условиям ее проектирования, создания, эксплуатации или потребления. Одним из важнейших показателей качества ТС является надёжность, как способность системы и её элементов сохранять в течении определенного

времени и в пределах установленных значений параметров, необходимых для выполнения требуемых функций в заданных условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования. Физический смысл надежности состоит в способности ТС сохранять показатели качества в процессе эксплуатации.

Надёжность ТС является комплексным показателем качества, которое оценивают по четырём единичным показателям – безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости, отражающих одно из свойств надежности технической системы или комплексными показателями по сочетанию единичных свойств.

Безотказность – свойство ТС непрерывно в течение некоторого времени или некоторой наработки сохранять работоспособное состояние, которое характеризуется основными показателями: вероятность безотказной работы, интенсивность отказов и средней наработкой на отказ. Свойство безотказности особенно важно для ТС, отказ в работе которых связан с опасностью для здоровья и жизни людей, с рисками для систем жизнеобеспечения и материальных ценностей или для окружающей природной среды.

Системы водоснабжения (СВ) представляют собой комплекс сооружений, оборудования и трубопроводов, обеспечивающих забор воды из природного источника, очистку и ее обработку, транспортирование и подачу воды потребителям с требуемым расходом, напором и показателями качества. При проектировании и эксплуатации СВ, они должны удовлетворять техническим, экономическим и санитарным требованиям, предъявленным к ним нормативно-технической документацией. Надежность как показатель качества СВ закладывается при их проектировании, но выявляется в процессе эксплуатации. В цикл эксплуатации гидравлических систем, как составной части СВ включаются периоды: подготовки к работе, безотказной работы, устранения отказов, технического обслуживания и ремонта. На длительность безотказной работы гидравлических систем существенное влияние оказывают надежность его элементов, структура их соединения, а также режим их эксплуатации. Чем менее надежны элементы гидравлической системы, тем меньше будут периоды гарантированной безотказной работы и тем чаще будут проводиться мероприятия по устранению отказов для поддержания работоспособности системы, что также связано с увеличением затрат на эксплуатацию.

Надежность гидравлической системы в значительной мере зависит от надежности, прочности, герметичности, износостойкости насосных агрегатов, трубопроводов и их соединений, так как отказ одного из элементов или соединения может вывести из строя всю гидравлическую систему или отдельный ее участок. Для гидравлических систем период гарантированной безотказной работы, продолжительность восстановления работоспособного состояния являются случайными величинами, так как на них оказывают влияние совокупность различных факторов на стадиях проектирования, изготовления, монтажа и эксплуатации. Поэтому показатели надежности имеют вероятностный характер, которым дают статистическое и вероятностное определения. Первое необходимо для оценки показателей надежности по результатам статистической обработки результатов эксплуатации элементов систем водоснабжения либо их стендовых испытаний на надежность, вероятностное определение выполняется при анализе показателей

надежности, проектируемых СВ либо при модернизации и реконструкции этих систем [1].

На этапе проектирования СВ определяются главные элементы проекта, их параметры, характеристики, взаимосвязи и вырабатываются наиболее эффективные варианты реализации задач по подаче воды потребителям с обеспечением требуемых расходов, напоров и качества. При этом СВ должны быть запроектированы и сооружены таким образом, чтобы они удовлетворяли при нормальной работе требованиям потребителей воды по расходам и напорам, а уровень обеспечения потребителей не падал ниже установленного допустимого предела при возникновении в них возможных неисправностей.

Важным показателем качества проектов СВ является условия обеспечения требований по надежности, которые для гидравлических схем выполняются расчетами вероятностными методами на основе данных по интенсивности отказов их основных элементов. Значения интенсивностей отказов, представленные в отечественных источниках научно-технической информации основаны на статистическом анализе отказов по данным эксплуатации отечественного оборудования на крупных насосных станциях систем водоснабжения и водоотведения в конце прошлого века [2, 3, 4, 5]. В настоящее время на рынке насосного оборудования, значительно расширился круг производителей, поставщиков, а также существенно изменились режимы и условия его эксплуатации, что очевидно требует уточнения показателей надежности этого оборудования на основе условий эксплуатации.

