

---

**ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ  
ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ,  
ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ.  
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ  
СТРОИТЕЛЬСТВА**

**LIFE MAINTENANCE ENGINEERING SYSTEMS  
OF THE INHABITED LOCALITIES,  
BUILDINGS AND STRUCTURES.  
ECOLOGICAL SAFETY OF CONSTRUCTION**

Известия вузов. Строительство. 2022. № 6. С. 56–69.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2022; (6): 56–69.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 628.002.5

DOI: 10.32683/0536-1052-2022-762-6-56-69

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ СИЛОВЫХ АГРЕГАТОВ  
ПОДКАЧИВАЮЩИХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ**

**Илья Викторович Николенко<sup>1</sup>, Елена Евгеньевна Котовская<sup>1</sup>,  
Алексей Евгеньевич Котовский<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт «Академия строительства и архитектуры», КФУ им. В.И. Вернадского,  
Симферополь, Россия

<sup>2</sup>ООО инженерный центр «КРЫМТЕКОМ», Симферополь, Россия

**Аннотация.** Предложена методика анализа работы насосных агрегатов подкачивающих насосных станций, апробированная в одном из городов на юге РФ. Анализ данных натурного наблюдения водопотребления в микрорайоне позволил определить сезонные составляющие, оказывающие влияние на работу гидравлического контура. Стандартными статистическими методами обработан накопленный статистический материал по подачам насосов, значение которых фиксировали каждый час в течение года эксплуатации (до введения режимного графика подачи воды). При помощи полученной дифференциальной кривой плотности распределения, совмещенной с КПД – характеристикой насоса, была выполнена количественная оценка работы насосного оборудования эксплуатации в различных диапазонах. Такая оценка позволит определить межремонтный период эксплуатации, рассчитать экономические параметры работы насосного оборудования и принять меры по повышению их энергетических показателей.

**Ключевые слова:** система подачи и распределения воды, подкачивающая насосная станция, рабочий диапазон, энергетические параметры насосного оборудования, кавитация, надежность, интегральный и дифференциальный график водопотребления, регулируемый электропривод

---

© Николенко И.В., Котовская Е.Е., Котовский А.Е., 2022

Для цитирования: Николенко И.В., Котовская Е.Е., Котовский А.Е. Определение фактических параметров эксплуатации силовых агрегатов подкачивающих насосных станций // Известия вузов. Строительство. 2022. № 6. С. 56–69. DOI: 10.32683/0536-1052-2022-762-6-56-69.

Original article

## DETERMINATION OF THE ACTUAL OPERATING PARAMETERS OF THE POWER UNITS OF PUMPING STATIONS

Iliia V. Nikolenko<sup>1</sup>, Helena E. Kotovskaya<sup>1</sup>, Alex E. Kotovskii<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute “Academy of Construction and Architecture (structural unit)” of CFU named after V.I. Vernadsky, Simferopol, Russia

<sup>2</sup>Engineering Center LLC “KRYMTEKOM”, Simferopol, Russia

**Abstract.** A method for analyzing the operation of pumping units of pumping stations, tested in one of the cities in the south of the Russian Federation, is proposed. The analysis of the data of field observation of water consumption in the microdistrict allowed us to determine the seasonal components that affect the operation of the hydraulic circuit. With the help of standard statistical methods, the accumulated statistical material on pump feeds was processed, the value of which was recorded every hour during 1 year of operation (before the introduction of a regime water supply schedule). Using the obtained differential distribution density curve combined with the efficiency characteristic of the pump, a quantitative assessment of the operation of pumping equipment in operation in various ranges was performed. Such an assessment will make it possible to determine the maintenance period of operation, calculate the economic parameters of the pumping equipment and take measures to improve their energy performance.

**Keywords:** water supply and distribution system, pumping station, operating range, energy parameters of pumping equipment, cavitation, reliability, integral and differential water consumption schedule, adjustable electric drive

**For citation:** Nikolenko I.V., Kotovskaya H.E., Kotovskii A.E. Determination of the actual operating parameters of the power units of pumping stations. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2022; (6): 56–69. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2022-762-6-56-69.

**Введение.** В системах водоснабжения насосы занимают значительное место по эффективности эксплуатации, стоимости капитальных и эксплуатационных затрат, энергопотреблению, возможности резервирования, условиям компоновки в машинном отделении и т.д. Поэтому при проектировании насосных станций систем водоснабжения следует учитывать влияние следующих факторов:

капитальные затраты (стоимость основного технологического оборудования – насосного оборудования, здания насосной станции, вспомогательно-го оборудования; грузоподъемных приспособлений);

эксплуатационные затраты (здесь важно понимать, что методика подбора насосов направлена на то, что подбираемый насос будет эксплуатироваться на режимах рабочего диапазона, но практически это условие не всегда выполнимо, так как зачастую насосное оборудование больший период времени работает на различных режимах (за пределами рекомендуемого диапазона), что приводит к выходу из строя насосных агрегатов [1];

возможность резервирования; в соответствии с п. 10.3 СП 31.13330.2012<sup>1</sup> в зависимости от количества рабочих насосных агрегатов и категории надежности действия системы водоснабжения (1, 2 или 3-й категории) принимается количество резервных агрегатов, которые попеременно с рабочими обеспечивают подачу воды в систему подачи и распределения воды (СПРВ).

