

Известия вузов. Строительство. 2023. № 3. С. 73–84.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2023; (3): 73–84.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 628.12.002.5

DOI: 10.32683/0536-1052-2023-771-3-73-84

ОБОСНОВАНИЕ СХЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ГРАНИЦ ЕЕ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГОРОДСКОГО МИКРОРАЙОНА

**Илья Викторович Николенко¹, Елена Евгеньевна Котовская¹,
Алексей Евгеньевич Котовский²**

¹Институт «Академия строительства и архитектуры» им. В.И. Вернадского,
Симферополь, Россия

²ООО инженерный центр «КРЫМТЕХКОМ», Симферополь, Россия

Аннотация. Представлена структурная модель обоснования схемы водоснабжения микрорайона до этапа разработки проектной и рабочей документации с выбором комплектации насосного оборудования, основанная на теории надежности, с определением границ гарантированной работы в безремонтном периоде. Приведен конкретный пример рассматриваемой задачи.

Ключевые слова: интенсивность отказов, период наработки на отказ, водопроводная сеть, гидравлический расчет, подкачивающая насосная станция, интенсивность отказов, межремонтный период, характеристики насосного оборудования

Для цитирования: Николенко И.В., Котовская Е.Е., Котовский А.Е. Обоснование схемы водоснабжения на основе анализа границ ее безотказной работы при проектировании городского микрорайона // Известия вузов. Строительство. 2023. № 3. С. 73–84. DOI: 10.32683/0536-1052-2023-771-3-73-84.

Original article

JUSTIFICATION OF THE WATER SUPPLY SCHEME BASED ON THE ANALYSIS OF THE BOUNDARIES OF ITS TROUBLE-FREE OPERATION IN THE DESIGN OF THE URBAN MICRODISTRICT

Ilya V. Nikolenko¹, Elena E. Kotovskaya¹, Alexey E. Kotovskiy²

¹Institute “Academy of Construction and Architecture”, CFU named after V.I. Vernadsky,
Simferopol, Russia

²Engineering Center LLC “KRYMTECHKOM”, Simferopol, Russia

Abstract. The paper presents a structural model of substantiation of the microdistrict water supply scheme before the stage of development of design and working documentation with the choice of pumping equipment configuration based on the theory of reliability, with the definition of the boundaries of guaranteed work in the maintenance-free period. A concrete example of the problem under consideration is given.

Keywords: failure rate, operating time for failure, water supply network, hydraulic calculation, pumping station, failure rate, overhaul period, characteristics of pumping equipment

For citation: Nikolenko I.V., Kotovskaya E.E., Kotovskiy A.E. Justification of the water supply scheme based on the analysis of the boundaries of its trouble-free operation in the design of the urban microdistrict. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2023; (3): 73–84. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2023-771-3-73-84.

Введение. В 2021 г. был введен в действие нормативно-справочный документ СП 31.13330.2021. «Свод правил. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения», в который (приложение А) включены рекомендации по расчету интенсивности отказов и ранжирование дестабилизирующих факторов, позволяющие анализировать сбои в системах водоснабжения (СВ) для определения объемов работ по их обслуживанию, ремонту и реконструкции эксплуатирующими предприятиями. Отсутствие координации и согласования проектных процедур установления технологических параметров СВ является сдерживающим фактором при уточнении начального диапазона безремонтного периода этих систем на этапе выбора схемы расположения отдельных элементов и оснащения гидравлическим оборудованием [1].

Изучению закономерностей возникновения, характера и видов неравномерности водопотребления, которые существенно влияют на параметры надежности СВ, посвящены труды многих ученых: В.Н. Исаев, И.В. Кожинов, М.Г. Мхитарян, В.Е. Окрушко, Л.А. Шопенский, В.Г. Гейнц, С.С. Душкин, А.И. Бурачас, М.П. Майзельс, Г.Х. Масри, М.А. Мордясов, А.П. Свинцов, А.К. Стрелков, В.В. Шмиголь, М.Д. Черносивитов, Н.Ю. Гутарова, А.Я. Найманов, И.В. Николенко, а проблемы эффективной эксплуатации и возникновения отказов в СВ рассмотрены в работах А.А. Ткачука, В.А. Орлова, Н.Н. Абрамова, Ю.А. Ильина и др.

