УДК: 628.1+612.0 DOI: 10.37279/2413-1873-2021-21-115-134

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

Николенко И.В.[1], Котовская Е.Е.[1], Будчаный А.О.[2]

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

[2] ООО «H_2O-Крым»
295542, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Залесская, 41
e-mail: fantikraft@mail.ru

Аннотация. В статье представлены значения интенсивности отказов для современных марки насосов четырех групп: погружные, предназначенные для отвода дренажных и сточных вод; бытовые; консольные; погружные - для забора артезианских вод на основе статистической обработки данных по их эксплуатации. Полученные величины интенсивности отказов позволяют оценивать показатели надежности гидравлических схем, в которых применяется различные типы насосного оборудования. Проанализированы отказы насосного оборудования с их детальным описанием и представлением практических фотографий, накопленных на специализированном предприятии, деятельность которого направлена на проектирование насосных станций, поставку, монтаж и сервисное обслуживание насосного оборудования на территории Республики Крым.

Предмет исследования. Закономерности возникновения, характер и виды отказов насосных агрегатов систем водоснабжения и водоотведения в условиях эксплуатации с разработкой аналитических и статистических моделей оценки их надежности.

Материалы и методы исследования: Информация по отказам и наработке на отказ насосных агрегатов систем водоснабжения и водоотведения в условиях эксплуатации для определения характеристик надежности на основе обработки баз данных методами математической статистики, для последующего анализа и разработки рекомендаций по проектированию и эксплуатации гидравлических систем.

Результаты. Повышение эффективности работы насосных агрегатов систем водоснабжения и водоотведения за счет выявления реальных показателей надежности насосного оборудования,

Выводы. По результатам выполненного анализа установлены основные причины, формирующие базу отказов насосного оборудования, с выявлением превалирующих причин их возникновения: эксплуатационные, конструкционные или же ошибка проектировщика. Выполнена оценка параметров надежности для четырех групп насосного оборудования реализуемого на территории Республики Крым.

Ключевые слова: Отказ, насосное оборудование, время наработки на отказ, безотказность, частота отказов, гидравлическая схема, показатели надежности, интенсивность отказов, количественная оценка, границы гарантированной работы, доверительный интервал, кавитация.

ВВЕДЕНИЕ

Насосные агрегаты в системах водоснабжения и водоотведения (СВВ) являются важнейшими элементами, которые своими параметрами и характеристиками определяют технический уровень этих систем в целом. В настоящее время на рынке насосного оборудования (НО) для СВВ устойчиво занимают лидирующие позиции фирмы производители, к которым относятся: *KSB, Willo,* (Германия); *Calpeda, Lowara, Pedrollo* (Италия), *Grundfos* (Дания), группа компаний *«ГИДРОМАШСЕРВИС»* (Россия), а также некоторые другие. При подготовке проектной и рабочей документации для СВВ на основе разработки комплекса технических и технологических решений выбор НО обосновывается соответствием параметров рабочих характеристик условиям эксплуатации. Одним из важнейших показателей качества по обеспечению эффективной и длительной эксплуатации НО является его надежность, как комплексного свойства сохранять во времени, в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования. К сожалению, многие производители НО в паспортных характеристиках не указывают всех показателей надежности, ограничиваясь только показателями долговечности. Определение показателей надежности НО требует сбора, статистической обработки данных по отказам, по наработке, времени безотказной работы и восстановления в эксплуатационных условиях для последующего анализа и разработки рекомендаций.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Изучению закономерностей возникновения, характера и видов отказов элементов СВВ с разработкой аналитических и статистических моделей оценки надежности посвящены работы известных ученых: Н.Н. Абрамова, Ю.М. Кузьмина, Н.А. Украинца, В.Г. Новохатнего, О.Г. Примина, В.С. Макогонова, Ю.А. Пемова, Л.Г. Дерюшева, Г.П. Небольсина, А.Д. Сабитова, Ю.А. Ильина, А.А. Ионина, И.И Науменко, Ю.А. Ясина и др. Показатели надежности НО, представленные в этих работах, были основаны на статистическом анализе отказов в основном на данных эксплуатации отечественного оборудования на крупных насосных станциях СВВ в конце прошлого века. В настоящее время на рынке НО значительно расширился круг производителей, поставщиков, а также существенно изменились условия его эксплуатации. Известные научные подходы позволяют адекватно получать модели и характеристики показателей надежности НО. Однако показатели надежности для большинства современных насосных агрегатов в настоящее время требуют уточнения, как по условиям эксплуатации, так и по конкретным типам, моделям и типоразмерам, в связи с существенным увеличением видов применяемого НО, в том числе зарубежного производства. Необходимость получения показателей для современного НО, с учетом изменившихся условий эксплуатации, определило актуальность выбранного направления исследования, предназначенного для повышения качества работы насосных агрегатов в СВВ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работа выполнялась на основе обращения в Академию строительства и архитектуры Крымского Федерального университета им. В.И. Вернадского (г. Симферополь) коммерческого предприятия – компании «H_2O-Крым» по оказанию помощи в определении показателей эксплуатационной надежности НО. Компания ООО «H_2O-Крым», работает на рынке НО Республики Крыма более 20-ти лет. Основными видами ее деятельности являются поставка, продажа, монтаж, сервисное обслуживание НО, проектирование, монтаж систем водоподготовки и фильтрации воды, систем очистки канализационных стоков. ООО «H_2O-Крым» официальный дилер насосного оборудования как отечественного, так и импортного производства: торговых марок SPRUT, Rudes; (Китай); «Насосы плюс оборудование»; «Промэлектро» (Украина); «ГМС-групп» (РФ); Pedrollo (Италия) и др. Одел эксплуатации компании предоставил свои данные по отказам и наработке на отказ насосных агрегатов и другие рабочие материалы, с целью выявления характеристик надежности реализуемого НО и выполнения анализа показателей надежности проектируемых гидравлических схем. Результатом, выполненного анализа, стали рекомендации повышения эффективности разработанных проектов и выявления реальных показателей оборудования, поставляемого компаниями – партнерами производителями насосного оборудования. В таблице 1 перечислены наименования фирм производителей – партнеров ООО «H_2O-Крым», указаны соответствующие марки насосного оборудования в соответствии с целевым назначением.

Таблица 1. Фирмы-производители и марки реализуемого насосного оборудования
Table 1. Manufacturers and brands of pump equipment sold

Виды реализуемого оборудования	Наименование фирм-производителей	Марки насосов
Погружные насосы для отвода дренажных вод	*«Насосы плюс оборудование» (Украина)*	*Dsp 550*
	SPRUT (Китай)	*WQD 15-15-1,5; V180*
	Pedrollo (Италия)	*MC10/30; Top4; VX8/3*
Консольные	*«ГМС-групп» (Россия)*	*К50-32-125; К 65-50-160; К 80-65-160; К 80-65-160а; К 80-50-200; К150-125-315; К 100-65-200; К 150-125-315*
	Pedrollo (Италия)	*F 400-200*
Бытовые	*SPRUT (Китай)*	*MRS 3*
	Pedrollo (Италия)	*JSW 2ax; Pkm 60;CP190; JSR 10MX; PLURIJET 4/200*
	Rudes (Китай)	*JET 110b*
	DAB (Италия)	*qb 60*
	Насосы плюс оборудование (Украина)	*Cpm 158; JEX 500*
Погружные для отвода забора артезианских вод	*«Промэлектро» (Украина)*	*Водолей 0,5-25*
	«ГМС-групп» (Россия)	*ЭЦВ 6-25-40*
	Pedrollo (Италия)	*4SR 4-18*

В таблице 2 приведены паспортные данные по энергетическим характеристикам рассматриваемого насосного оборудования, а таблице 3 сводный журнал наблюдений отказов четырех групп НО, которые были поставлены потребителям ООО «H_2O-Крым».

Таблица 2. Энергетические характеристики НО
Table 2. Energy characteristics of pumping equipment (PE)

Наименование характеристик	Погружные дренажные	Консольные	Бытовые	Погружные артезианские
Ресурс по паспорту (часов выработки/до кап. ремонта)	2500/6000	6000/32000	20000	6000/16000
Паспортный срок службы, *лет*	5	6	6	5
Развиваемый напор, *м*	5…38	10…160	30…140	15…340
Диапазон подач, *м³/ч*	8…150	4…120	3…30	1,5…80
Потребляемая мощность, *кВт*	0,5…6	1,5…84	0,3…5	0,4…34
КПД, *%*	46…62	36…65	48…68	51…64

Таблица 3. Сводный журнал наблюдений отказов НО
Table 3. Summary log of PE failure observations

№ п/п	Модель, тип насоса	Дренажные	Консольные	Бытовые	Погружные
1	Поломка двигателя вследствие неправильной эксплуатации	83	34	168	201
2	Поломка торцевого уплотнения в результате наличия большого количества включений в воде	0	0	68	153
3	Деформация рабочего колеса, в результате воздействия кавитации	0	3	124	0
4	Диффузор и рабочее колесо – работа с песком	0	0	58	206
5	Торцевое уплотнение – работа без воды	48	0	68	40
6	Поломка двигателя вследствие неправильного подбора параметров	68	5	12	62
7	Поломка двигателя вследствие работы без стабилизатора в сети с пониженным (повышенным) напряжением	10	2	28	13
8	Выход из строя втулок и подшипников	32	19	50	68
9	Попадание воды в двигатель не через торцевое уплотнение	5	3	69	26
10	Выход из строя двигателя из-за не соблюдения технических требований	0	6	15	30
11	Суммарное количество возвратов на гарантийное обслуживание	246	72	660	799
	Общее число насосов введенных в эксплуатацию	682	188	4500	3890

Информация по числу насосов, введенных в эксплуатацию и по их отказам приведена в таблице 3 и представлена графически на рис. 1.