В статье [6] авторами статистическими методами установлены количественные оценки показателей безотказности для четырех групп насосного оборудования, поставляемого в Республику Крым специализированным предприятием, деятельностью которого является реализация и гарантийное обслуживание насосных агрегатов для систем водоснабжения и водоотведения, а также выполнен комплексный анализ основных видов отказов этого оборудования. В данной работе выполнен расчет периода гарантированной безотказной работы проектируемой гидравлической схемы на основе установленных статистическими методами эксплуатационных показателей надежности насосных агрегатов.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Эффективность ТС характеризуется их жизненным циклом, который состоит из ряда стадий: проектирование, изготовление и эксплуатация. Каждая из этих стадий жизненного цикла ТС влияет на ее надежность. На стадии проектирования ТС закладываются основы его надежности, так как кроме основных конструктивных и технологических параметров элементов ТС, также оцениваются параметры

надежности каждого элемента и системы в целом. На стадии проектирования и изготовления ТС и ее элементов определяются конструктивно-технологические факторы, влияющие на надежность. Действие этих факторов выявляется на стадии эксплуатации ТС. Кроме того, на этой стадии жизненного цикла системы на ее надежность существенно влияют и эксплуатационные факторы [7, 8].

На стадии эксплуатации реализуются показатели надежности ТС, особенно сложных, в которых происходят преобразования различных видов энергии, существенные изменения режимов работы и эксплуатации. Надежность ТС при эксплуатации обеспечивается путем соблюдения условий и режимов эксплуатации, которые были приняты на стадии проектирования и изготовления.

Основными причинами снижения надежности в процессе эксплуатации СВ являются, ошибки проектирования, изготовления и монтажа, нарушения условий и режимов эксплуатации, а также износ и старение элементов насосного оборудования, арматуры и трубопроводов. Износ приводит к изменению формы и размеров элементов, нарушению работоспособности, усталостным поломкам, снижению прочности, герметичности и т.д. Старение элементов СВ приводит к изменению физико-механических свойств их материалов, влекущему поломки или отказы.

Для создания инженерных методов расчета надежности ТС применяются различные модели проявления отказов, которые базируются на физических представлениях закономерности возникновения и развития процессов, приводящих к утрате работоспособности ТС. Одним из основных показателей безотказности ТС является интенсивность отказов, которая для зависит от времени эксплуатации. Надежность ТС по времени эксплуатации характеризуется тремя периодами по интенсивности отказов [7, 8]. Первый период эксплуатации – это период приработки в течении которого выявляются отказы по вине ошибок проектировщиков и конструкторов, неточностей изготовителей и погрешностей монтажа, что ведет к начальной повышенной интенсивности отказов, которая в течении времени приработки снижается. В период приработки в основном характерны внезапные отказы ТС и ее элементов.

Второй период, является периодом нормальной эксплуатации, при котором интенсивность отказов устанавливается примерно постоянной и определяется случайными, в основном внезапными отказами из-за влияния на ТС различных эксплуатационных факторов. Этот период характерен наименьшей величиной интенсивности отказов. В этот период имеет место экспоненциальный закон надежности.

Третий период эксплуатации ТС характеризуется существенным ростом интенсивности закономерных отказов, что обусловлено повышенными значениями износа,

старения и усталости элементов ТС, что показывает о нецелесообразности ее дальнейшей эксплуатации.

Проектирование, монтаж и эксплуатация СВ выполняется в соответствии с техническим заданием, и действующим комплексом нормативно-технической документации, которые устанавливают нормы, правила, требования к объекту, в том числе по показателям надежности. Несмотря на это, в процессе эксплуатации наблюдаются отказы СВ и ее элементов. В статье [6] детально рассмотрены и проанализированы причины, которые обуславливают основные виды отказов гидравлических схем с четырьмя видами насосного оборудования, поставляемого в системы водоснабжения и водоотведения Республики Крым.

Появление отказов объясняется тем, что СВ работают в сложных условиях, при которых различные процессы и факторы оказывают влияние на элементы системы, чем изменяют во времени значения параметров функционирования. Кроме того, при проектировании, изготовлении элементов, монтаже и эксплуатации имеет место разброс физических и прочностных свойств материалов, нестабильность и различия технологических процессов, а также непостоянство внешних нагрузок и условий работы. Кроме указанных процессов, на работоспособность СВ воздействует много различных случайных факторов, которые предусмотреть и учесть заранее невозможно.

При определении уровня надежности ТС на стадии проектирования нужно количественно оценить время безотказной работы, либо вероятность отказов в течении определенного промежутка времени. Для этого необходимо выполнить анализ физических и химических процессов, ведущих к отказу элементов системы. Однако, на практике отказ вызывается многими, часто противоречивыми случайными факторами, с разнообразной природой и случайной интенсивностью. Количественные выводы о таких отказах, основанные на физико-математических зависимостях получаются весьма сложными для применения в инженерных расчетах. Кроме этого, не все элементарные процессы, которые приводят к отказу достаточно полно исследованы и описываются математически. Поэтому в теории надежности принят количественный метод, который основан на рассмотрении отказов как случайных событий. В этом случае количественные соотношения теории надежности подчиняются законам теории вероятности [9]. Основной задачей теории надежности является выявление и математическое описание такого закона распределения показателей, которые с высокой степенью достоверности процессов появления отказов.