Цель данной работы – получение структурного алгоритма расчета системы водоснабжения микрорайона с учетом оптимального состава комплектующего оборудования на этапе обоснования схемы водоснабжения, а также влияния числа работающих структурных элементов при различных режимах эксплуатации.

При подготовке схемы водоснабжения любого населенного пункта расчет сетей, водоводов и насосной станции необходимо выполнять в единой структурной схеме с учетом иерархии целей. Расчет того или иного элемента в разрыве друг с другом или в случае распределения проектных работ между различными подрядчиками приводит к некорректным оценкам, неудачным проектным решениям и в результате к эксплуатации сооружений и оборудования СВ за пределами оптимальных режимов, т.е. к низким технико-экономическим показателям, в том числе к быстрому выходу из строя. Не учитывая реальные режимы нагружения насосных агрегатов, а также условия их резервирования, можно прийти к необоснованным техническим решениям, которые впоследствии и ведут к низким технико-экономическим показателям всей системы подачи и распределения воды (СПРВ).

Степень резервирования насосных агрегатов установлена требованиями СП 31.13330.2021 в зависимости от введенного уровня обеспеченности подачи воды. Нормами подбирается количество резервных насосных агрегатов, при этом не учитываются действующие агрегаты, обеспечивающие функционирование насосной станции на том или ином режиме эксплуатации. Вероятность безотказной службы рассматриваемой системы зависит не только от

наличия резервных, но и от числа одновременно работающих агрегатов, величина которых обусловлена режимами эксплуатации насосной станции. Проблема учета этих факторов при оценке параметров надежности становится актуальной в связи с современными тенденциями применения многоагрегатных насосных установок, предназначенных для максимального охвата возможных режимов работы СПРВ, что значительно влияет на стоимость оборудования, на эксплуатационные затраты, а также на содержание их жизненного цикла. При действии многоагрегатных насосных установок изменение степени резервирования связано с режимами ее работы, что сказывается на показателях надежности всей СПРВ. Теоретически вопросы исследования влияния на параметры надежности СПРВ числа работающих агрегатов, уровня их резервирования, включая и режимы работы, до настоящего времени оставались малоизученными.

В СП 31.13330.2021 представлены основные нормативные требования к СПРВ и ее элементам. Несмотря на то, что данные требования обязательные, отсутствие координации и согласования проектных процедур, иерархии целей является сдерживающим фактором при обосновании схемы водоснабжения микрорайона до этапа разработки проектной и рабочей документации. Методология системного проектирования устанавливает направление, последовательность работ и предопределяет квантификацию исходной цели на множество подцелей до уровней, обеспечивающих их количественную измеримость [2–4].

Для наглядной интерпретации системного подхода при структурировании этапов работы проектировщиков создана модель обоснования схемы водоснабжения микрорайона с учетом границ гарантированного производства (рис. 1). Расчет сетей СПРВ следует выполнять в связке с проектом водоводов, насосной станции, а также резервуаров чистой воды (РЧВ) при необходимости, на этапе определения технологических параметров проектирования с выбором схем расположения элементов, а также различными вариантами комплектации оборудования. Затем следует переходить ко 2-му этапу, направленному на определение параметров надежности при комплексной оценке рассматриваемых вариантов схем СПРВ. Установление срока гарантированной работы в безремонтном периоде описано в литературных источниках многих авторов [5–7], но при этом не учтены режимы фактической эксплуатации и количество элементов системы, находящихся при этих режимах в работе или в «горячем резерве».

В [4, 5] показано, что насосное оборудование СПРВ на разных эксплуатационных режимах находится в различных временных диапазонах, при этом часть системы в режиме эксплуатации либо в режиме «горячего резерва». В нашем случае учтены данные факторы, что отражено в конечных цифрах периода гарантированной работы в межремонтном интервале. На рис. 1 показаны причинно-следственные связи последовательного выполнения операций, связи III рода направляют после этапа определения параметров надежности различных рассматриваемых схем на 1-й этап, в котором корректируется расчет по принятой схеме, и указывают на 3-й этап – разработки проектной и рабочей документации СПРВ, схему которой принимают с учетом 1-го и 2-го этапа.