Показатели безотказности [1-3] определялись по известным зависимостям:

$$Q(t) = \frac{n(t)}{N_0}, \qquad (1)$$

$$P(t) = \frac{N_{oi} - n(t)}{N_0}, \qquad (2)$$

где $Q(t)$ – вероятность отказа;

$P(t)$ – вероятность безотказной работы;

$n(t)$ – число отказавших образцов за время t;

N_0 – число однотипных видов оборудования, за которыми велось наблюдение в течение времени t.

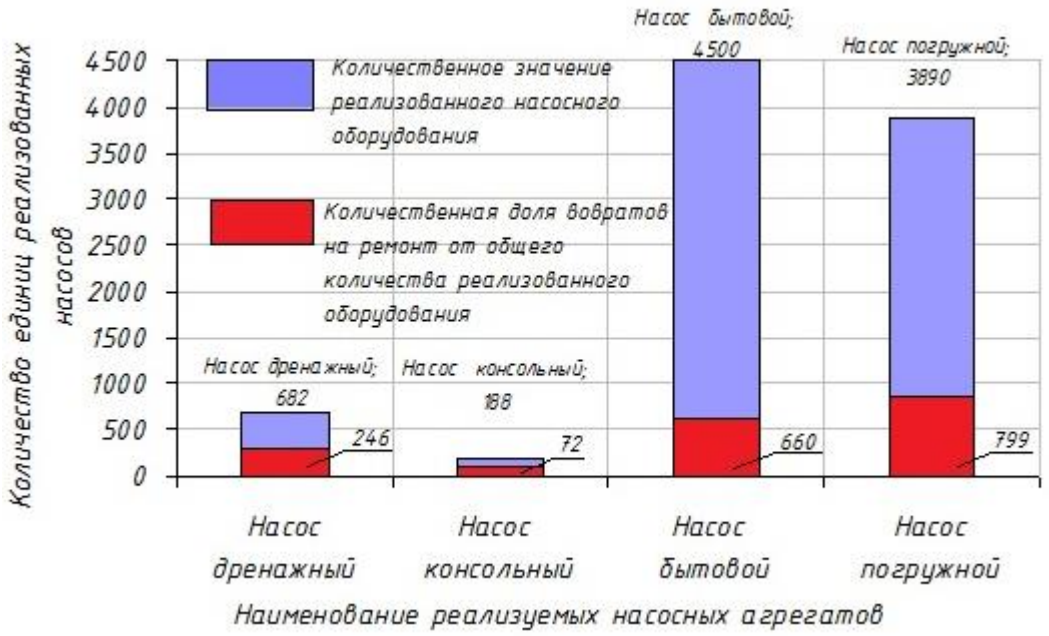

Рис. 1. Гистограмма реализованного насосного оборудования компанией «H_2O-Крым» в течении 4-х лет с распределением по маркам насосного оборудования и указанием по группам количества возвратов на ремонт
Fig. 1. Histogram of the pumping equipment sold by «H_2O-Crimea» for 4 years, with distribution by brand of pumping equipment and indication by group of the number of returns for repairs

В таблице 4 отображены результаты количественной оценки отказов и безотказности работы реализованного насосного оборудования компанией «H_2O-Крым».

Таблица 4. Сводные данные по отказам и безотказной работе насосного оборудования
Table 4. Summary data on failures and uptime of the pumping equipment

Показатель	Тип насосов			
	Погружные дренажные	Консольные	Бытовые	Погружные артезианские
Вероятность наступления отказа	0,361	0,383	0,147	0,205
Вероятность безотказной работы	0,639	0,617	0,853	0,795

На рисунке 2 представлена гистограмма распределения отказов среди реализованных погружных насосов, предназначенных для отвода дренажных вод, построенная на основе анализа данных приведенных в таблице 3.

Рис. 2. Гистограмма распределения по группам отказов среди реализованных погружных насосов, предназначенных для отвода дренажных вод
Fig. 2. Histogram of the distribution by failure groups among the implemented submersible pumps designed for drainage water drainage

Проанализировав данные приведенные на рисунке 2 можно заключить, что среди отказов, возникающих при работе погружных насосов, предназначенных для перекачки дренажных вод, лидирующую позицию занимают отказы, вызванные поломкой двигателя в результате неправильной эксплуатации с частотой 0,34. Вторая позиция с частотой 0,28 принадлежит отказам, связанным с поломкой двигателя вследствие неправильного подбора параметров. Третья позиция (с частотой 0,2) – это поломки торцового уплотнения из-за работы без воды. Четвертая позиция (с частотой 0,13) – выход из строя втулок и подшипников. Пятая позиция (с частотой 0,04) – поломка двигателя вследствие работы без стабилизатора сети с повышенным (пониженным) напряжением. Шестая позиция (с частотой 0,02) – поломка вызванная попаданием воды в двигатель не через торцовое уплотнение. Другие виды отказов соответствуют нулевым значением, по-видимому, это обусловлено конструктивными особенностями погружных насосов, а также качественным составом перекачиваемой среды.

На рис. 3 представлена гистограмма распределения отказов по видам среди реализованных предприятием консольных насосов. Проанализировав данные приведенные на рисунке 3 можно сделать выводы, что среди отказов, возникающих при работе консольных насосов, лидирующую позицию занимают отказы, вызванные поломкой двигателя в результате неправильной эксплуатации с частотой 0,47. Вторая позиция (с частотой 0,26) – это поломки, связанные с выходом из строя втулок или подшипников. Третья позиция (с частотой 0,08) соответствует выходу из строя двигателя из-за несоблюдения технических требований. Четвертая позиция (с частотой 0,07) – поломка двигателя из-за неправильного подбора параметров. Пятую и шестую строку разделили между собой (с частотой 0,04) отказы, вызванные деформацией рабочего колеса в результате воздействия кавитации и отказы, вызванные попаданием воды в двигатель не через торцовое уплотнение. Седьмая позиция (с частотой 0,03) соответствует отказам, вызванным работой без стабилизатора напряжения в сети. Другие виды отказов соответствуют нулевым значением.

Рис. 3. Гистограмма распределения отказов среди реализованных консольных насосов
Fig. 3. Histogram of the distribution of failures among the implemented cantilever pumps

На рис. 4 представлена гистограмма распределения отказов по видам среди реализованных предприятием бытовых насосов.

Рис. 4. Гистограмма распределения отказов среди реализованных бытовых насосов
Fig. 4. Histogram of the distribution of failures among the implemented household pumps

Проанализировав данные, приведенные на рисунке 4 можно заключить, что среди отказов, возникающих при работе бытовых насосов, встречаются все виды отказов. Первое место среди причин возникновения отказов (с частотой 0,25) – это поломки двигателя в результате неправильной эксплуатации. Второе место (с частотой 0,19) - поломки из-за отказов, связанных с воздействием кавитации на рабочее колесо насосного агрегата. Третья место (с частотой 0,1) занимают сразу три причины возникновения отказов: поломка торцового уплотнения в результате наличия большого количества включений в воде; выход из строя торцового уплотнения – работа без воды; попадание воды в двигатель не через торцовое уплотнение. Четвертая позиция (с частотой 0,09) – отказы, вызванные воздействием на диффузор и рабочее колесо – работа с песком. Пятое место (с частотой 0,08) – выход из строя втулок и подшипников. Шестое место (с частотой 0,04) – поломка двигателя вследствие работы без стабилизатора напряжения в сети. Седьмое место (с частотой 0,02) разделили между собой отказы, вызванные поломкой двигателя из-за неправильного подбора параметров и при несоблюдении паспортных требований.

На рис. 5 представлена гистограмма возникновения отказов по видам среди реализованных предприятием погружных насосов, предназначенных для забора артезианской воды.