Вопросы резервирования насосного оборудования являются значимыми и актуальными и базируются на теории отказов, значительный вклад в развитие которой внесли Н.Н. Абрамов и Ю.А. Ильин [2–5].

Научно-практический интерес при работе насосного оборудования на СПРВ вызывает изучение комбинации таких факторов:

вероятность работы насосного оборудования на тех или иных режимах эксплуатации;

расчет интенсивности отказов;

определение факторов энергоэффективности.

Кроме рабочих параметров к энергетическим характеристикам относят потребляемую мощность и КПД насосов. Изучению закономерностей связи между рабочими показателями и энергетическими параметрами посвящены работы таких исследователей, как Б.С. Лезнов, А.В. Минаев, В.И. Турк, В.Я. Карелин, С.Е. Березин, И.В. Николенко, И.Б. Твердохлеб, и др. [1, 6–13].

Известные научные подходы не всегда всеобъемлюще позволяют получить эффективную модель оценки потребления энергоресурсов насосными агрегатами и их параметров эксплуатации, что послужило выбором направления данного исследования – анализ режимов эксплуатации насосного оборудования.

**Цели и задачи.** В структуре затрат предприятий коммунального хозяйства значительная доля приходится на оплату электроэнергии, потребляемой насосно-силовыми агрегатами, которыми оснащены насосные станции I подъема, забирающие воду из источников централизованного питьевого водоснабжения и подающие на площадку водопроводных очистных сооружений (ВОС); насосные станции II подъема, забирающие очищенную воду из резервуаров чистой воды (РЧВ) и подающие в магистральную водопроводную сеть населенного пункта; подкачивающие насосные станции, обеспечивающие требуемыми расходами и напорами потребителей отдельных микрорайонов населенных пунктов; районные канализационные насосные станции и главные канализационные насосные станции [9]; насосы вспомогательных технологических процессов [3, 9] для подачи воды на промывку фильтров; подачи реагентов; перекачки промывных вод, а также осадков; иловые насосы на канализационных очистных сооружениях (КОС) и т.д. Все перечисленное оборудование работает каждый день и потребляет значительную долю электроэнергии, затраты на оплату которой зачастую не позволяют эксплуатационным предприятиям получать большую прибыль и вынуждают балансировать на грани безубыточности, достигаемой в 10-м производственном месяце.

---

<sup>1</sup> СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84\*. Введ. 2013-01-01. М.: Минрегион России, 2012. 124 с.

Если эксплуатация насосов с заранее определенными и незначительно меняющимися параметрами, как работа насосной станции I подъема, позволяет выявить факторы, влияющие на период эксплуатации и при необходимости осуществить корректировку, то работа насосов напрямую зависящая от динамики водопотребления населения, характерная для подкачивающих насосных станций, определяет сложную инженерную задачу, направленную на выявление воздействующих факторов и их последующее устранение. К факторам, оказывающим значительное влияние на эффективность эксплуатации насосного оборудования, относятся:

- работа за пределами рабочего диапазона;
  - работа на низких значениях КПД;
  - работа в «левой» зоне характеристики насоса;
  - работа под преобразователем частоты вращения рабочего колеса насоса
- больший период времени эксплуатации;
- некорректно подобранные диаметры всасывающих и напорных трубопроводов;
  - некорректно размещенная запорно-регулирующая и предохранительная арматура.

Все перечисленные факторы в той или иной степени влияют на период и параметры эксплуатации.

Решение задач, направленных на выявление воздействующих факторов и их последующее устранение, на действующих и давно эксплуатируемых насосных станциях микрорайонов, представляется в несколько этапов:

- для рассматриваемого объекта (система водоснабжения микрорайона) составляют схему работы, выполняют гидравлический расчет кольцевых водопроводных сетей, анализируют корректность обвязки насосного оборудования;

- определяют средства и методы, необходимые для сбора аналитических сведений по эффективности потребления энергоресурсов (параметры работы насосной станции);

- осуществляют сбор статистических данных по энергетическим параметрам работы насосного оборудования (за длительный период наблюдения, как минимум год);

- выполняют математическую обработку накопленных статистических данных по показателям, косвенно характеризующим энергоэффективность, стандартными статистическими методами с получением аналитических выводов;

- проводят оценку по энергоэффективным показателям работы насосного оборудования систем подачи и распределения воды;

- анализируют полученные результаты и определяют комплекс мер, направленный на повышение эксплуатационных параметров эксплуатации насосного оборудования на действующих насосных станциях подкачки.