Охарактеризовать надежность ТС в течении жизненного цикла одним законом распределения отказов, практически невозможно. Как указывалось, выше можно выделить как минимум три периода эксплуатации ТС, в которых интенсивность отказов изменяется по-разному. Выбирая закон

распределения отказов для различных периодов работы ТС принимается математическая модель появления отказов, которая должна хорошо соответствовать физической сущности явлений, приводящих к отказам.

Задачей проектирования СВ является определение наиболее надежных вариантов подачи воды потребителям с обеспечением требуемых расходов, напоров и качества в течении установленного промежутка времени. То есть рассматривается период нормального (установившегося) режима эксплуатации при котором обеспечивается постоянная интенсивность отказов системы. Для этого периода эксплуатации наиболее точной математической моделью является экспоненциальный закон распределения отказов. Между большинством показателей теории вероятности установлены математические зависимости, которые позволяют по одному из показателей определять остальные.

Зависимости между основными количественными характеристиками безотказности при экспоненциальном законе распределения отказов при их интенсивности λ и времени работы t имеют вид [10]:

- вероятность безотказной работы

$$P(t) = e^{-\lambda t}; \quad (1)$$

- частота отказов

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}; \quad (2)$$

- средняя наработка до первого отказа

$$t_{cp} = \frac{1}{\lambda}. \quad (3)$$

Отказы сложных ТС, которые состоят из последовательно соединенных узлов и элементов считают случайными и независимыми событиями. Для возможности функционирования такой ТС необходима исправность всех элементов. Поэтому вероятность безотказной работы таких ТС в течении времени t , согласно правилу умножения случайных и независимых событий, можно определить по зависимости:

$$P(t)_{TC} = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdots P_n(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (4)$$

где $P_1(t), P_2(t), \dots, P_n(t)$ – вероятность безотказной работы узлов и элементов ТС, отказ которых вызывает отказ всей ТС, n – количество таких узлов и элементов в ТС.

Из формулы (4) следует, что что вероятность безотказной работы сложной ТС всегда ниже вероятности безотказной работы, самого ненадежного элемента. Основными методами повышения безотказности сложных ТС с последовательно соединенными элементами являются:

- уменьшение числа последовательно соединенных элементов;

- повышение надежности наиболее слабых элементов, за счет снижения интенсивности их отказов, путем снижения нагрузок на них, повышения качества и коэффициентов запаса по техническим характеристикам;

- частное резервирование наименее надежных узлов и элементов, путем параллельного соединения дополнительных аналогичных элементов.

При частном резервировании отказ ТС может наступить при отказе всех элементов системы, в том числе и параллельно соединенных. Поэтому вероятность безотказной работы ТС, содержащего n параллельно соединенных элементов, определяется из выражения [10]

$$P(t)_{TC} = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P_i(t)], \quad (5)$$

В общем случае СВ состоит из гидравлических схем, которые соединяют сооружения забора воды из природного источника, сооружения ее очистки и подачи потребителям. В состав гидравлических схем включаются насосные агрегаты, трубопроводы с арматурой. Работоспособность указанных элементов определяют надежность гидравлических схем в целом. Для расчета сложной ТС, к которым относятся СВ и их гидравлические схемы, достаточно знать состав элементов, их число монтажные соединения и статистические показатели надежности каждого из элементов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Специализированное предприятие – компания «Н₂О-Крым» занимается не только реализацией различного насосного оборудования, но и в составе предприятия функционирует проектная группа, занимающаяся составлением гидравлических схем, подбором насосного оборудования, выполнением проектно-изыскательских работ. Как одна из составляющих репутационного риска коммерческого предприятия является надежность реализованных гидравлических схем. Конечной целью выполнения данной работы является оценка параметров надежности гидравлических схем, составленных проектировщиками компании.