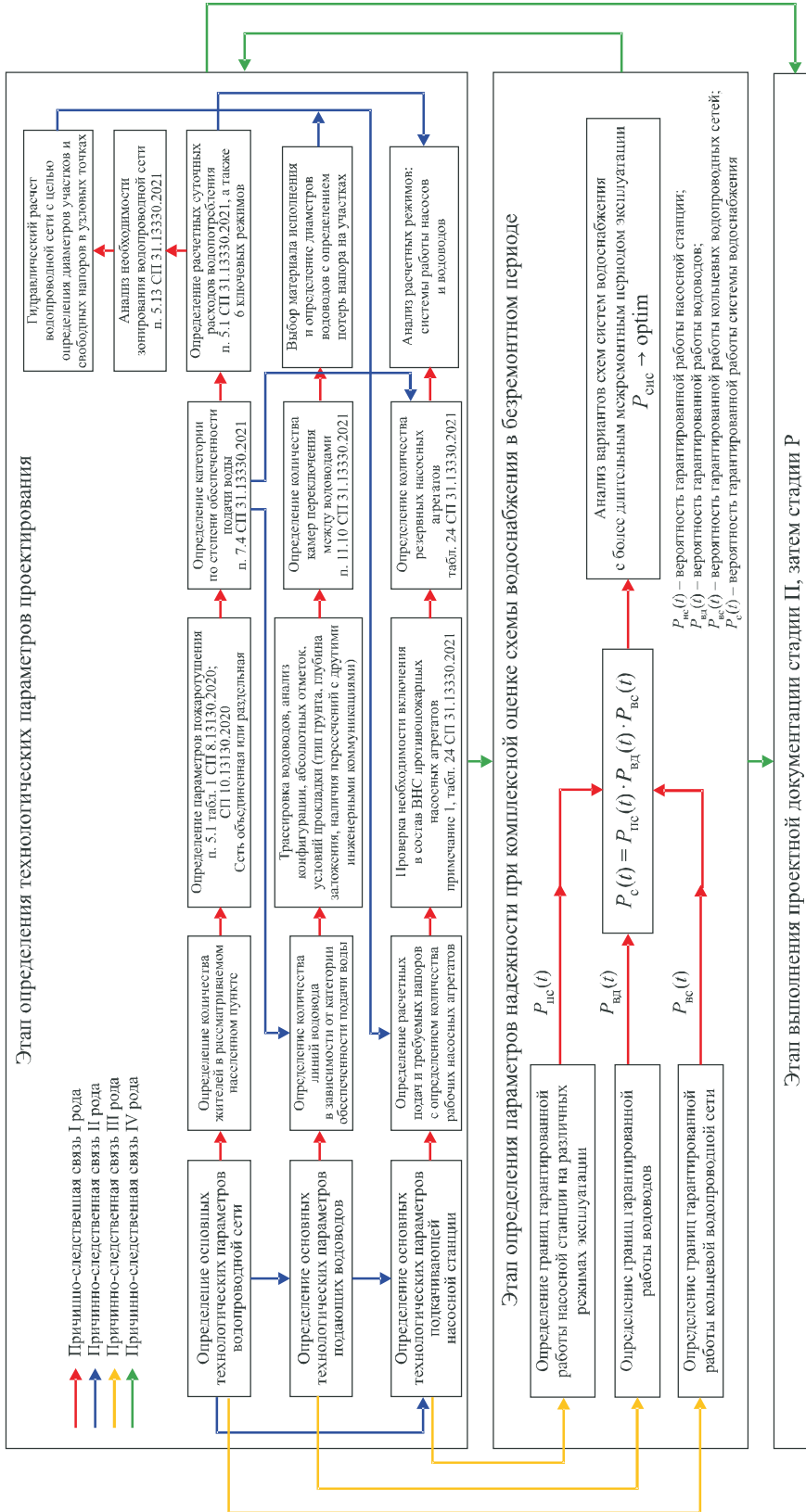


Рис. 1. Структурная модель обоснования схемы водоснабжения микрорайона с учетом параметров надежности
 Fig. 1. Structural model of substantiation of the microdistrict water supply scheme taking into account reliability parameters

Стандартный метод повышения надежности технических систем – их резервирование, в том числе резервирование наименее надежных элементов. Для насосного агрегата как системы последовательно соединенных элементов оценка надежности на этапе нормальной эксплуатации осуществляется по следующим расчетным выражениям для основной «нерезервированной» системы (рис. 2, а) с определением вероятности безотказной работы:

– для времени эксплуатации менее 100 ч

$$P(t) = e^{-\lambda_c t}, \quad (1)$$

– для времени эксплуатации более 100 ч

$$P(t) = 1 - \lambda_c t, \quad (2)$$

где $\lambda_c = \sum \lambda_i$ – суммарная интенсивность отказов элементов системы;

λ_i – интенсивность отказов элементов системы;

t – время работы системы.