Рис. 5. Гистограмма распределения отказов среди реализованных погружных насосов для забора артезианских вод
Fig. 5. Histogram of the distribution of failures among the implemented submersible pumps for artesian water intake

Проанализировав данные приведенные на рис. 5 можно резюмировать, что среди отказов, возникающих при работе погружных насосов, предназначенных для забора артезианских вод, встречаются почти все виды отказов. Первое место среди причин возникновения отказов (с частотой отказов 0,26) занимают поломки диффузора и рабочего колеса из-за поступления с забираемой артезианской водой водоносного песка. Второе место (с частотой 0,25) принадлежит отказам, обусловленным поломкой электродвигателя в результате неправильной эксплуатации. Третье место (с частотой 0,19) соответствует отказам, связанным с поломкой торцевого уплотнения в результате наличия большого количества включений в воде. Четвертое место – (с частотой 0,09) занимают отказы, вызванные выходом из строя втулок и подшипников. Пятая позиция (с частотой 0,08) – отказы, вызванные воздействием на диффузор и рабочее колесо – работа с песком. Шестое место (с частотой 0,08) – поломка двигателя из-за неправильного подбора параметров. Седьмое место (с частотой 0,05) соответствует отказам, вызванным поломкой торцового уплотнения. Восьмое место (с частотой 0,04) – выход из строя двигателя вследствие несоблюдения технических требований. Девятое место (с частотой 0,03) – попадание воды в двигатель не через торцовое уплотнение. Десятое место (с частотой 0,02) – поломка двигателя из-за работы без стабилизатора напряжения в сети. Отказы, вызываемые воздействием кавитации, для данной группы насосов отсутствуют, что обусловлено погружением насоса на достаточную глубину, при этом над корпусом насоса имеется некоторый статистический напор, что обуславливает работу без кавитации.

Для лучшей интерпретации данных по отказам по различным группам насосов на рисунке 6 представлена сводная таблица для всего массива эксплуатационных данных.

Насосы	1	2	3
Погружные для отвода дренажных и сточных вод	0,34	0,28	0,2
Консольные	0,47	0,26	0,08
Бытовые	0,25	0,19	0,1
Погружные для забора артезианских вод	0,26	0,25	0,19

Поломка двигателя вследствие неправильной эксплуатации
Поломка торцевого уплотнения
Наличие в перекачиваемой воде песка
Поломка двигателя из-за неправильного подбора параметров
Выход из строя втулок и подшипников
Выход из строя двигателя из-за не соблюдения техпараметров
Отказы, обусловленные явлением кавитации

Рис. 6. Количественный анализ частоты отказов групп насосного оборудования
Fig. 6. Quantitative analysis of the failure rate of pumping equipment groups

По результатам анализа таблицы, представленной на рисунке 6, можно заключить, что наиболее частым видом отказов, для рассмотренных типов насосов, является поломка электродвигателя вследствие неправильной эксплуатации.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Повышение надежности агрегатов связано с детальным анализом причин, которые вызывают основные виды отказов. Далее будут рассмотрены причины, которые обуславливают основные виды отказов насосного оборудования систем водоснабжения и водоотведения [2, 11].

Поломка двигателя вследствие неправильной эксплуатации. Основными параметрами, характеризующими работу двигателя, являются: номинальная мощность на валу *N, кВт*; номинальное напряжение *U, В*; номинальная частота вращения *n, мин*$^{-1}$; номинальная частота питания *f, Гц* (для двигателей переменного тока) [6]. На рис. 7 представлена рассчитанная механическая характеристика *M=f(S)* двигателя *АИР 90L2 насоса К65-50-160*, а на рис. 8 представлена классификация режимов работы двигателя. Переходные режимы являются неизбежными при работе любого механизма, при этом полезная работа не совершается, по возможности периоды работы в переходных режимах необходимо сокращать. Наиболее частой причиной выхода двигателей из строя является его перегрев, приводящий к нарушению изоляции [6]. Перегрев двигателя происходит при пуске, реверсе, торможении и перегрузках в установившемся режиме работы. При частых пусках и реверсах перегрев значителен, что приводит к значительной потере механической энергии и, следовательно, к снижению КПД.

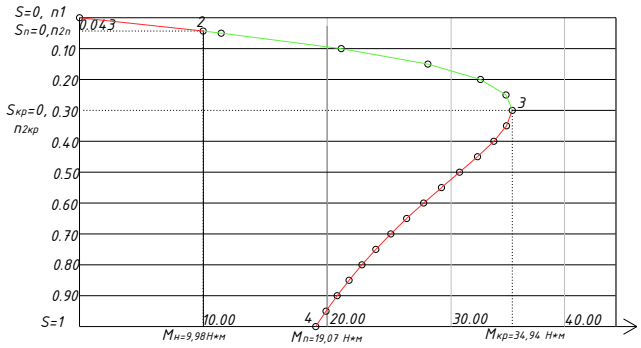

Рис. 7. Механическая характеристика *M=f(S)* двигателя *АИР 90L2* насоса *К65-50-160*
Fig. 7. Mechanical characteristic *M=f (S)* of the *АИР 90L2* engine of the K65-50-160 pump

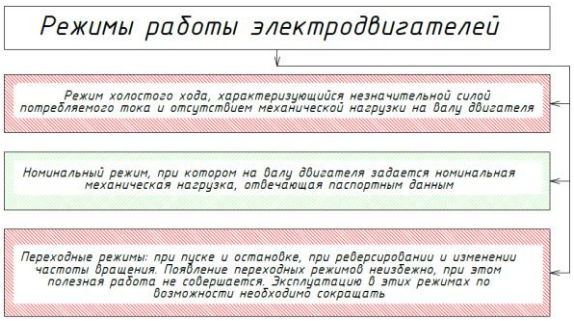

Рис. 8. Классификация режимов работы электродвигателей
Fig. 8. The classification of operating modes of electric motors

Поломка электродвигателя вследствие неправильного подбора параметров сети. Отказы НО, обусловленные неправильными действиями с соединительными проводами. При этом основными отказами, связанными с соединительными проводами, являются неправильный подбор кабеля (повышенное сопротивление), обрыв фазы, неправильное чередование фаз при реверсе электродвигателя. При повышенном сопротивлении кабеля, он сильно греется, что приводит к повреждению изоляции и короткому замыканию. При обрыве фазы двигатель продолжает работать, но при этом резко возрастают токи обмоток электродвигателя, если защита не срабатывает, то изоляция обмоток перегревается и разрушается. На рис. 9 показано фото погружного насоса, предназначенного для забора артезианских вод, поступившего на ремонт.

А Б В

Рис. 9. Общий вид разрыва кабеля питания электродвигателя погружного насоса для забора артезианской воды:
А – погружной насос с электрокабелем; Б – нарушение изоляции кабеля; В – разрыв кабеля питания
Fig. 9. General view of the rupture of the power cable of the electric motor of the submersible pump for artesian water intake:
А – submersible pump with an electric cable; Б – violation of the cable insulation; В – rupture of the power cable

Направление вращения трехфазного электродвигателя определяется чередованием фаз, при противоположном направлении вращения наблюдаются значительное изменение параметров и характеристик центробежных насосов. При этом возникает значительное повышение крутящего момента на валу электродвигателя, и как следствие его сильный нагрев. Для стационарных насосов направление вращения электродвигателя определяется при монтаже и может измениться только при проведении работ в электросети. Направление вращения переносных насосов (дренажных) необходимо проверять при каждом подключении.

Поломка двигателя вследствие работы без стабилизатора в сети с пониженным или повышенным напряжением. Для управления электроприводом насосных станций, заключающегося в коммутации, разгоне, торможении и регулировании частоты вращения, применяется в основном низковольтная, рассчитанная до *500В* аппаратура ручного и автоматического управления. В зависимости от назначения эта аппаратура подразделяется на коммутационную, регулировочную и защитную. Одни и те же аппараты могут выполнять различные функции, например, коммутацию и защиту двигателя. Общим требованием, предъявляемым ко всем электрическим аппаратам управления и защиты, относятся их высокая надежность, быстродействие и точность срабатывания [6].

На рис. 10 приведены фотографии последствия воздействия на плату автоматизации повышения напряжения в сети. Все фотографии отказов предоставлены специализированным предприятием «H_2O-Крым». О нарушении нормальной работы насосных станций сигнализируют специальные электрические приборы, устанавливаемые на панелях электрошкафов и щитках диспетчерских пультов. Предупредительная, аварийная и контрольная сигнализация автоматически извещает персонал об опасных изменениях режимов, аварийном отключении оборудования, о работе или остановке отдельных агрегатов станции. При пониженном напряжении в сети электродвигатель не развивает паспортной мощности, и при его пуске возможен срыв параметров.

Колебания и скачки напряжения, перекос фаз (неравенство напряжений в различных фазах) приводят к колебаниям скорости вращения, повышенным вибрациям электродвигателя, а также могут привести к нарушению изоляции обмотки.

А Б В

Рис. 10. Общий вид платы автоматизации после внезапного изменения напряжения:
А – оплавленный корпус платы автоматизации; Б, В – оплавленная плата автоматизации
Fig. 10. General view of the automation board after a sudden voltage change:
А – the melted body of the automation board; Б, В – the melted automation board

Попадание воды в двигатель не через торцевое уплотнение. Попадание воды в двигатель насоса возможно, как через торцевое уплотнение, так и со стороны заднего вентилятора, или же через конденсаторную или коробку выводов (рис. 11).

А Б В

Рис. 11 - Вид сгоревшего электродвигателя насоса: А – сгоревшие обмотки статора; Б – ротор со следами попадания воды, В – статор, на поверхность которого попала вода

Fig. 11-View of the burnt-out electric motor of the pump: A-burnt stator windings; Б-the rotor with traces of water ingress, B - the stator, on the surface of which water has fallen

Данное явление может быть следствием затопления помещения, в котором были установлены насосные агрегаты или же они находились во время дождя на улице.