Для анализа надежности работы гидравлической системы, воплощенной по техническому решению принята система насосных станций и трубопроводов, соединенных последовательно, предназначенных для водоснабжения сафари-парка «Тайган». В связи с переброской Тайганского и Белогорского водохранилищ по руслу р. Бююк-Карасу для водоснабжения населенных пунктов Керченского полуострова и Восточного берега Крыма сафари-парк остался без стабильного водоснабжения. Для решения данного стратегического вопроса, обеспечивающего жизнедеятельность крупнейшего в Европе сафари-парка, администрация зоопредприятия обратилась в компанию «Н₂О-Крым» с просьбой поиска

альтернативного решения по водоснабжению сафари-парка и его технического воплощения. Для корректного подбора насосного оборудования были определены расходы водопотребления зоопредприятием. Водопотребление подразделяется на следующие группы: расход воды на содержание животных (водопой, уборка клеток и вольеров, водоемы для водоплавающих животных и птиц) – $7,68 \text{ м}^3/\text{сут}$; водопотребление объектов инфраструктуры: кафе, столовая, бар, гостиница, помещения, предназначенные для проживания обслуживающего зоопарк персонала – $38,03 \text{ м}^3/\text{сут}$; полив парковых растений – $94,35 \text{ м}^3/\text{сут}$. Суммарный суточный расход составляет $147,05 \text{ м}^3/\text{сут}$, часового расхода водопотребления – $10,85 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Для подачи воды на территорию сафари - парка была принята группа насосов. Первым в цепочку последовательно соединенных насосов включен погружной насос, установленный на плавучей платформе в воде Белогорского водохранилища, марка принятого насоса – ЭЦВ 6-25-40, который подает воду с отметки 223,0 м на отметку 246,0 м в емкость (125 м^3) по напорному полиэтиленовому трубопроводу $d\text{у}75$ длиной $l=308 \text{ м}$. Из емкости вода под гидростатическим напором поступает в чек для

выращивания рыбы, расположенный на отметке 230,0 м по напорному полиэтиленовому трубопроводу $d\text{у}150$ длиной $l=4000 \text{ м}$. Из рыбного чека вода под гидростатическим напором по напорному трубопроводу длиной $l=105 \text{ м}$ поступает во всасывающий патрубок насоса К 80-50-315б, расположенный на отметке 228,0 м, который по напорному полиэтиленовому трубопроводу $d\text{у}100$ длиной $l=850 \text{ м}$ подает воду в выработанный карьер на отметку 240,0 м, в дне которого имеются ключи, подпитывающие систему. Из карьера погружным насосом марки ЭЦВ8-18-80 вода подается по напорному полиэтиленовому трубопроводу $d\text{у}100$ длиной $l=100 \text{ м}$ на площадку зоопарка, откуда часть потока направляется на очистку и обеззараживания для питьевых целей, а часть потока направляется на полив территории сафари – парка «Тайган». Таким образом, система состоит из четырех гидравлических систем. На рисунке 1 представлен ситуационный план, на рисунке 2 гидравлический профиль системы подачи воды на площадку сафари-парка. Обоснование параметров гидравлической схемы водоснабжения выполнялось на основе действующих норм, правил и требований [12].



Рис. 1. Схема водоснабжения сафари-парка «Тайган»
Fig. 1. Water supply scheme of the Taigan Safari Park

Принятые гидравлические схемы были описаны показателям интенсивности отказов, полученными в ходе статистической обработки и определены границы вероятности безотказной работы [6, 9, 11], как для отдельных составляющих реализованной

схемы, так и для всей системы в целом. В таблице 1 представлены результаты определения интенсивности отказов, а в таблице 2 представлены результаты расчета интенсивности отказов.

Таблица 1. Расчет интенсивности отказов
Table 1. Calculation of the failure rate

№	Наименование конструктивных элементов	Число элементов	Интенсивность отказов, 10 ⁴ 1/ч		$\lambda_{min} * Ni$	$\lambda_{max} * Ni$
			λ_{min}	λ_{max}		
1	Насос ЭЦВ 6-25-60	1	0,16	0,26	0,160	0,260
2	Обратный клапан $\text{du}75$	1	0,04	1	0,040	1,000
3	Задвижка $\text{du}75$	1	0,1	0,8	0,100	0,800
4	Трубопровод полиэтиленовый $\text{du}75$	0,078	0,0913	0,0913	0,007	0,007
5	Задвижка $\text{du}75$	1	0,1	0,8	0,100	0,800
6	Трубопровод полиэтиленовый $\text{du}75$	0,23	0,0913	0,0913	0,021	0,021
	Итого				0,428	2,888
7	Задвижка $\text{du}150$	1	0,01	1	0,010	1,000
8	Трубопровод полиэтиленовый $\text{du}150$	4	0,0913	0,0913	0,365	0,365
9	Задвижка $\text{du}150$	1	0,1	0,8	0,100	0,800
	Итого				0,475	2,165
10	Трубопровод полиэтиленовый $\text{du}150$	0,105	0,0913	0,0913	0,010	0,010
11	Задвижка $\text{du}150$	1	0,01	1	0,010	1,000
12	Насос К 65-60-105	1	0,27	0,43	0,270	0,430
13	Обратный клапан $\text{du}150$	1	0,04	1	0,040	1,000
14	Задвижка $\text{du}150$	1	0,1	0,8	0,100	0,800
15	Трубопровод полиэтиленовый $\text{du}150$	0,85	0,0913	0,0913	0,078	0,078
	Итого				0,507	3,317
16	Насос ЭЦВ 8-16-80	1	0,16	0,26	0,160	0,260
17	Трубопровод полиэтиленовый $\text{Du}75$	0,15	0,0913	0,0913	0,014	0,014
18	Задвижка $\text{Du}150$	1	0,1	0,8	0,100	0,800
	Итого				0,274	1,074
	Всего				1,684	9,444