Диапазон времени безотказной работы системы при заданном граничном значении вероятности отказов вычисляется по зависимостям:

– для времени эксплуатации менее 100 ч

$$-\frac{\ln(P(t))}{\lambda_{c\max}} \leq t \leq -\frac{\ln(P(t))}{\lambda_{c\min}}, \quad (3)$$

– для времени эксплуатации более 100 ч

$$\frac{1-P(t)}{\lambda_{c\max}} \leq t \leq \frac{1-P(t)}{\lambda_{c\min}}, \quad (4)$$

где $\lambda_{c\min}$ и $\lambda_{c\max}$ – минимальное и максимальное значение суммарной интенсивности отказов элементов системы.

При схеме «горячего общего резервирования» следует воспользоваться выражением

$$P(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda_c t})^{m+1}, \quad (5)$$

где m – кратность резервирования (рис. 2, б).

Находим диапазон времени безотказной работы системы при заданном значении вероятности отказов $P^*(t)$

$$-\frac{\ln(1 - \sqrt[m+1]{1 - P^*(t)})}{\lambda_{c\max}} \leq t \leq -\frac{\ln(1 - \sqrt[m+1]{1 - P^*(t)})}{\lambda_{c\min}}. \quad (6)$$

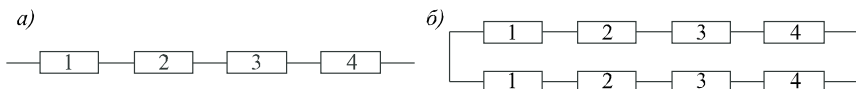


Рис. 2. Схемы гидравлической системы

а – основная нерезервированная система; б – общее горячее резервирование системы; 1 – задвижка на всасывающем трубопроводе; 2 – насос; 3 – обратный клапан; 4 – задвижка на напорном трубопроводе

Fig. 2. Hydraulic system diagrams

a – the main unserved system; b – the general hot redundancy of the system; 1 – valve on the suction pipeline; 2 – pump; 3 – return valve; 4 – valve on the pressure pipeline

Для определения границ гарантированной работы используют следующий алгоритм:

– построение графика зависимости вероятности безотказной работы $P(t)$ от времени при минимальном значении суммарной интенсивности отказов λ_{\min} системы;

– аналогично построение графика вероятности безотказной работы $P(t)$ от времени при максимальном значении суммарной интенсивности отказов λ_{\max} системы;

– на основе установленного граничного значения вероятности отказов для системы $P(t) = 0,7$ выяснение срока ее гарантированной работы [6, 7].

Для всей системы водоснабжения микрорайона вероятность безотказной работы (безремонтного периода) как для системы с последовательным соединением элементов вычисляется по выражению

$$P_c(t) = P_{\text{нс}}(t) \cdot P_{\text{вд}}(t) \cdot P_{\text{вс}}(t), \quad (7)$$

где $P_c(t)$ – вероятность гарантированной работы всей рассматриваемой СПРВ;

$P_{\text{нс}}(t)$ – вероятность гарантированной работы насосной станции;

$P_{\text{вд}}(t)$ – вероятность гарантированной работы водоводов;

$P_{\text{вс}}(t)$ – вероятность гарантированной работы кольцевых водопроводных сетей.

В качестве примера рассмотрим схему водоснабжения одного из строящихся микрорайонов г. Симферополя Солнечный парк. На территории микрорайона планируется строительство 18 многоквартирных жилых домов с проектной численностью населения 6579 человек, а также возведение двух детских садиков, одной общеобразовательной школы и нескольких многофункциональных центров. Площадка, отведенная под застройку, имеет перепад отметок местности от 240 до 225 м, что соответствует однозонной схеме водоснабжения, в которой принят объединенный хозяйственно-питьевой, противопожарный водопровод. Многоквартирные жилые дома представлены 9-этажными строениями и оборудованы водопроводом, канализацией и местными водонагревателями. Подключение кольцевых водопроводных сетей, состоящих из 12 колец и обладающих суммарной протяженностью 6,3 км, осуществляется от двух тупиковых участков водоводов $d_y 500$ и $d_y 150$.