Поломка торцевого уплотнения. Неисправность уплотнительных узлов является распространенной причиной остановок насосов. Наиболее простым по конструкции и в обслуживании является сальниковое уплотнение. Материал, из которого выполнено уплотнение и усилия поджатия, зависят от рабочих давлений, скорости скольжения поверхности вала, температуры и свойств перекачиваемой жидкости.

К основным причинам выхода из строя торцевого уплотнения относятся:

- коррозия (химическое, электрохимическое или биологическое воздействие);
- отложение со стороны внешней и уплотняемой среды;
- перегрев вследствие высоких температур и превышения допустимых напряжений кручения (допустимого крутящего момента);
- превышение допустимых напряжений (допустимого крутящего момента)
- «термический шок».

Фото поломки торцового уплотнения вследствие сухого хода насоса показано на рисунке 12. Перекачиваемая жидкость является охладителем, но при завоздушивании системы, или при включении насоса без подачи воды, происходит перегревание торцового уплотнения, что приводит к его выходу из строя. Большинство случаев поломок по сухому ходу обусловлены некомпетентными действиями обслуживающего персонала.

А Б В

Рис. 12. Поломки торцового уплотнения насоса:
А – из-за сухого хода; Б – налипания металла; В – из-за наличия включений в воде
Fig. 12. Pump mechanical seal failures:
A – due to dry running; Б – metal sticking; B – due to the presence of inclusions in the water

На рис. 13 представлено фото, на котором изображена поломка торцового уплотнения из-за налипания металла и значительного наличия включений в воде. Конструкция двойного торцового уплотнения показана на рис. 14

Нарушение деталей насоса в результате воздействия кавитации. Кавитация – процесс нарушения сплошности течения жидкости, возникающий в тех участках потока, где давление, понижаясь, достигает некоторого критического значения [7]. В качестве критического давления, при котором начинается кавитация, обычно принимают давление насыщенных паров перекачиваемой жидкости при данной температуре. Качественные изменения структуры потока, вызванные кавитацией, приводят к изменениям режима работы гидравлической машины или системы, что является последствием воздействия кавитации [7].

Кавитационная зона, возникающая в проточной части гидравлических машин, меняет путь потока, что нежелательно и сопровождается дополнительными потерями энергии. Снижение энергетических параметров (подача, напор) и уменьшение коэффициента полезного действия

являются прямым следствием кавитации в любой гидравлической машине. Неустойчивость кавитационной зоны и вызванные появлением этой зоны вторичные течения жидкости приводят к значительным пульсациям давления в потоке, оказывающим динамическое воздействие на направляющие поток поверхности.

Воздействие кавитации сопровождается разрушением поверхности, на которой возникают и некоторое время существуют кавитационные пузыри, называемое кавитационной эрозией. Механические повреждения рабочих органов гидравлических машин в результате кавитационной эрозии могут за относительно короткий срок достигнуть размеров, затрудняющих их нормальную эксплуатацию (рисунок 13).

А

Б

Рис. 13. Разрушение деталей насоса под воздействием явления кавитации:
А – внутренней поверхности корпуса; Б – лопасти рабочего колеса
Fig. 13. Destruction of pump parts under the influence of the cavitation phenomenon:
А – the inner surface of the housing; Б – the impeller blades

К простым способам устранения кавитации относится:

- уменьшение высоты всасывания;
- понижение потерь напора во всасывающем трубопроводе путем увеличения его диаметра, уменьшения величины и числа местных сопротивлений и потерь напора по длине, за счет установки ближе к питающему резервуару, но не более 5…10 м.;
- увеличение давления во всасывающем трубопроводе путем повышения уровня воды в питающем резервуаре, либо применением бустерного насоса [7]. Для устранения процессов разрушения под воздействием кавитации рекомендуемая схема установки насоса относительно уровня воды в источнике показана на рисунке 14 [7-10] с учетом *п. 10.15 СП 31.13330.2012* [12].

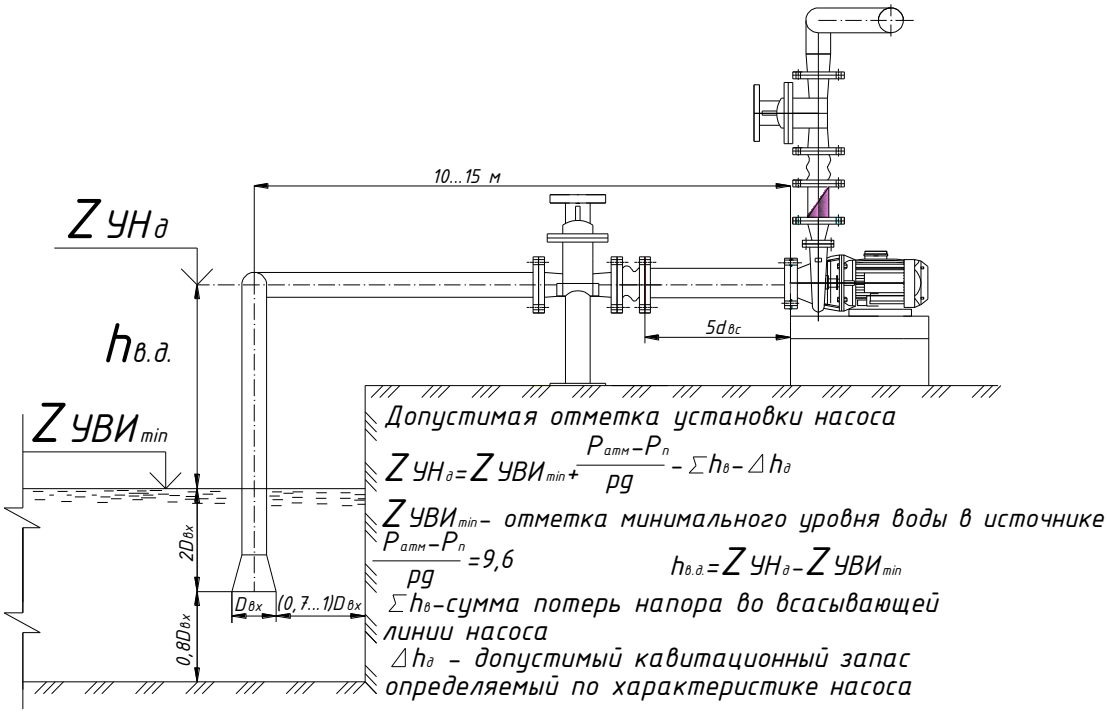

Рис. 14. Схема установки насоса от уровня воды в источнике
Fig. 14. Diagram of the pump installation from the water level in the source

Выход из строя подшипников. В центробежных насосах применяют как подшипники качения (шариковые и роликовые), так и подшипники скольжения (с бронзовыми или баббитовыми вкладышами). Поломки подшипниковых узлов вызваны в основном неправильным монтажом насосного агрегата и электродвигателя с нарушением допускаемой соосности и перекоса валов агрегатов, что вызывает повышенные нагрузки, неправильные режимы охлаждения и смазки (рис. 15).

Рис. 15. Поломка подшипника качения с разрушением обоймы и тел качения
Fig. 15. Rolling bearing failure with destruction of the cage and rolling elements

Отказы, вызванные повреждением диффузора и рабочего колеса из-за наличия песка в перекачиваемой воде. При заборе артезианских вод и при отсутствии должным образом устроенного фильтра скважины, подобранного в зависимости от типа водоносного песка, в насос поступают минеральные включения. Песок, поступающий в рабочие органы насоса, воздействует на крыльчатку и диффузор, постепенно способствующие изменению энергетических характеристик и засорению проточных органов. На рис. 16 показаны фотографии поломок насосов, вызванные засорением воды минеральными включениями.

Как видно на фотографиях, приведенных на рис. 16, в рабочие органы насоса поступили достаточно крупные минеральные включения. Избежать подобного явления помогут правильный подбор фильтра для артезианской скважины по *п.8.14 СП 31.13330.2012* [12], после анализа водоносного песка, полученного в результате пробной откачки, а также устройство специального отстойника, длиной два метра ниже фильтра в соответствии с *п.8.21 СП 31.13330.2012* [12].