**Результаты исследования.** В качестве объекта исследования была принята подкачивающая насосная станция, предназначенная для водоснабжения группы промышленных предприятий и жилого массива, ограниченного улицами № 1 и № 2 в одном из городов Южного округа РФ.

Насосы, расположенные в насосной станции в количестве 4, из которых 2 рабочих и 2 резервных, марки Д320-70а, с частотой вращения  $n = 2900$  об/мин, в машинном зале имеются 2 пустых монтажных фундамента, с заглушенными ответвлениями от всасывающего распределительного трубопровода и сборного напорного трубопровода, предназначенных под установку дополнительных насосов. Вода от магистральных водопроводных сетей города заполняет два резервуара чистой воды (2 РЧВ), объемом  $2000 \text{ м}^3$ , каждый выполненный по ТП 901-4-60,83 с габаритами  $18 \times 24 \times 4,8(h)$ . Заполнение РЧВ осуществляется по двум водоводам диаметром 400 мм, забор всасывающими трубопроводами насосной станции из РЧВ предусмотрен при помощи стальных трубопроводов диаметром 600 мм, подача от насосной станции в распределительную сеть микрорайона осуществляется при помощи трубопровода диаметром 500 мм. Перечень объектов водоснабжения рассматриваемого микрорайона представлен в табл. 1.

За пределами здания насосной станции, на напорном трубопроводе, установлен ультразвуковой расходомер, регистрирующий значения подач в распределительную сеть микрорайона с фиксацией мгновенных значений, а также интегральных показателей. Данные измерения параметров регистрировались и собирались с интервалом 1 ч в течение 13 мес.

После сбора данных о водопотреблении закрытого гидравлического контура водопроводной сети в первую очередь было необходимо установить связь между коэффициентами сезонной неравномерности, часовой неравномерности и фактическими значениями, что вызывало определенные затруднения, поскольку водопроводная система микрорайона объединена с группой промышленных объектов, объектами социальной инфраструктуры и жилым массивом, представленным группой 9-этажных зданий. Среди промышленных объектов особенное место занимает такой крупный водопотребитель, как Предприятие № 1, производственная мощность которого зависит от сезонов года.

На рис. 1 представлена диаграмма водопотребления по 12 месяцам года для минимального, среднего и максимального периодов водопотребления.

Для выполнения анализа данных приняли год наблюдений, поскольку включение в обработку значений 13 мес приводило бы к размытию значений сезонной неравномерности. Из анализа данных, приведенных на рис. 1,

**Таблица 1. Объекты водоснабжения, питание которых осуществляется от рассматриваемой насосной станции**

**Table 1. Water supply facilities that are powered by the considered pumping station**

Улица	Номера многоэтажных жилых домов	Объекты бытового обслуживания населения	Административные здания и учреждения
№ 1	24, 22, 35, 20, 31, 33, 29, 27, 25, 23, 16, 21, 19, 17, 12, 15, 13, 8, 11, 9, 6, 6А, 7	Супермаркет Продовольственный рынок	Детский сад № 1
			Детский сад № 2
		Единая сервисная служба	Детский сад № 3
			Школа-гимназия № 1

Примечание. На ул. № 2 находятся объекты промышленности: предприятия № 1–6.

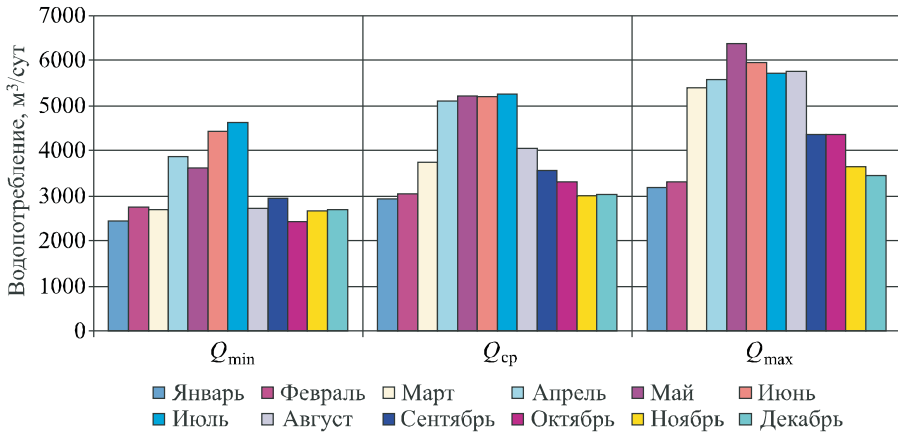


Рис. 1. Динамика водопотребления микрорайона в течение года

Fig. 1. Dynamics of water consumption of the microdistrict during year

можно заключить, что разница между минимальными показателями и максимальными составляет не менее трех раз.