Таблица 2. Расчет интенсивности отказов
Table 2. Calculation of the failure rate

Время, при котором определяется $P_c(t)$	Значение $\lambda_{min} * t$	Значение $\lambda_{max} * t$	$P_c(t)$ при $\lambda_{min} * t$	$P_c(t)$ при $\lambda_{max} * t$
0	0	0	1	1
100	0,016	0,09	0,98	0,92
500	0,08	0,43	0,92	0,65
1000	0,16	0,87	0,85	0,42
1500	0,24	1,3	0,78	0,27
2000	0,32	1,74	0,72	0,17
2500	0,4	2,17	0,67	0,11
3000	0,4	2,6	0,62	0,07
3500	0,56	3,04	0,57	0,05
4000	0,64	3,47	0,52	0,03
4500	0,72	3,9	0,48	0,02
5000	0,8	4,34	0,44	0,013
5500	0,88	4,77	0,41	0,009
6000	0,96	5,21	0,38	0,006
6500	1,05	5,64	0,35	0,004
7000	1,13	6,07	0,32	0,002
7500	1,21	6,51	0,29	0,0015
8000	1,29	6,94	0,27	0,001

На рисунках 3, 4, 5, 6 представлены границы гарантированной работы для первой, второй, третьей и четвертой гидравлической схемы

соответственно, в целом по всей системе границы гарантированной работы представлены на рисунке 7.

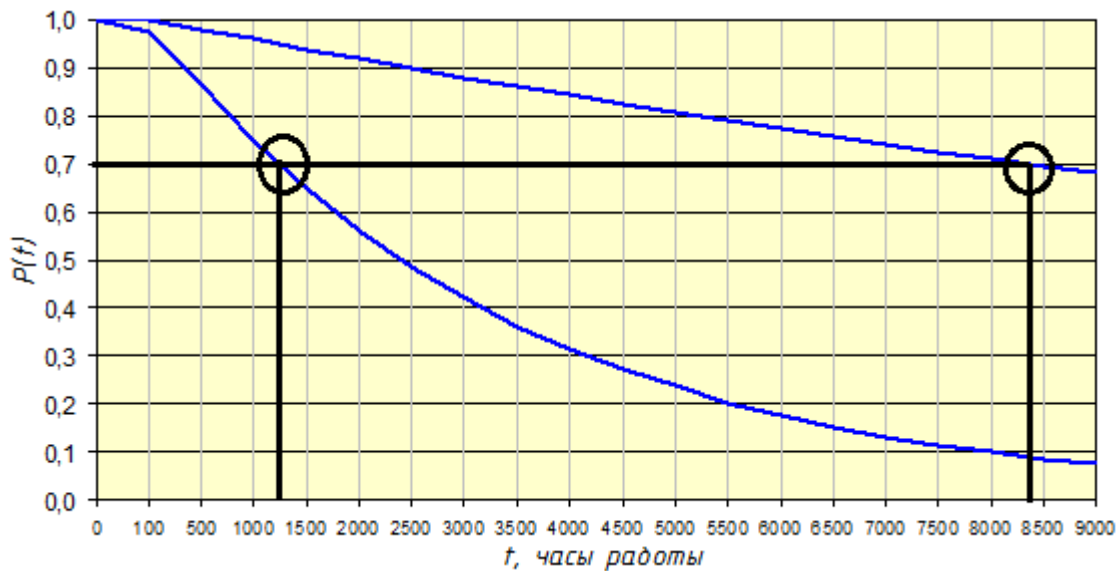


Рис. 3. Границы гарантированной работы первой гидравлической схемы с вероятностью 0,7
Fig 3. The boundaries of the guaranteed operation of the first hydraulic circuit with a probability of 0.7