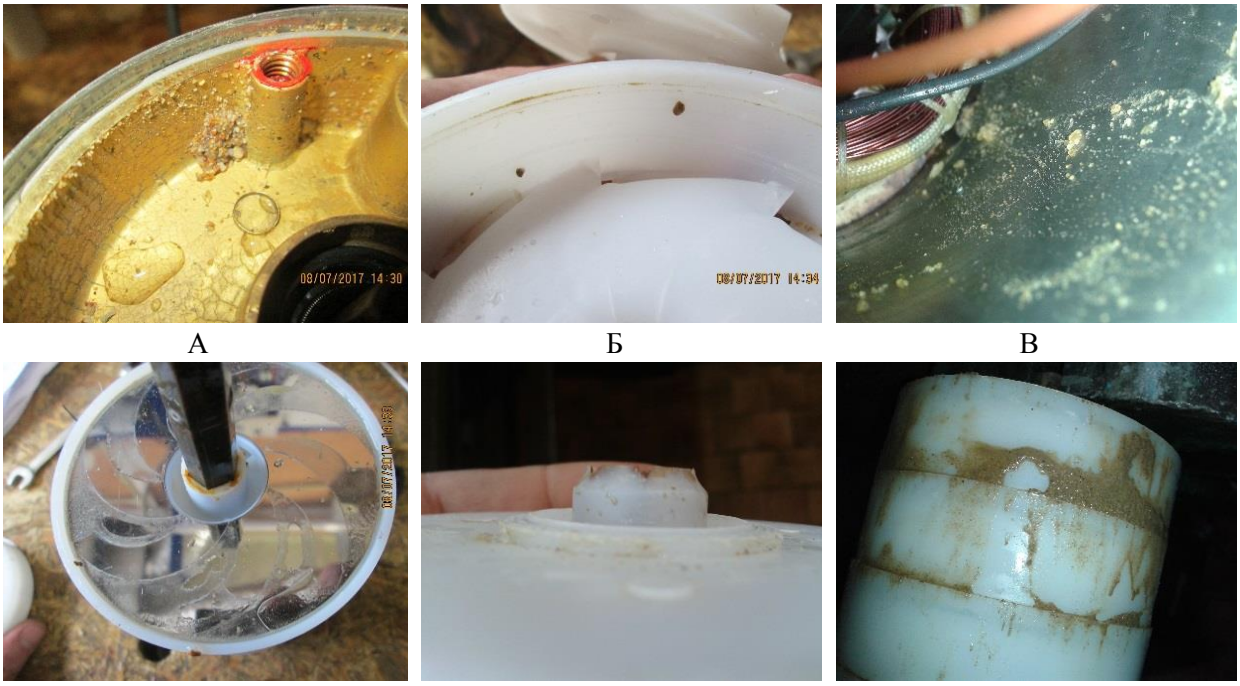

Рис. 16. Поломки деталей насоса после забора воды с песчаными включениями:
А, Б – минеральные включения в проточных органах; В – песок в корпусе электродвигателя; Г – песчаный отпечаток рабочего колеса на направляющей поверхности; Д – разрушенная фаска рабочего колеса; Е – рабочие колеса, вынутые из корпуса, после забора воды с песком
Fig. 16. Pump parts breakdowns after water intake with sand inclusions: А, Б – mineral inclusions in the flow organs; В – sand in the motor housing; Г – sand impression of the impeller on the guide surface; Д – destroyed bevel of the impeller, Е – impellers removed from the housing after water intake with sand

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ

Для определения показателей интенсивности отказов насосов, предназначенных для бытового водоснабжения, была составленная выборка из журнала регистраций ремонтов на специализированном предприятии. В выборку были включены наименование марки насоса, дата его поломки; наименование поломки; определен период работы до возникновения отказа.

Определение параметров интенсивности [1-3] отказов осуществляли по следующему выражению:

$$\lambda^*(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_{cp}(\Delta t)\Delta t}; \quad (3)$$

$$Ncp^*(\Delta t) = \frac{N_i + N_{i+1}}{2}; \quad (4)$$

где $N_{cp}(\Delta t)$ – среднее число исправно работающих образцов оборудования в интервале времени Δt;

N_i, N_{i+1} – число исправно работающих образцов оборудования в начале и в конце интервала Δt.

Для каждой марки насоса период наработки на отказ определяется по формуле [4, 5]:

$$T* = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_i}{N_0}; \quad (5)$$

где t_i – время работы до отказа *i-го* образца оборудования.

Определение интенсивности отказов погружных насосов, предназначенных для забора артезианских вод. Данные по отказам погружных насосов приведены в таблице 5, а в таблице 6 приведены результаты расчетов среднего времени наработки на отказ.

Таблица 5. Журнал данных ремонтов погружных насосов
Table 5. Data log of submersible pump repairs

№ п/п	Марка насоса	Дата продажи	Дата приемки	Срок работы, месяцы	Вид поломки
1	*V-180*	09.03.15	10.10.17	31	Замена подшипников
2	*V-250*	27.02.16	16.10.17	20	Оборван поплавок
3	*VX 8/35*	11.12.12	17.10.17	62	Заклинивание ротора
4	*V-180*	15.11.13	21.10.17	31	Сгорел двигатель, заклинивание вала
5	*V-180*	06.12.14	23.10.17	34	Разлетелся подшипник
6	*VX 8/35*	15.08.14	24.10.17	38	Отсутствие защиты по току сгорел двигатель
7	*V-250*	25.01.12	27.10.17	34	Замена масла в двигателе
8	*WQD 15-15-1,5*	22.10.14	28.10.17	36	Работа не в рабочем диапазоне, сгорел двигатель
9	*MC 10/30*	18.12.12	31.10.17	62	Замена масла, подшипников, торцевого
10	*V-180*	20.10.12	3.11.17	61	Замена масла, подшипников, торцевого уплотнения, поплавка
11	*V-1500*	19.06.13	07.11.17	53	Замена режущего ножа и подшипников
12	*WQD 10-8-0,55*	02.05.16	14.11.17	36	Намотало на вал, сгорел двигатель
13	*V-250*	28.03.14	17.11.17	20	Замена конденсатора
14	*V-180*	21.08.15	18.11.17	27	Замена уплотнений, кабеля
15	*V-1500*	05.06.13	28.11.17	53	Замена ножа и корпуса насосной части
16	*V-180*	23.01.13	25.11.17	58	Сгнил кожух статора, отсутствует заземление
17	*V-1500*	05.06.13	28.11.17	53	Замена ножа и корпуса насосной части, разбило крупными фракциями
18	*V-250*	12.08.16	14.12.17	16	Оборван кабель питания
19	*V-180*	27.05.13	11.12.17	27	Сгнил ротор
20	*V-250*	12.08.16	14.12.17	19	Замена рабочего колеса
21	*MC 10/30*	23.09.16	15.12.17	15	Поплавок пропустил воду, перемотка
22	*WQD 10-8-0,5*	02.05.16	14.11.17	36	Замена подшипников, перебандаж двигателя
23	*V-180*	17.08.11	18.12.17	76	Замена подшипников, замена масла, поплавка и кабеля
24	*VX 8/35*	18.03.16	11.01.18	22	Вода в двигателе, работа в не заданных параметров
25	*V-180*	08.10.11	12.01.18	76	Замена подшипников, замена масла

Продолжение таблицы 5
Continued Table 5

26	*WQD 10-8-0,55*	21.11.14	16.01.18	38	Перемотка двигателя
27	*V-250*	21.01.16	26.01.18	24	Перегрев, перемотка двигателя
28	*V-180*	03.06.16	29.01.18	19	Заклинивание вала
29	*Dsp 550*	05.11.14	04.02.17	1	Перенапряжение в сети, выгорели семистеры
30	*WQD 10-8-0,55*	03.12.15	13.02.17	14	Работа не в параметрах, замена теплового датчика
31	*Top 4*	16.05.14	16.02.17	31	Не работает поплавок
32	*Dsp 550*	30.07.14	21.02.17	31	Сгнил вал
33	*Dsp 550*	28.02.15	21.02.17	24	Замена торцевого уплотнения
34	*Top 1*	21.06.11	23.02.17	68	Замена подшипников, торцевого уплотнения
35	*Dsp 750p*	11.06.15	25.02.17	20	Разрыв конденсаторов

Таблица 6. Время на работки на отказ для различных марок погружных насосов
Table 6. Failure time for different brands of submersible pumps

Марка насоса	*V180*	*VX 8/35*	*WQD 15-15-1,5*	*Dsp 550*	*MC 10/30*	*Top 4*
Время наработки на отказ *tср*, месяцев	38,5	40,7	32	19	38,5	49,56
Время наработки на отказ *tср*, часов	13870	14652	11520	6840	13860	17820

Структурное распределение по маркам насосов, выраженное в процентах, среди погружных насосных агрегатов, предназначенных для отвода дренажных вод, представлено на рис. 17. В таблице 7 приведены результаты определения интенсивности отказов, выявленные для современных марок погружных насосов, реализуемых на специализированном предприятии.