На рис. 2 представлен дифференциальный график водопотребления, на котором показано распределение значений подач по интервалам из фактического диапазона водопотребления. Проанализировав данные рис. 2, можно заключить, что наибольшее количество времени работы соответствует интервалу от 123 до 180 м<sup>3</sup>/ч. На рис. 3 приведен интегральный график работы насосного оборудования в течение года. Данные на дифференциальном графике свидетельствуют о распределении значений между рассматриваемыми интервалами, а данные на интегральном – о суммарных значениях по интервалам, по которым можно наглядно определить область математического ожидания случайной величины.

Для последующего анализа значений особенный интерес представлял ступенчатый график неравномерности водопотребления для разных

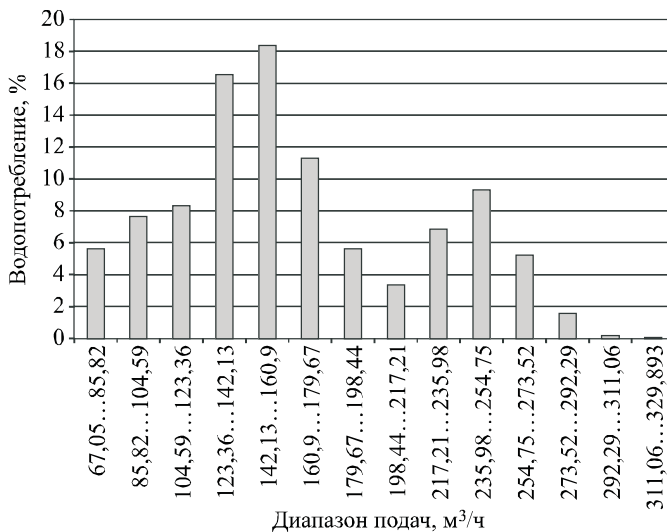


Рис. 2. Дифференциальный график водопотребления

Fig. 2. Differential water consumption schedule

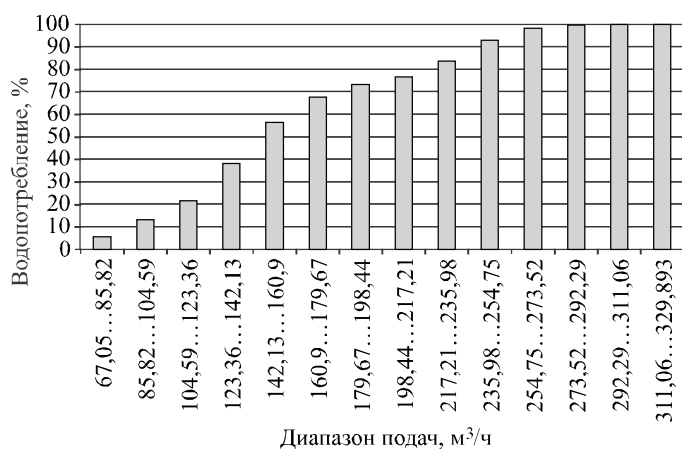


Рис. 3. Интегральный график водопотребления

Fig. 3. Integral water consumption chart

режимов, средних, максимальных и минимальных суток водопотребления (рис. 4).

Анализ графиков на рис. 4 показал, что явно выраженного коэффициента часовой неравномерности нет, что, вероятно, обусловлено водопотреблением промышленных предприятий, вычленение расходов которых дано в табл. 2, а также представлены результаты определения по итогам анализа проектных и фактических данных по водопотреблению.

Для графической интерпретации полученных результатов табл. 2 из каждого часового расхода суток максимального водопотребления, суммарного расхода вычли значения предполагаемого водопотребления промышленного предприятия, пересчитали процент от суточного водопотребления и нанесли на ступенчатый график (см. рис. 5), совместно с данными, полученными по коэффициенту часовой неравномерности аналитически (от числа жителей в рассматриваемом микрорайоне).

Для анализа и обработки результатов измерений применили стандартные статистические методы, в результате которых было выявлено, что распределение случайной величины значений подчинено закону нормального распределения.