Микрорайон Солнечный парк планируется застраивать поэтапно с ростом суммарного числа проживающих от 1772 до 6579 человек.

В табл. 1 представлены расчетные значения часовых подач, определенных для шести характерных режимов, соответствующих требованиям п. 7.9 СП 31.13330.2021, для пяти этапов строительства.

Было рассмотрено два варианта оборудования подкачивающей насосной станции. По варианту 1 предусматривалось применение насосов ВЛ 100/175-37/2 $Q_{\text{общ}} = 537 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($Q_{\text{нас}} = 269 \text{ м}^3/\text{ч}$): 2 рабочих и 2 резервных, для режимов до $70 \text{ м}^3/\text{ч}$ приняли насосную станцию Wilo-SiBoost Smart 3 Helix VE 1603/4.

Таблица 1. Сводные данные по основным режимам водопотребления на этапах строительства

Table 1. Summary data on the main modes of water consumption by stages of construction

Этапы строительства	I	II	III	IV	V
Число жителей, человек	1772	2676	3832	5423	6579
Расход воды, м ³ /ч					
В час максимального водопотребления в сутки максимального водопотребления	46,66	87,75	119,79	162,87	193,69
В час среднего водопотребления в сутки максимального водопотребления	27,49	53,55	73,66	100,52	119,62
В час минимального водопотребления в сутки максимального водопотребления	3,85	8,29	11,94	17,82	21,17
В час максимального водопотребления в сутки максимального водопотребления на период пожаротушения	372,10	413,19	445,23	488,31	519,13
В сутки среднего потребления – среднего часового расхода	23,92	47,04	64,83	88,48	105,25
В сутки минимального водопотребления – минимального часового расхода	0	2,25	4,86	8,69	11,69

Согласно варианту 2 была предложена комплектная насосная станция для обеспечения требуемого напора $H_p = 46,5$ м и расхода $Q_p = 193,9$ м³/ч для часа максимального водопотребления в сутки максимального водопотребления, а также $H_p = 46,5$ м и расхода $Q_p = 519,13$ м³/ч – для часа максимального водопотребления плюс расход воды на пожаротушение в сутки максимального водопотребления, приняты две комплектные насосные станции марки Wilo Cor 6 HelixV 5202/SKw-EB-R, состоящие из шести агрегатов каждая, всего 12 насосов, комбинация работы которых обеспечит все возможные режимы, а также резервирование. При этом принятие данного решения позволит эксплуатировать насосную установку на энергоэффективных режимах при последовательном вводе всех очередей строительства микрорайона. Для режима минимального водоразбора в ночные часы приняты насосы COR-2 MHI 804 N/SKw-EB-R. Стоимость оборудования (в ценах 2019 г.) по варианту 1 составила 3,837 млн руб., по варианту 2 свыше 5,408 млн руб.

Диапазоны подач, указанные в табл. 2, позволяют рассчитать вероятность гарантированной работы системы на различных режимах и очередях поэтапного введения в эксплуатацию.

На основе литературных данных [8, 9] гидравлические схемы были описаны показателями интенсивности отказов и затем установлены границы вероятности безотказной работы как для отдельных составляющих реализованной схемы, так и для всей системы в целом.

В табл. 3 представлены значения кратности резервирования m для характерных режимов (максимального водопотребления, максимального водо-

Таблица 2. Сводные данные по работе насосного оборудования при различных диапазонах эксплуатации

Table 2. Summary data on the operation of pumping equipment at various operating ranges

Диапазоны значений, м ³ /ч	Наименование марки	Количество рабочих и резервных насосных агрегатов
Вариант 1		
1–80	Wilо-SiBoostSmart3Helix VE1603/4	2 рабочих и 2 резервных
80–200	Wilо BL 100/175-37/2	1 работает и 3 в резерве
372–519	Wilо BL 100/175-37/2	2 рабочих и 2 в резерве
Вариант 2		
1–20	Wilо Cor-2 MHI 804 N/SKw-EB-R	1 работает и 1 в резерве
20–80	Wilо Cor 6 Helix V 5202/SKw-EB-R	1 работает и 11 в резерве
60–120	Wilо Cor 6 Helix V 5202/SKw-EB-R	2 работает и 10 в резерве
120–200	Wilо Cor 6 Helix V 5202/SKw-EB-R	4 работает и 8 в резерве
372–519 (режим пожаротушения)	Wilо Cor 6 Helix V 5202/SKw-EB-R	10 рабочих и 2 в резерве 2 комплектные установки, каждая состоит из 6 насосных агрегатов