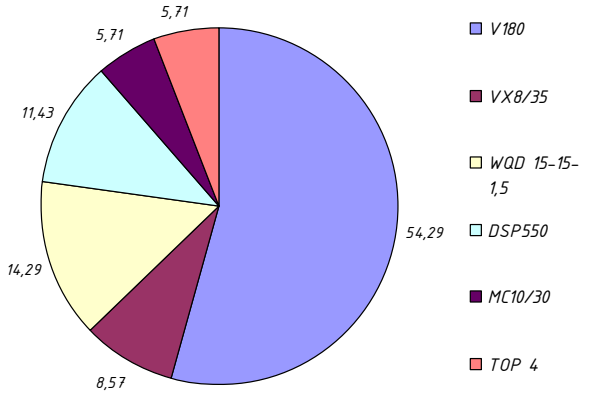

Рис. 17. Процентное распределение в структуре реализации погружных насосов, предназначенных для отвода дренажных вод
Fig. 17. Percentage distribution in the structure of sales of submersible pumps intended for drainage water drainage

Таблица 7. Показатели интенсивности отказов, λ на основе обработки статистических данных погружных насосов
Table 7. Failure rate indicators, calculated based on the processing of statistical data of submersible pumps

Марка насоса	Интенсивность отказов, 10^4 1/ч		
	λ_{min}	λ_{cp}	λ_{max}
Sprut V180	*0,26*	*0,38*	*0,41*
Pedrollo VX 8/35	*0,25*	*0,36*	*0,39*
SPRUT WQD 15-15-1,5S	*0,31*	*0,46*	*0,49*
«Насосы плюс оборудование» Dsp550	*0,53*	*0,78*	*0,82*
Pedrollo MC 10/30	*0,26*	*0,38*	*0,41*
Pedrollo Top 4	*0,20*	*0,30*	*0,32*

Данные по отказам консольных насосов приведены в таблице 8, в таблице 9 представлены результаты расчетов среднего времени наработки на отказ.

Таблица 8. Данные журнала ремонтов консольных насосов
Table 8. Cantilever pump repair log data

№ п/п	Марка насоса	Дата продажи	Дата приемки	Срок работы, месяцы	Вид поломки
1	*К 80-65-160*		26.02.13	120	Замена подшипников (3 раза); замена полумуфты (2 раза), перемотка двигателя; перебандаж обмоток
2	*К 80-65-160*		11.06.14	36	Замена подшипников, перемотка двигателя
3	*К 150-125-315*		24.07.14	18	Замена подшипников, полумуфты, насосной части
4	К 80-65-160		24.07.14	18	Износ рабочих комплектов (работа по песку)
5	*К 50-32-125*		28.11.14	6	Замена подшипников
6	*К80-50-200*		12.04.15	24	Замена подшипников, чистка и замена полумуфты (2 раза)
7	*К 50-32-125*		08.09.15	72	Замена подшипников, замена полумуфты (2 раза)
8	*К 100-65-200*		05.12.15	60	Замена подшипника; перемотка двигателя (2 раза)
9	*К 80-65-160а*		05.04.16	60	Перемотка двигателя (2 раза); замена подшипников (3 раза); замена вентилятора; ремонт насосной части замена насосной части
10	*К 80-50-315*		21.08.16	24	Замена подшипников
11	*К 80-65-160а*		14.05.17	18	Замена вентилятора, замена контактной колодки
12	*К 50-32-125*	26.08.15	15.10.17	26	Сгорел двигатель, нет защиты по току
13	*F40-200*	19.09.12	25.10.17	61	Затопление двигателя
14	*К 80-85-160*	24.07.15	25.11.17	28	Клин вала из-за простоя
15	*F65-125*	26.08.15	28.11.17	52	Механическое повреждение насосной части
16	*К65-50-160*	30.06.14	12.12.17	40	Торцовое уплотнение
17	*К 80-85-160*	26.05.15	11.01.18	20	Замена сальниковой набивки, перебандаж статора
18	*К 50-32-125*	21.03.16	15.01.18	68	Замена подшипников, торцового уплотнения, конденсатора

Таблица 9. Время на работки на отказ для различных марок консольных насосов
Table 9. Failure response time for different brands of cantilever pumps

Марка насоса	*К 50-32-125*	*К 65-50-160*	*К 80-65-160*	*К 80-65-160а*	*К 80-50-200*	*К 80-50-315*	*К 100-65-200*	*К 150-125-315*	*F400-200*
Время наработки на отказ $t_{ср}$, месяцев	43	40	60	31,5	24	24	60	18	56,5
Время наработки на отказ $t_{ср}$, часов	15480	14400	21600	11340	8640	8640	21600	6480	20340

Распределение реализованных марок насосов, вернувшихся на гарантийное обслуживание, выраженное в процентах, среди консольных насосов, предназначенных для отвода дренажных вод, представлено на рис. 18. В таблице 10 приведены результаты определения интенсивности отказов, выявленных среди консольных насосов, реализуемых на специализированном предприятии.

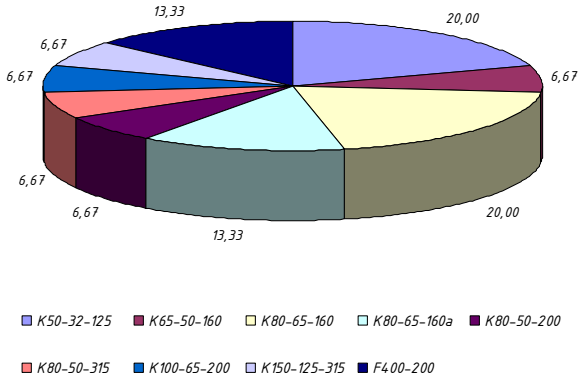

Рис. 18. Процентное распределение в структуре реализации консольных насосов по маркам
Fig. 18. Percentage distribution in the structure of sales of cantilever pumps by brand

Таблица 10. Показатели интенсивности отказов, λ на основе обработки статистических данных погружных насосов
Table 10. Failure rate indicators, calculated based on the processing of statistics of submersible pumps

Марка насоса	Интенсивность отказов, 10^4 1/ч		
	λ_{min}	λ_{cp}	λ_{max}
К 50-32-125	*0,25*	*0,36*	*0,4*
К 65-50-160	*0,27*	*0,38*	*0,43*
К 80-65-160	*0,18*	*0,26*	*0,29*
К 80-65-160а	*0,34*	*0,49*	*0,55*
К 80-50-200	*0,44*	*0,64*	*0,72*
К 80-50-315	*0,44*	*0,64*	*0,72*
К 100-65-200	*0,18*	*0,26*	*0,29*
К 150-125-315	*0,59*	*0,85*	*0,96*
F400-200	*0,19*	*0,27*	*0,31*

Определение интенсивности отказов бытовых насосов. Данные по отказам бытовых насосов показаны в таблице 11, в которой насосы одинаковой марки выделены цветом. В таблице 12 представлены результаты расчетов среднего времени наработки на отказ. На основании данных классифицированных в таблице 11, было выявлено, что насос марки *Rudes (Китай) JET 110b и «Насосы плюс оборудование» (Украина)* JEX 500 наиболее частая поломка обусловлена выходом из строя торцового уплотнения.

Распределение реализованных марок насосов, вернувшихся на гарантийное обслуживание, выраженное в процентах, среди бытовых насосов, предназначенных для водоснабжения коттеджей, частных домов, полива садовых культур представлено на рис. 19. В таблице 13 приведены результаты определения интенсивности отказов, выявленных среди бытовых насосов, реализуемых на специализированном предприятии.

Таблица 11. Журнал данных ремонтов бытовых насосов
Table 11. Data log of household pump repairs

№ п/п	Марка насоса	Дата продажи	Дата приемки	Срок работы, месяцы	Вид поломки
1	*JSW 1b*	02.05.16	01.02.17	9	***Торцовое уплотнение***
2	*Pkm60*	16.05.14	03.02.17	33	Попадание воды в двигатель
3	*JSW 1b*	24.03.16	03.02.17	11	***Торцовое уплотнение***
4	*Pkm60*	04.04.16	05.02.17	10	Стерлась крыльчатка, вода с примесями
5	*Pkm60*	16.05.16	07.02.17	9	Просел конденсатор
6	*Rudes qb60*	06.03.16	08.02.17	11	Гул подшипников
7	*Plurijet 3/80*	08.04.16	08.02.17	10	Расплавились рабочие комплекты, работа по сухому ходу
8	*JSW 1b*	21.11.14	14.02.17	27	Торцовое уплотнение, подшипники
9	*Cpm 130*	18.10.14	15.02.17	28	Подшипники, попадание воды через конденсаторную коробку
10	*JSWM 10mx*	05.06.15	16.02.17	20	Диффузор, эжектор, трещина
11	*Plurijet 3/80*	08.09.16	17.02.17	5	Разморожена насосная часть
12	*JSWM 10mx*	17.10.12	18.02.17	52	Подшипники, торцевое, конденсатор
13	*MRS 3*	26.05.12	18.02.17	57	Замена диффузора
14	*JSWM 1ax*	13.04.15	21.02.17	22	Оплавлен диффузор
15	*MRS 3*	19.11.14	22.02.17	27	Торцовое уплотнение, сгорел двигатель, подшипники
16	*JSW 1ax*	18.10.16	23.02.17	4	Конденсатор
17	*JSWM 15mx*	28.06.16	27.02.17	8	Работа в не заданных параметрах, насос цел
18	*Plurijet 4/200*	23.08.11	28.02.17	66	Рабочие комплекты стерты при работе по сухому ходу