В ходе математической обработки получены аналитическое выражение распределения случайной величины, с соответствующими параметрами: математическое ожидание, равное 165,1 м³/ч, дисперсия случайной величины 2980,23 (м³/ч)² и среднеквадратическое отклонение подачи – 54,59 м³/ч. Проверка сходимости результатов осуществлялась по критерию Пирсона. Выполнено выравнивание функции и построены дифференциальные и интегральные кривые распределения, интерпретация которых представлена далее.

Для полученных статистических характеристик результатов измерения подач насоса ДЗ20-70а (работающего на рассматриваемом микрорайоне) дифференциальная функция распределения имеет вид

$$f(Q_1) = \frac{1}{54,59\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(Q-165,1)^2}{2 \cdot 2980,53}} = 0,0073e^{-0,0000167(Q-165,1)^2}. \quad (1)$$



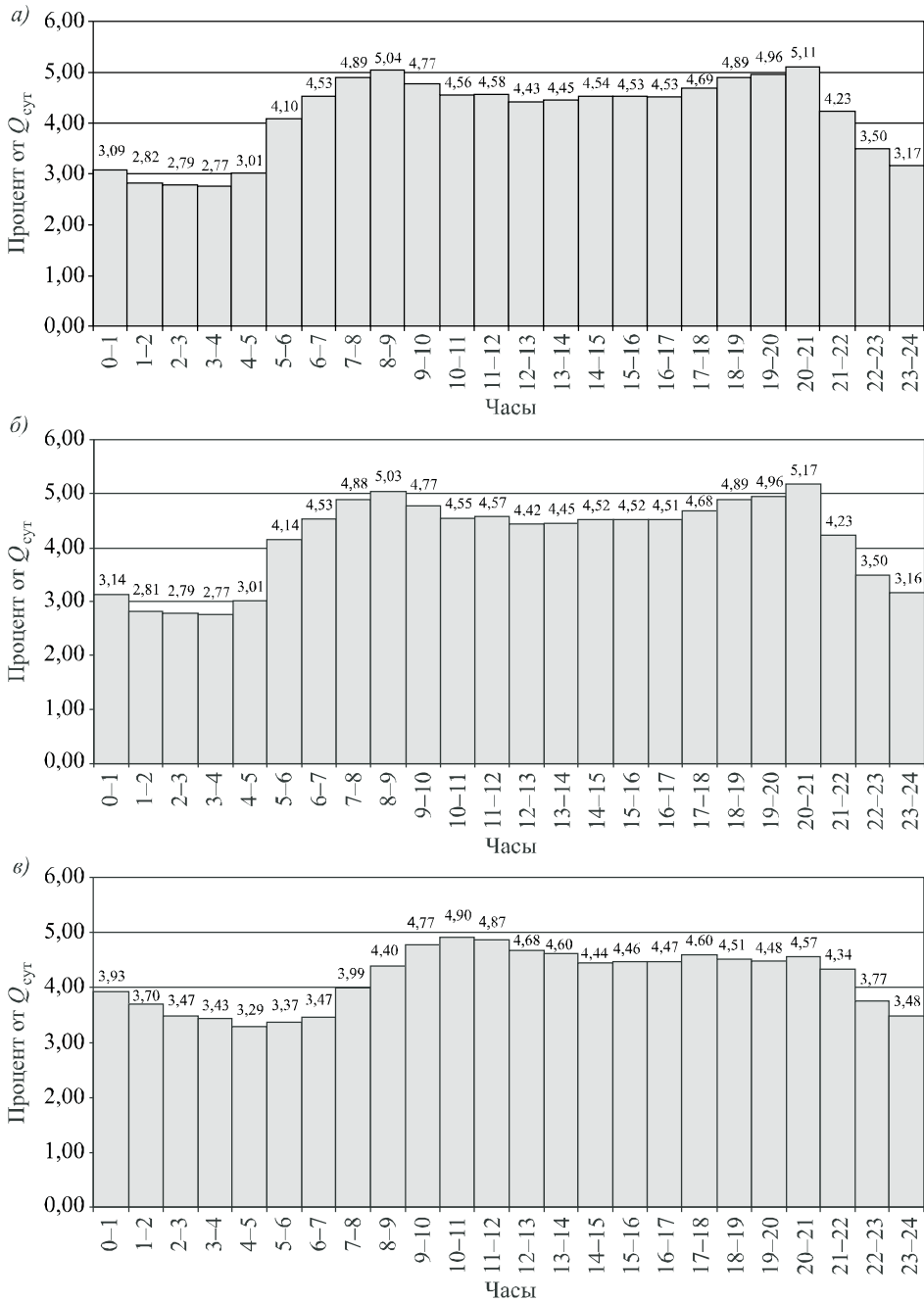


Рис. 4. Ступенчатый график водопотребления в течение средних (а), максимальных (б) и минимальных (в) суток водопотребления

Fig. 4. Stepped schedule of water consumption during the average (a), the maximum (b) and the minimum (c) day of water consumption