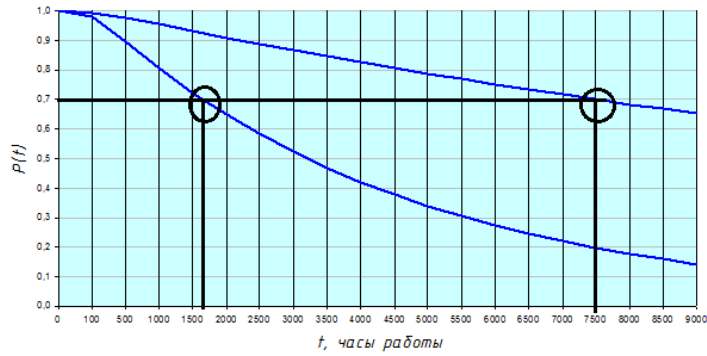


Рис. 4. Границы гарантированной работы второй гидравлической системы с вероятностью 0,7
Fig 4. The boundaries of the guaranteed operation of the second hydraulic system with a probability of 0.7

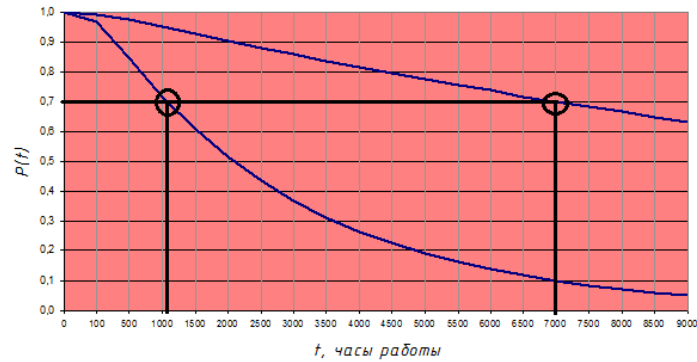


Рис. 5. Границы гарантированной работы третьей гидравлической системы с вероятностью 0,7
Fig 5. The boundaries of the guaranteed operation of the third hydraulic system with a probability of 0.7

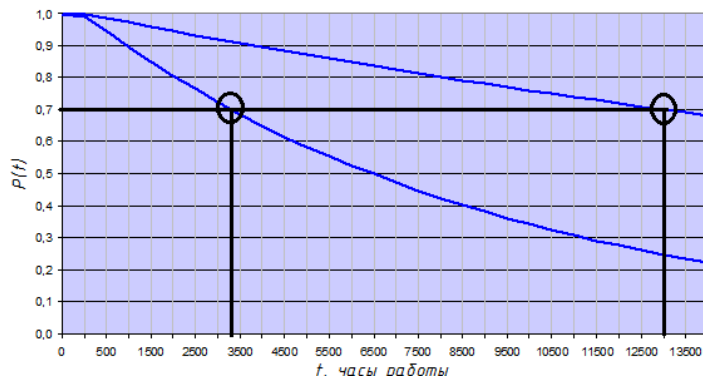


Рис.6. Границы гарантированной работы четвертой гидравлической системы с вероятностью 0,7
Fig 6. The boundaries of the guaranteed operation of the fourth hydraulic system with a probability of 0.7

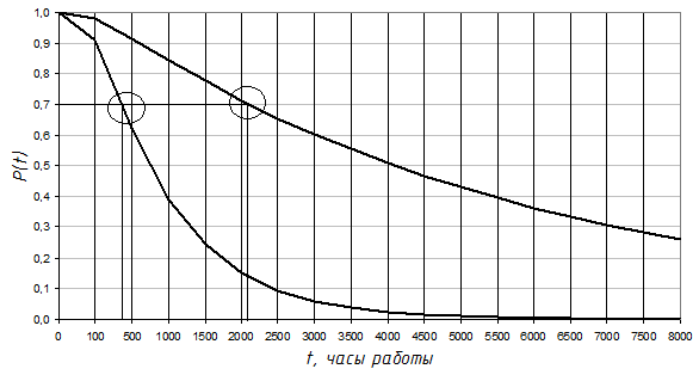


Рис. 7. Границы гарантированной работы всей гидравлической системы с вероятностью 0,7
Fig 7. -Limits of guaranteed operation of the entire hydraulic system with a probability of 0.7

Таким образом были определены числовые значения вероятности безотказной гидравлической схемы системы водоснабжения сафари-парка «Тайган», которые составляют для первой части схемы *1200...8350 часов*; для второй – *1680...7500 часов*; третьей системы *1050...7000 часов*; для четвертой – *3350...13000 часов*; и для всей гидравлической схемы в целом эта величина находится в диапазоне *400...2150 часов*. Можно сделать заключение, что для повышения надежности работы системы необходимо выполнить общее резервирование наименее надежной третьей части гидравлической схемы либо раздельное резервирование наименее надежных элементов всех частей гидравлической схемы.