Таблица 3. Значения кратности резервирования m для характерного режима по очередям строительства по вариантам 1 и 2

Table 3. The values of the redundancy multiplicity m for the characteristic mode for the construction queues according to option 1 and 2

Очередь строительства	1	2	3	4	5
Расход в час максимального водопотребления, $Q_{сут\max}$, м ³ /ч	46,66	87,75	119,79	162,87	193,69
Расход в час максимального водопотребления на период пожаротушения, м ³ /ч	372,10	413,19	445,23	488,31	519,13
Вариант 1	1	1	3	3	3
	2	2	2	2	2
Вариант 2	1	10	10	8	8
	6	5	5	3	2

потребления и пожаротушения) по вариантам комплектации подкачивающей насосной станции.

На рис. 3 представлены границы гарантированной работы системы водоснабжения при $P(t) = 0,7$ по первому варианту. Количество часов безаварийной работы фиксировалось для чисел отказов N , равных λ_{\min} и λ_{\max} .

Анализ графика показал диапазон гарантированной работы всей системы водоснабжения мкр. Солнечный парк по очередям строительства: 1-е – 250–2040 ч; 2 – 150–1115 ч; 3 – 125–930 ч; 4 – 80–580 ч; 5-е – 75–500 ч.

Аналогичный комплекс расчетов был выполнен для второго варианта комплектации (рис. 4). Сопоставление полученных диапазонов позволяет провести сравнение межремонтных периодов.