Для интерпретации полученных данных в ходе математической обработки составили дифференциальный график распределения диапазонов подач, расходно-напорная характеристика насоса, характеристика работы трубопровода от минимального водопотребления до максимального, характери-



**Таблица 2. Сводные результаты расчетов по определению расчетных расходов водопотребления**

**Table 2. Summary results of calculations to determine the estimated costs of water consumption**

Показатель	Аналитические значения	Фактические значения	Разница, предполагаемый расход промышленными предприятиями	Примечание
1	2	3	4	5
Число жителей, $N$ человек	8208			
Расчетное количество одновременных пожаров	1			п. 5.1 СП 8.13130.2020
Максимальные значения расхода воды на пожаротушение, л/с	15,0			табл. 2 СП 8.13130.2020
Коэффициент суточной неравномерности водопотребления, $K_{сут. max}$	1,3			п. 5.2, табл. 2 СП 10.13130.2012
Коэффициент суточной неравномерности водопотребления, $K_{сут. min}$	0,9			п. 5.2 СП 31.13330.2012
Коэффициент $\alpha_{max}$	1,33			то же
Коэффициент $\beta_{max}$	1,20			табл. 2 СП 31.13330, 2020
Коэффициент часовой неравномерности водопотребления $K_{ч max}$	1,59			п. 5.2 СП 31.13330, 2012
Значение коэффициента $\alpha_{min}$	0,36			то же
Значение коэффициента $\beta_{min}$	0,40			табл. 2 СП 31.13330, 2020
Коэффициент часовой неравномерности водопотребления $K_{ч min}$	0,14			п. 5.2 СП 31.13330, 2012
Сутки среднего водопотребления, м <sup>3</sup> /сут	1982,23	3905,01	1922,78	то же
Сутки максимального водопотребления, м <sup>3</sup> /сут	2576,90	6378,15	3801,25	—>—
Сутки минимального водопотребления, м <sup>3</sup> /сут	1784,01	2424,29	640,28	—>—
В сутки среднего водопотребления – средний часовой расход, м <sup>3</sup> /ч	82,59	162,18	79,59	
В сутки минимального водопотребления – минимальный часовой расход, м <sup>3</sup> /ч	10,70	67,05	56,35	
В сутки среднего водопотребления – средний часовой расход, м <sup>3</sup> /ч	170,72	264,14	93,42	
В сутки минимального водопотребления – минимальный часовой расход, м <sup>3</sup> /ч	15,46	176,40	160,94	

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5
В сутки максимального водопотребления – максимальный часовой расход, м <sup>3</sup> /ч	170,72	329,89	159,17	
В сутки максимального водопотребления – максимальный часовой расход, а также расход на пожаротушение, м <sup>3</sup> /ч	242,72			

стика потребляемой мощности, характеристика КПД и характеристика допустимого кавитационного запаса и КПД (рис. 6). Область рабочего диапазона, представленную на графике насоса (каталог), заштриховали.

Графически видно, что большая часть времени работы насоса находится за пределами рабочего диапазона, аналитически определение количественных значений осуществляется при помощи выражения Лапласа.

Вероятности превышения рабочего диапазона

$$P(Q_{\min} \text{ гр. раб. диап} < Q < Q_{\max} \text{ гр. раб. диап}) = \Phi\left(\frac{Q_{\min} - M(Q)}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{Q_{\max} - M(Q)}{\sigma}\right), \quad (2)$$

где  $M(Q)$  – математическое ожидание подачи насоса;  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение подач насоса.

$$\Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du - \text{функция Лапласа.}$$

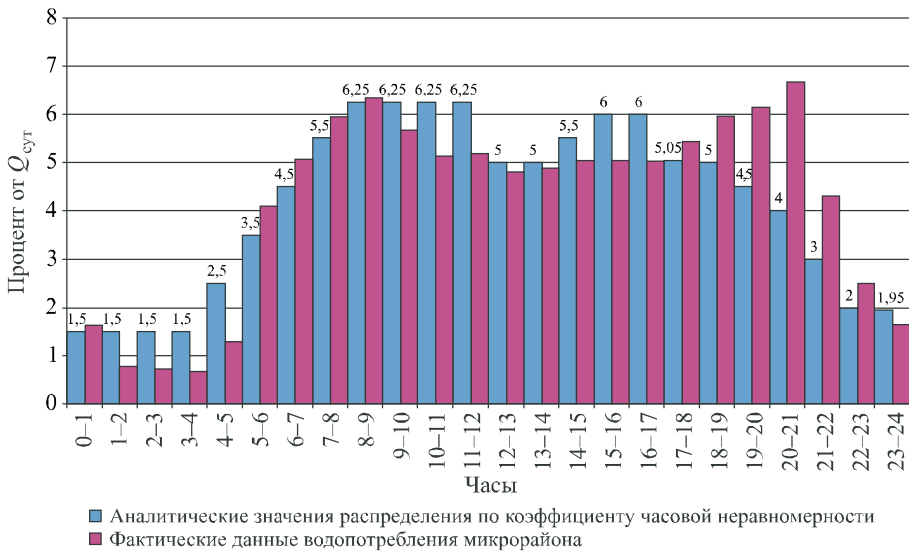


Рис. 5. Ступенчатый график водопотребления в течение суток максимального водопотребления после дополнительных вычислений