ВЫВОДЫ

В результате анализа публикаций установлено, что эффективность ТС характеризуется их жизненным циклом, который состоит из ряда стадий: проектирование, изготовление и эксплуатация, каждая из которых на надежность. На стадии проектирования ТС закладываются основы его надежности, так как кроме основных конструктивных и технологических параметров элементов ТС оцениваются параметры надежности каждого элемента и системы в целом. Проанализированы подходы по определению показателей надежности ТС на стадии проектирования. Основой определения показателей безотказности на стадии проектирования СВ является принятие модели периода нормальной эксплуатации, при котором интенсивность отказов устанавливается постоянной.

На основе результатов статистической обработки эксплуатационных отказов 4-х групп современного насосного оборудования получены показатели их надежности, которые были применены для оценки периода безотказной работы гидравлической схемы, реализованной для водоснабжения сафари-парка «Тайган».

В результате расчета периода безотказной работы гидравлической системы и ее составных частей определено, что продолжительность безотказной работы составляет: для первой системы с насосом ЭЦВ 6-25-40 – *1200...8350 часов*; для второй – *1680...7500 часов*; третьей системы с насосом К80-50-315б – *1050...7000 часов*; для четвертой с насосом ЭЦВ 8-18-80 – *3350...13000 часов*. Для всей гидравлической схемы системы в целом эта величина находится в диапазоне *400...2150 часов* с показателем вероятности отказа – 0,7. Продолжительность безотказной работы гидравлической схемы водоснабжения сафари-парка «Тайган» в целом при вероятности отказа 0,9 находится в диапазоне *100...500 часов*.

Полученные данные показывают, что для повышения надежности системы целесообразно выполнить резервирование общее резервирование

наименее надежной третьей части гидравлической схемы либо раздельное резервирование наименее надежных элементов всех частей гидравлической схемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ильин, Ю.А. Надежность водопроводных сооружений и оборудования / Ю.А. Ильин. – М.: Стройиздат, 1985. – 240 с.
2. Абрамов, Н.Н. Надежность систем водоснабжения [Текст]: / Н.Н. Абрамов. – М.: Стройиздат, 1984. – 216 с.
3. Ильин, Ю.А. Расчет надежности подачи воды / Ю.А. Ильин. – М.: Стройиздат, 1987. – 320 с.
4. Найманов, А.Я. Расчет показателей надежности водопроводных насосных станций / А.Я. Найманов, Ю.В. Гостева // Науковий вісник будівництва. Зб наук. праць. – Харків. – 2012. – Вип. 70 – С. 307-312.
5. Новохатній, В.Г. Принципи оцінювання надійності систем виробничого водопостачання / В.Г. Новохатній, С.О. Костенко // Науковий вісник будівництва. Зб. наук. праць. – Харків. – 2012. – Вип. 70 – С. 252-255.
6. Николенко И.В. Определение периода гарантированной безотказной работы гидравлической схемы на основе эксплуатационных показателей надежности насосных агрегатов. Часть 1. Анализ эксплуатационных отказов насосных агрегатов и определение их показателей надежности / И.В. Николенко, Е.Е. Котовская, А.О. Будчаний // Строительство и техногенная безопасность. – 2021, № 21 (73). – с. 115-133.
7. Проников А.С. Надежность машин / А.С. Проников. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с.
8. Беляев Ю.К. Надежность технических систем / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.
9. Венцель Е.С. Теория вероятностей: учебник / Е.С. Венцель. – М.: Кнорус, 2010. – 658 с.
10. Сырицин Т.А. Надежность гидро- и пневмопривода / Т.А. Сырицин. – М.: Машиностроение, 1981. – 216 с.
11. Прейсман, В.И. Основы надежности сельскохозяйственной техники / В.И. Прейсман – К.: Вища школа, 1988. – 247 с.
12. СП 31.13330.2012. Свод правил. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84*. – Введ. 2013-01-01. – М.: Минрегион России, 2012. – 124 с.

REFERENCES:

1. Ilyin, Yu. A. Reliability of water supply facilities and equipment / Yu. A. Ilyin. - M.: Stroyizdat, 1985. - 240 p.
2. Abramov, N. N. Reliability of water supply systems / N. N. Abramov. - M.: Stroyizdat, 1984 – 216 p.