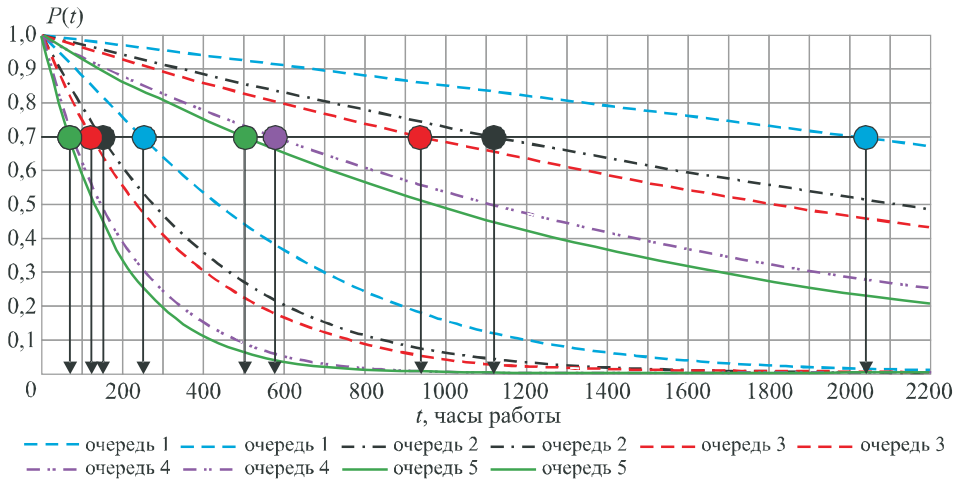


Рис. 3

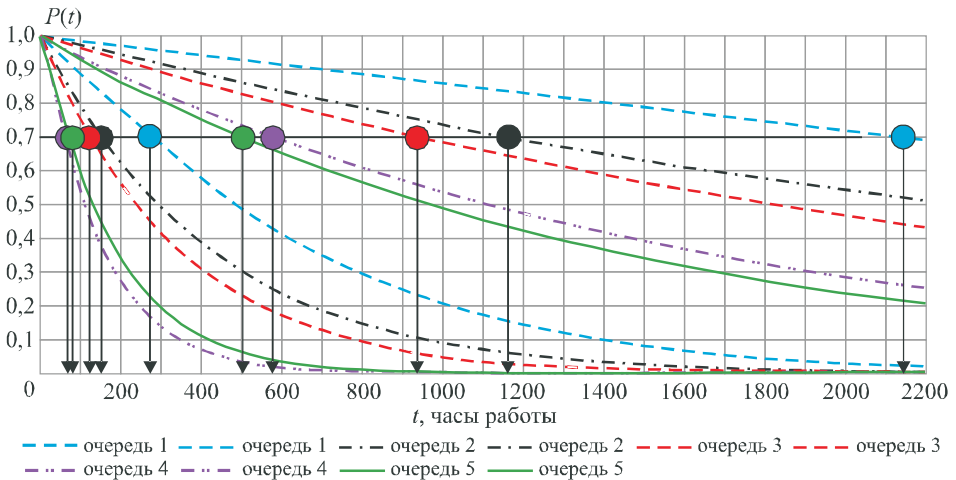


Рис. 4

Расчет водоводов и кольцевых сетей по второму варианту не проводился, так как изменения коснулись только комплектации насосной станции. Для комплексных расчетов по всем трем элементам относительно второго варианта применили результаты, полученные ранее, и результаты обобщения значения для определения периода гарантированной работы всего комплекса.

Анализ графика показал диапазон гарантированной работы всей системы водоснабжения мкр. Солнечный парк по очередям строительства: 1-е – 280–2150 ч; 2 – 150–1170 ч; 3 – 120–930 ч; 4 – 75–580 ч; 5-е – 80–500 ч.

На рис. 5 представлены диапазоны гарантированной безотказной работы подкачивающей насосной станции с $P(t) = 0,7$ по двум вариантам комплектации по очередям строительства микрорайона. Согласно рис. 5 по второму варианту комплектации насосной станции на 1-й, 2-й стадии строительства соответствует больший диапазон гарантированной безотказной работы, а при введении в действие 3, 4, 5-й очереди строительства большие диапазоны

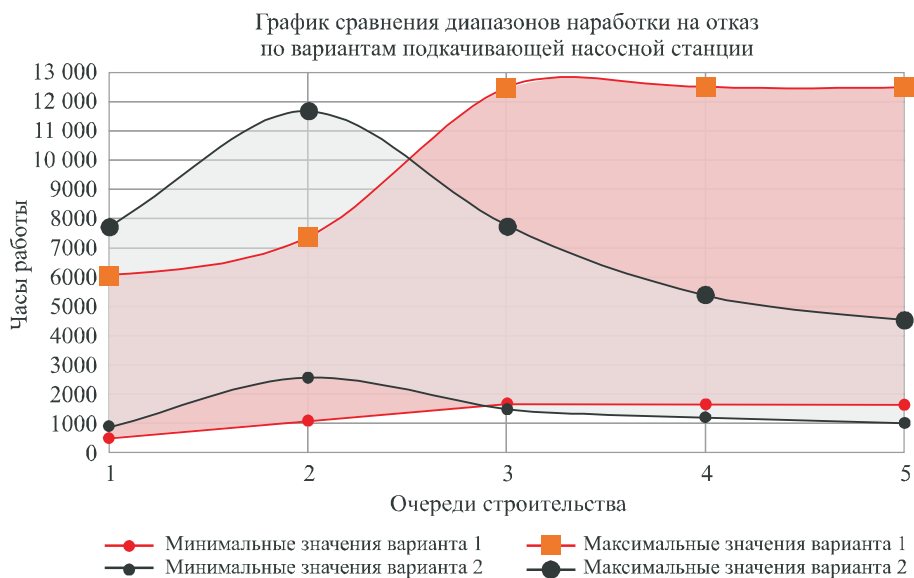


Рис. 5

гарантированной безотказной работы соответствуют первому варианту комплектации. Полученные результаты объясняются учетом влияния реальных режимов нагружения насосных агрегатов подкачивающей насосной станции проектируемого микрорайона, а также условий их резервирования.

Выводы. 1. Разработана структурная модель обоснования схемы водоснабжения микрорайона для выбора оптимального состава комплектующего оборудования СПРВ, с учетом влияния числа работающих структурных элементов на различных режимах эксплуатации.

2. Представлены зависимости, которые позволяют при оценке показателей надежности СПРВ при различных режимах ее работы учитывать количество одновременно работающих агрегатов насосной станции, а также степень их резервирования. В результате проведенных исследований установлено существенное влияние числа работающих насосных агрегатов и степени резервирования на показатели надежности системы водоснабжения.

3. Предложенная модель позволяет производить сравнения технико-экономических показателей вариантов.