Fig. 5. Stepped graph of water consumption during the day of maximum water consumption after additional calculations

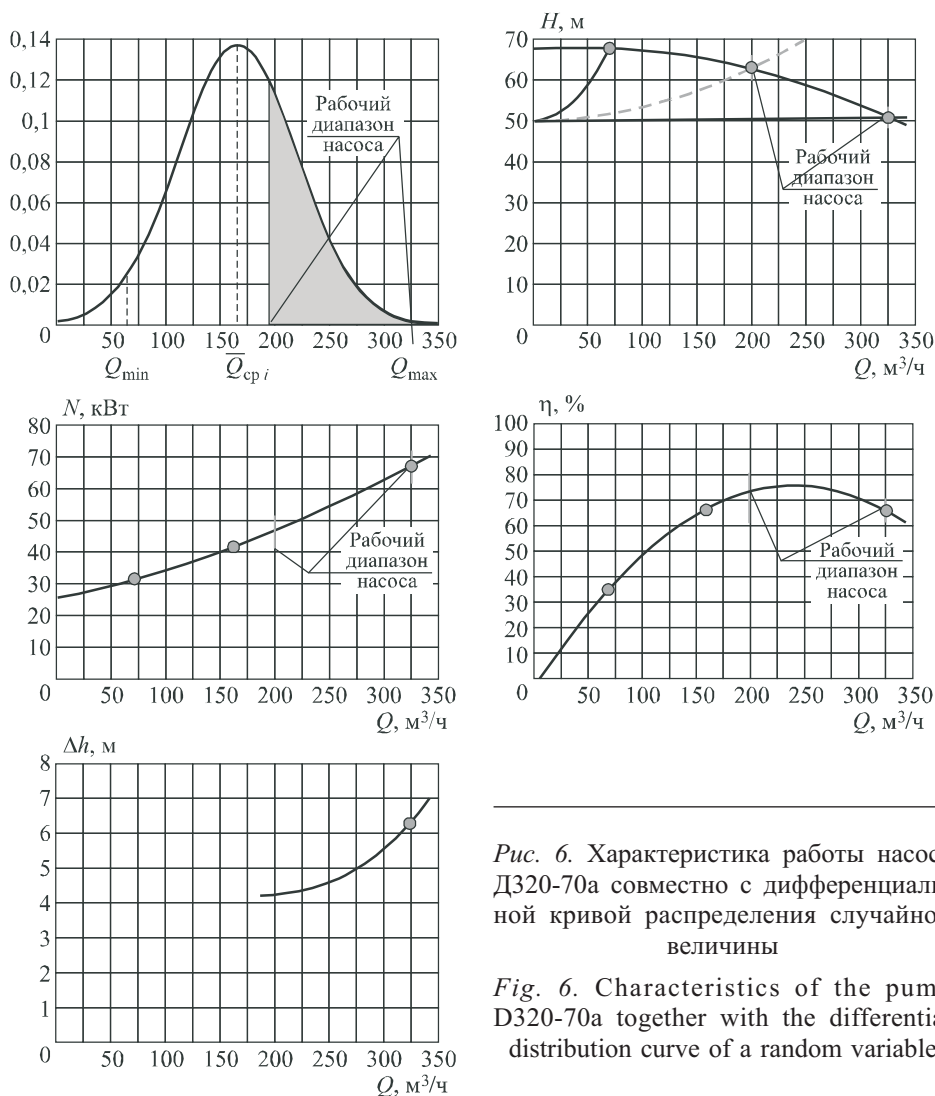


Рис. 6. Характеристика работы насоса Д320-70а совместно с дифференциальной кривой распределения случайной величины

Fig. 6. Characteristics of the pump D320-70a together with the differential distribution curve of a random variable

$$P(190 < Q < 325) = \Phi\left(\frac{190 - 165,1}{54,6}\right) - \Phi\left(\frac{325 - 165,1}{54,6}\right) = 0,3245.$$

Вероятность работы насоса в течение года в рабочем диапазоне составляет 32,45 %.

На рис. 7 совмещена характеристика КПД и график дифференциальной кривой распределения подач.