3. Ilyin, Yu.A. Calculation of the reliability of water supply / Yu.A. Ilyin. – M.: Stroyizdat, 1987 – 320 p.
4. Naimanov, A.Ya. Calculation of reliability indicators of water pumping stations / A.Ya. Naimanov, Yu.V. Gosteva // Naukoviy visnik budivnitstva. Zb of Sciences. prats. – Harkiv. – 2012. – V.70. – Pp. 307-312.
5. Novokhatny, V.G. Principi otsinyuvannya nadiynosti sistemy virobничого vodopostachannya / V. G. Novokhatny, S.O. Kostenko // Naukoviy visnik budivnitstva. Zb.nauk. prats. – Harkiv. – 2012. – V.70. – Pp. 252-255.
6. Nikolenko I.V. Determination of the period of guaranteed trouble-free operation of the hydraulic circuit based on operational reliability indicators of pumping units. Part 1. Analysis of operational failures of pumping units and determination of their reliability indicators / I.V. Nikolenko, E.E. Kotovskaya, A.O. Budchany // Construction and technogenic safety. – 2021, № 21(73). – p. 115-133.
7. Pronikov A.S. Reliability of machines / A.S. Pronnikov. – M.: Mashinostroenie, 1978. – 592 p.
8. Belyaev Yu.K. Reliability of technical systems / Yu.K. Belyaev, V.A. Bogatyrev, V.V. Bolotin. – M.: Radio and Communications, 1985. – 608 p.
9. Wentzel E.S. Probability theory: textbook [Text]:/. E.S. Wentzel. – M.: Knorus, 2010. – 658 p.
10. Syritsin T.A. Reliability of hydro-and pneumatic drive /. T.A. Syritsin. – M.: Mashinostroenie, 1981 – - 216 p.
11. Preisman, V.I. Fundamentals of reliability of agricultural machinery / V.I. Preisman. – K.: Vishcha shkola, 1988. – 247 p.
12. SP 31.13330.2012. A set of rules. Water supply. Outdoor networks and structures. Updated version of SNiP 2.04.02-84*. – Introduction. 2013-01-01. – M.: Ministry of Regional Development of Russia, 2012. – 124 p.

DETERMINATION OF THE PERIOD OF GUARANTEED RELIABILITY OPERATION OF THE HYDRAULIC CIRCUIT BASED ON THE OPERATIONAL RELIABILITY INDICATORS OF PUMPING UNITS

PART 2. Calculation of the period of reliability operation of the hydraulic circuit of the water supply system according to the operational reliability indicators of modern pumping equipment

Nikolenko I.V.¹, Kotovskaya E.E.¹, Budchany A.O.²

¹V.I. Vernadsky Crimean Federal University, 295007, Simferopol, Prospect Academic Vernadsky 4, Russia
²LLC "H2O-Crimea"

Annotation. The article presents approaches to assessing the reliability of technical systems in the design. It is shown that at the design stage, the period of normal operation is considered, in which a constant failure rate of the system is provided, for which the most accurate mathematical model is the exponential law of failure distribution. In the first part of this article, the values of the failure rate for four types of pumps supplied to the Republic of Crimea are determined on the basis of statistical processing of data on their operation. The obtained values of the failure rate allowed us to evaluate the reliability indicators of the hydraulic circuit, in which various types of such pumping equipment are used. The calculation of the period of trouble-free operation of the hydraulic circuit for the water supply system of the safari park "Taigan" was performed. The analysis of the obtained calculation results is carried out, as well as recommendations for increasing the reliability of the hydraulic circuit are given.

The subject of the study. Regularities of changes in reliability indicators during the life cycle of technical systems, as well as mathematical models of failure distribution for different periods of their operation. The dependence between the main quantitative characteristics of reliability for the period of normal operation, which is taken as a mathematical model of the exponential law of the distribution of failures.

Materials and methods of research. The values of reliability indicators for four types of pumping equipment based on the processing of operation data by methods of mathematical statistics. Analysis and development of recommendations for the design of a hydraulic scheme of a water supply system taking into account reliability indicators based on the application of probability theory dependencies for the exponential law of failure distribution

Results. The period of guaranteed trouble-free operation of the hydraulic scheme of the projected water supply system is determined on the basis of operational reliability indicators of pumping units. Improving the efficiency of hydraulic circuits of water supply and sanitation systems by identifying real reliability indicators.

Conclusions. Based on the results of the performed calculation of the hydraulic scheme of the projected water supply system, an assessment of the period of guaranteed trouble-free operation of the entire hydraulic scheme and its components was made, and proposals were also made to improve the reliability of the considered water supply system.

Key words: technical system, failure, probability, operating time for failure, reliability, failure rate, hydraulic circuit, quantitative assessment, confidence interval, redundancy.