Продолжение таблицы 11
Continued Table 11

19	*JET 110b*	26.12.15	10.10.17	22	***Торцовое уплотнение***
20	*Plurijet 4/200*	05.06.13	25.10.17	52	Замена подшипников
21	*JSR 10MX*	29.03.17	27.10.17	7	Лопнул диффузор
22	*JET 110b*	05.06.13	25.10.17	52	Конденсатор (скачок напряжения)
23	*JEX 1100*	14.05.16	30.10.17	17	***Торцовое уплотнение***
24	*Plurijet 3/80*	24.01.13	03.11.17	58	Сгорел двигатель, просел конденсатор
25	*JSW 2bx*	31.03.12	06.11.17	68	Гул подшипников, замена торцового уплотнения
26	*JEX 1100*	23.04.16	06.11.17	19	***Торцовое уплотнение***
27	*Plurijet 3/100*	24.02.14	15.11.17	45	Профилактические мероприятия
28	*Cpm 158*	06.09.14	17.11.17	38	***Торцовое уплотнение***
29	*JSR 10MX*	09.08.17	18.11.17	3	Расплавление рабочего колеса
30	*JET 110b*	13.11.13	20.11.17	48	Поступление воды в двигатель, замена подшипников
31	*Plurijet 3/100*	04.06.14	21.11.17	41	Торцовое уплотнение
32	*JSW 2bx*	22.07.13	22.11.17	52	Расплавление диффузора и эжектора
33	*Cpm 158*	26.02.14	23.11.17	45	Разморозило
34	*JET 110b*	26.03.15	23.11.17	32	***Торцевое уплотнение***
35	*Plurijet 3/80*	06.05.17	23.11.17	6	Не создает давление, стерта крыльчатка
36	*JSW 2bx*	22.04.14	22.11.17	43	Торцевое уплотнение
37	*JEX 1100*	15.06.13	25.11.17	53	***Торцовое уплотнение***, подшипники
38	*Plurijet 4/200*	28.07.14	26.11.17	40	Сгорел двигатель (***торцовое уплотнение стерлось***)
39	*Cpm 158*	07.08.14	27.11.17	39	Засорение рабочего колеса насоса
40	*JET 110b*	24.03.15	29.11.17	32	***Торцовое уплотнение,*** подшипники
41	*JSW 1cx*	12.10.13	03.12.17	50	Сгорел двигатель (просел конденсатор)
42	*Plurijet 3/100*	24.07.14	03.12.17	41	Повело рабочее колесо из-за закипания
43	*JET 110b*	06.05.15	03.12.17	31	***Торцовое уплотнение***
44	*JSW 1cx*	28.07.12	05.12.17	65	Гул двигателя, замена подшипника
45	*JSW 1cx*	30.06.17	07.12.17	6	Гул подшипников, замена торцового уплотнения
46	*JEX 500*	14.10.16	13.12.17	14	***Торцовое уплотнение***
47	*Cpm 130*	02.02.16	14.12.17	22	Работа с песком
48	*JSW 2bx*	12.06.13	15.12.17	54	Замена подшипников, торцового уплотнения, конденсаторов
49	*CP 190*	21.05.12	15.12.17	67	Сгорел двигатель, попадание воды через клемную коробку
50	*Plurijet 4/100*	28.01.15	15.12.17	35	Эжектор лопнул
51	*JSW 1cx*	28.03.12	15.12.17	69	Перебит кабель, выгорела обмотка
52	*Plurijet 3/100*	08.09.13	20.12.17	51	Перебит кабель, выгорела обмотка
53	*JSR 10MX*	26.10.13	20.12.17	50	Разлетелся подшипник
54	*JSW 2bx*	22.07.13	22.11.17	52	Замена конденсатора и торцового уплотнения
55	*JEX 500*	10.03.17	12.01.18	9	Мал диаметр всасывающего трубопровода, сгорел двигатель
56	*JSW 1ax*	26.02.15	12.01.18	35	Торцовое уплотнение
57	*JET 110b*	10.04.13	18.01.18	57	***Торцовое уплотнение***
58	*Cpm 158*	07.09.15	20.01.18	28	Сгорел двигатель
59	*JEX 500*	06.01.15	26.01.18	36	***Торцовое уплотнение,*** подшипники
60	*JET 110b*	06.09.16	28.01.18	16	***Торцовое уплотнение***, работа с песком
61	*JSW 2bx*	03.01.17	28.01.18	12	Диффузор стерт песком, крыльчатка забита

Таблица 12. Время на работки на отказ для различных марок бытовых насосов
Table 12. Failure response time for various brands of household pumps

Марка насоса	*CP190*	*qb 60*	*MRS 3*	*Pkm 60*	*JSR 10MX*	*JSW 2ax*	*Cpm 158*	*Plurijet 4/200*	*JET 110b*	*JEX 500*	*JSWM 2ax*
Время наработки на отказ t_{cp}, месяцев	52	11	42	17,3	5,7	34,6	35,17	38,75	36,5	18,7	26,7
Время наработки на отказ t_{cp}, часов	18720	3960	2520	6228	2052	12456	12661,2	13950	13140	6732	9612

Данные по отказам погружных насосов, предназначенных для забора артезианских вод, приведены в таблице 14, в таблице 15 показаны результаты расчетов среднего времени наработки на отказ.

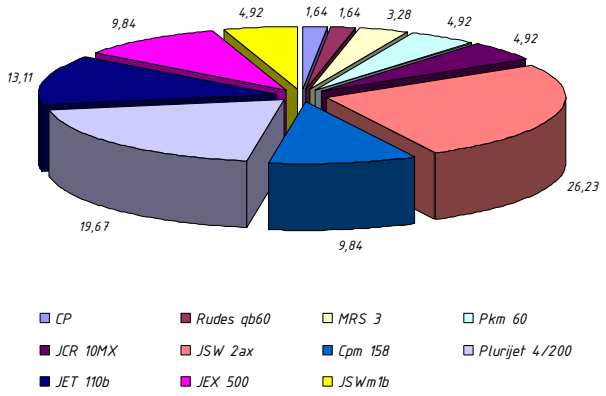

Рис. 19. Процентное распределение в структуре реализации бытовых насосов по маркам
Fig. 19. Percentage distribution in the structure of sales of household pumps by brand

Таблица 13. Определение интенсивности отказов, λ на основе обработки статистических данных
Table 13. Determination of the failure rate, λ based on statistical data processing

Марка насоса	Интенсивность отказов, 10^4 1/ч		
	λ_{min}	λ_{cp}	λ_{max}
«Pedrollo» CP190	*0,08*	*0,09*	*0,14*
«Rudes» qb 60	*0,37*	*0,43*	*0,65*
«SPRUT» MRS 3	*0,1*	*0,11*	*0,17*
«Pedrollo» Pkm 60	*0,24*	*0,28*	*0,41*
«Pedrollo» JSR 10MX	*0,71*	*0,84*	*1,25*
Pedrollo» JSW 2ax	*0,12*	*0,14*	*0,21*
«Насосы плюс оборудование» Cpm 158	*0,12*	*0,14*	*0,20*
Pedrollo Plurijet 4/200	*0,11*	*0,12*	*0,18*
«DAB» JET 110b	*0,11*	*0,13*	*0,19*
«Насосы плюс оборудование» JEX 500	*0,22*	*0,26*	*0,38*
«Pedrollo» JSWM 2ax	*0,15*	*0,18*	*0,27*

Таблица 14. Журнал данных ремонтов погружных насосов, предназначенных для забора артезианских вод
Table 14. Data log of repairs of submersible pumps intended for artesian water intake

№ п/п	Марка насоса	Дата продажи	Дата приемки	Срок работы, месяцы	Вид поломки
1	*ЭЦВ 6-25-40*	18.02.14	08.02.17	26	Сгорел двигатель, перекос фаз
2	*Водолей 0,5-25*	19.09.16	13.02.17	5	Замена рабочих комплектов и торцового уплотнения, работа по песку
3	*Водолей 0,5-50*	01.08.14	21.02.17	30	Сгорел двигатель, попадание воды в масло через мембрану
4	*4SR 4-18*	16.06.16	10.10.17	16	Износ рабочих комплектов (работа по песку)
5	*Водолей 0,5-80*	01.05.14	23.10.17	41	Сгнил кожух электродвигателя
6	*Водолей 1,2-50*	27.02.15	31.10.17	32	Вода в двигателе (порвана донная мембрана)
7	*4SR 2-10*	22.02.15	01.11.17	33	Перебит кабель, выгорела обмотка
8	*Водолей 0,5-40*	17.03.12	22.11.17	68	Масло в двигателе, замена торцевого уплотнения, вода в двигателе
9	*Водолей 1,2-40*	10.09.13	24.11.17	68	Замена подшипников, торцового уплотнения, вода в двигателе
10	*4SR 4-18*	14.09.13	1.12.17	51	Работа по сухому ходу, замена комплектов, торцового
11	*Водолей 0,5-40*	30.01.13	08.12.17	41	Выгорание термозащиты
12	*4SR 2-10*	18.07.14	12.12.17	41	Работа без защиты по току, сгорел двигатель