Список источников

1. *Абрамов Н.Н.* Водоснабжение. М.: Стройиздат, 1982. 480 с.
2. *Александровская Л.Н., Афанасьев А.П., Лисов А.А.* Современные методы обеспечения безотказности сложных технических систем. М.: Логос, 2003. 208 с.
3. *Вентцель Е.С., Овчаров Л.А.* Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. М.: Высш. шк., 2000. 383 с.
4. *Половко А.М., Гуров С.В.* Основы теории надежности. СПб.: БХВ-Петербург, 2008. 704 с.
5. *Юданычева К.Д., Черношвитов М.Д., Горикалев П.А.* Сравнение надежности работы водопроводной сети с водонапорной башней и без нее // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии: Сб. ст. / под ред. М.В. Шувалова, А.А. Пищулева, А.К. Стрелкова. Самара: СГТУ, 2018. С. 160–166.

6. Ильин Ю.А. Надежность водопроводных сооружений и оборудования. М.: Стройиздат, 1985. 240 с.
7. Ильин Ю.А. Расчет надежности подачи воды. М.: Стройиздат, 1987. 320 с.
8. Николенко И.В., Котовская Е.Е., Росовская О.В. Анализ режимов работы насосных агрегатов при возникновении аварийных ситуаций в системах подачи и распределения воды // Яковлевские чтения-2022: Системы водоснабжения и водоотведения. Современные проблемы и решения: Сб. докл. XVII Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. памяти акад. РАН С.В. Яковлева. М.: НИ МГСУ, 2022. С. 133–143.
9. Николенко И.В., Котовская Е.Е., Котовский А.Е. Определение фактических параметров эксплуатации силовых агрегатов подкачивающих насосных станций // Изв. вузов. Строительство. 2022. № 6(762). С. 56–69.

References

1. Abramov N.N. Water supply. Moscow: Stroyizdat, 1982. 480 p. (In Russ.).
2. Alexandrovskaya L.N., Afanasyev A.P., Lisov A.A. Modern methods of ensuring the safety of complex technical systems. Moscow: Logos, 2003. 208 p. (In Russ.).
3. Wentzel E.S., Ovcharov L.A. Theory of random processes and its engineering applications. Moscow: Higher School, 2000. 383 p. (In Russ.).
4. Polovko A.M., Gurov S.V. Fundamentals of reliability theory. Saint Petersburg: BHV-Petersburg, 2008. 704 p. (In Russ.).
5. Yudanycheva K.D., Chernosvitov M.D., Gorshkalev P.A. Comparison of the reliability of the water supply network with and without a water tower. Traditions and innovations in construction and architecture. Construction technologies: Collection of articles. Edited by M.V. Shuvalov, A.A. Pishchulev, A.K. Strelkov. Samara: Samara State Technical University, 2018. P. 160–166. (In Russ.).
6. Ilyin Yu.A. Reliability of water supply facilities and equipment. Moscow: Stroyizdat, 1985. 240 p. (In Russ.).
7. Ilyin Yu.A. Calculation of the reliability of water supply. Moscow: Stroyizdat, 1987. 320 p. (In Russ.).
8. Nikolenko I.V., Kotovskaya E.E., Rosovskaya O.V. Analysis of operating modes of pumping units in case of emergency situations in water supply and distribution systems. Yakovlev readings-2022: Water supply and sanitation systems. Modern problems and solutions: Collection of reports XVII International Scientific and Technical. conf., dedicated to the memory of Academician of the Russian Academy of Sciences S.V. Yakovlev. Moscow: NI MGSU, 2022. P. 133–143. (In Russ.).
9. Nikolenko I.V., Kotovskaya E.E., Kotovskiy A.E. Determination of actual parameters of operation of power units of pumping pumping stations. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo = News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2022; (6): 56–69. (In Russ.).

Информация об авторах

И.В. Николенко – доктор технических наук, профессор, nikoshi@mail.ru
Е.Е. Котовская – старший преподаватель, elevkot@gmail.com
А.Е. Котовский – инженер, kotovskiialex@yandex.ru

Information about the authors

I.V. Nikolenko – DSc, Professor, nicoshi@mail.ru
E.E. Kotovskaya – Senior Lecturer, ekevkot@gmail.com
A.E. Kotovskiy – Engineer, kotovskiialex@yandex.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 24.01.2023
Одобрена после рецензирования 21.02.2023
Принята к публикации 28.02.2023

The article was submitted 24.01.2023
Approved after reviewing 21.02.2023
Accepted for publication 28.02.2023