Продолжение таблицы 14
Continued Table 14

13	*Водолей 0,5-50*	23.12.15	26.12.17	41	Замена торцевого уплотнения, замена двигателя
14	*Водолей 0,5-40*	10.03.14	27.12.17	42	Просушка двигателя, замена масла
15	*4SR 2-10*	19.12.14	01.01.18	36	Заклинивание двигателя, камни в рабочих органах
16	*Водолей 0,5-50*	25.06.16	09.01.18	18	Замена рабочих комплектов работа по песку
17	*Водолей 1,2-25*	28.05.13	11.01.18	44	Замена конденсатора
18	*4SR 2-10*	05.04.12	26.01.18	36	Замена привода питания
19	*Водолей 1,2-25*	08.09.15	30.01.18	28	Прогнил кожух статора, нет заземления
20	*Водолей 0,5-25*	13.06.13	03.02.17	44	Замена рабочих колес

Таблица 15. Время на работки на отказ для различных марок погружных насосов для отвода дренажных и сточных вод
Table 15. Failure time for various brands of submersible pumps for drainage and waste water discharge

Марка насоса	*ЭЦВ 6-25-40*	*Водолей 0,5-25*	*4SR 4-18*
Время наработки на отказ t_{cp}, месяцев	36	37,3	35,5
Время наработки на отказ t_{cp}, часов	12960	14652	12780

Распределение реализованных марок насосов, вернувшихся на гарантийное обслуживание, выраженное в процентах, среди погружных насосов, предназначенных для забора артезианских вод, представлено на рис. 20. В таблице 16 приведены результаты определения интенсивности отказов, выявленных среди консольных насосов, реализуемых на специализированном предприятии.

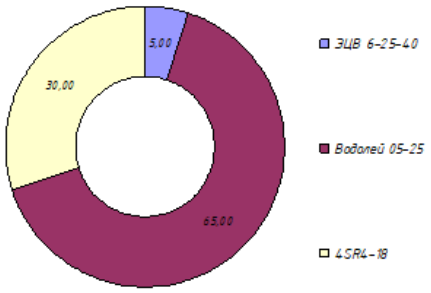

Рис. 20. Процентное распределение в структуре реализации погружных насосов, предназначенных для забора артезианских вод по маркам
Fig. 20. Percentage distribution in the structure of sales of submersible pumps intended for artesian water intake by brand

Таблица 16. Показатели интенсивности отказов, λ на основе обработки статистических данных погружных насосов
Table 16. Failure rate indicators, calculated based on the processing of statistics of submersible pumps

Марка насоса	Интенсивность отказов, 10^4 1/ч		
	λ_{min}	λ_{cp}	λ_{max}
ЭЦВ 6-25-40	*0,16*	*0,20*	*0,26*
Водолей 0,5-25	*0,15*	*0,19*	*0,25*
4SR 4-18	*0,16*	*0,20*	*0,27*

На основании выше изложенного можно заключить, что надежность работы НО, находящегося в пользовании у населения, зачастую плохо соблюдающего требования размещения, эксплуатации, содержания, существенно влияет на параметры интенсивности отказов. Ранее данные по надежности для групп насосов систем водоснабжения, определялись по результатам эксплуатации специализированных организаций, а определенные параметры по надежности соответствовали в основном насосам отечественного производства 70-80-х годов, что обусловило актуальность выполненных исследований. Полученные данные по параметрам надежности современного НО позволяют определять показатели надежность реализуемых гидравлических систем на стадии проектирования и эксплуатации.

ВЫВОДЫ

На основе выполненного аналитического обзора рассмотрены существующие принципы оценки показателей надежности НО, а также были установлены основные причины его отказов, которые влияют на параметры надежности. Выявлены недостатки в существующих концепциях оценки факторов отказов.

С применением методов математической статистики установлены количественные оценки показателей безотказности для четырех групп НО, поставляемого на территории Республики Крым специализированным предприятием, деятельностью которого является реализация и гарантийное обслуживание насосных агрегатов СВВ.

Рассмотрены и проанализированы основные причины, формирующие базу отказов НО, с выявлением превалирующих причин их возникновения: эксплуатационные, конструкционные или же ошибка проектировщика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов, Н.Н. Надежность систем водоснабжения / Н.Н. Абрамов. – М.: Стройиздат, 1984. – 216 с.
2. Ильин, Ю.А. Надежность водопроводных сооружений и оборудования /. Ю.А. Ильин. – М.: Стройиздат, 1985. – 240 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 надійности систем виробничого водопостачання / В.Г. Новохатній, С.О. Костенко // Науковий вісник будівництва. Зб. наук. праць. – Харків. – 2012. – Вип. 70 – С. 252-255.
6. Скворцов, Л.С. Компрессорные и насосные установки / Л.С. Скворцов, В.А. Рачицкий, В.Б. Ровенский. – М.: Машиностроение, 1988. – 264 с.
7. Березин, С.Е. Насосные станции с погружными насосами. Расчет и конструирование / С.Е. Березин. – М.: ОАО «Издательство «Стройиздат», 2008. – 160 с.
8. Залуцкий, Э.В. Насосные станции. Курсовое проектирование / Э.В. Залуцкий, А.И. Петрухно. – К.: Вища школа, 1987. – 167 с.
9. Турк, В.И. Насосы и насосные станции / В.И. Турк – М.: Госстройиздат, 1957. – 182 с.
10. Турк, В.И. Насосы и насосные станции / В.И. Турк, А.В. Минаев, В.Я. Карелин – М.: Стройиздат, 1977. – 296 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. Abramov, N. N. Reliability of water supply systems / N.N. Abramov. – M.: Stroyizdat, 1984. – 216 p.
2. Ilyin, Yu. A. Reliability of water supply structures and equipment / Yu.A. Ilyin. – M.: Stroyizdat, 1985. – 240 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. – Vip. 70. – P. 307-312.
5. Novokhatny, V. G. Principi otsinyuvannya nadiynosti sistem virobnichogo vodopostachannya / V.G. Novokhatny, S.O. Kostenko // Naukoviy visnik budivnitva. Zb. nauk. prats. – Harkiv. – 2012. – Vip. 70. – P. 252-255.
6. Skvortsov, L.S. Compressor and pump installations / L.S. Skvortsov, V.A. Rachitsky, V.B. Rovensky. – M.: Mashinostroenie, 1988. – 264 p.
7. Berezin, S.E. Pumping stations with submersible pumps. Calculation and construction / S.E. Berezin. – M.: JSC "Publishing House "Stroyizdat", 2008. – 160 p.
8. Zalutsky, E. V. Pumping stations. Course design [Text]: / E. V. Zalutsky, A. I. Petrukhno. - K.: Vishcha shkola, 1987. – 167 p.
9. Turk, V.I. Pumps and pumping stations / V. I. Turk-M.: Gosstroizdat, 1957. – 182 p.
10. Turk, V.I. Pumps and pumping stations / V.I. Turk, A.V. Minaev, V.Ya. Karelin-M.: Stroyizdat, 1977. – 296 p.
11. Preysman, V. I. Fundamentals of reliability of agricultural machinery / V.I. Preysman – K.: Vishcha shkola, 1988. – 247 p.
12. SP 31.13330.2012. A set of rules. Water supply. Outdoor networks and structures [Text]. Updated version of SNiP 2.04.02-84*. – Introduction. 2013-01-01. – Moscow: Minregion of Russia, 2012. – 124 p.

DETERMINATION THE PERIOD OF GUARANTEED TROUBLE-FREE OPERATION OF THE HYDRAULIC SCHEMES BASED ON THE OPERATIONAL RELIABILITY INDICATORS OF PUMPING UNITS

PART 1. Analysis of operational failures of pumping units and determination of their reliability indicators

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

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

Abstract. The article presents the values of the failure rate for modern types of pumps of four groups: submersible, designed for drainage and wastewater drainage; domestic; cantilever; submersible - for artesian water intake based on statistical data processing on their operation. The obtained values of the failure rate allow us to evaluate the reliability indicators of hydraulic circuits that use various types of pumping equipment. The article analyzes the failures of pumping equipment with their detailed description and presentation of practical photos accumulated at a specialized enterprise, whose activities are aimed at designing pumping stations, supply, installation and maintenance of pumping equipment on the territory of the Republic of Crimea.
The subject of the study. Patterns of occurrence, nature and types of failures of pumping units of water supply and sanitation systems under operating conditions with the development of analytical and statistical models for assessing their reliability.
Materials and methods of research. Information on failures and operating time for failure of pumping units of water supply and sanitation systems in operating conditions to determine the reliability characteristics based on the processing of databases using mathematical statistics, for subsequent analysis and development of recommendations for the design and operation of hydraulic systems.
Results. Improving the efficiency of pumping units of water supply and sanitation systems by identifying real indicators of the reliability of pumping equipment,
Conclusions. Based on the results of the performed analysis, the main causes that form the basis of pump equipment failures are identified, with the identification of the prevailing causes of their occurrence: operational, structural, or designer error. The reliability parameters were evaluated for four groups of pumping equipment sold on the territory of the Republic of Crimea.
Key words: Failure, pumping equipment, operating time to failure, reliability, failure rate, hydraulic circuit, reliability indicators, failure rate, quantitative assessment, guaranteed operation limits, confidence interval, cavitation.