На графике рис. 7 отмечены границы работы за пределами рабочего диапазона и по сведениям, представленным [14], можно количественно определить периоды времени от годовой работы насосной станции за пределами рабочего диапазона.

Количественная оценка вероятности работы насоса в зоне усиленной кавитации

$$P(75 < Q < 125) = \Phi\left(\frac{125 - 165,1}{54,6}\right) - \Phi\left(\frac{75 - 165,1}{54,6}\right) = 0,195. \quad (3)$$

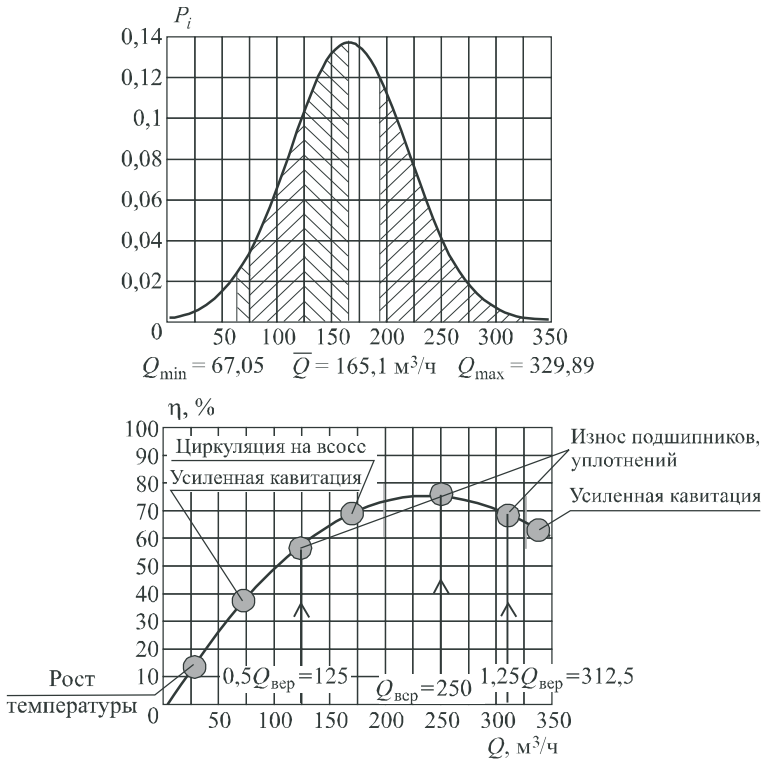


Рис. 7. График определения интервалов работы за пределами рабочего диапазона

Fig. 7. Schedule for determining work intervals outside the operating range

Вероятность работы насоса в течение года в зоне усиленной кавитации составляет 19,5 %.

Количественная оценка вероятности работы насоса в зоне циркуляции на входе

$$P(125 < Q < 165,1) = \Phi\left(\frac{165,1-125}{54,6}\right) - \Phi\left(\frac{125-165,1}{54,6}\right) = 0,26. \quad (4)$$

Вероятность работы насоса в течение года в зоне циркуляции на входе составляет 26 %.

Количественная оценка вероятности работы насоса в зоне роста температур

$$P(67,05 < Q < 75) = \Phi\left(\frac{75-165,1}{54,6}\right) - \Phi\left(\frac{67,05-165,1}{54,6}\right) = 0,0136. \quad (5)$$

Вероятность работы насоса в течение года в зоне роста температур составляет 1,36 %.

**Выводы. 1.** Представлены данные первичной статистической обработки параметров подкачивающей насосной станции, предназначенной для водоснабжения группы промышленных предприятий и жилого массива, которые позволили составить представление о сезонной динамике водопотребления

микрорайона, а также сравнить принятые аналитические и фактические показатели работы подкачивающей насосной станции.

2. В результате анализа полученных расчетных данных по итогам статистической обработки накопленных фактических данных эксплуатации выявлена область работы насоса в зоне рекомендуемого КПД. Вероятность работы насоса в течение года в рабочем диапазоне составляет 32,5 %.

3. В результате анализа для рассмотренных силовых агрегатов установлено, что в течение годового периода эксплуатации вероятность работы насосов в зоне:

усиленной кавитации 19,5 %;

циркуляции на всасывании 26 %;

вызывающей перегрев 1,4 %.

4. Представленная методика анализа фактических параметров эксплуатации насосных агрегатов подкачивающих насосных станций является доступным инструментом анализа, который позволяет выявлять негативно воздействующие факторы на показатели надежности насосных станций с их последующим снижением либо устранением.

#### Список источников

1. Березин С.Е. Насосные станции с погружными насосами. Расчет и конструирование. М.: Стройиздат, 2008. 160 с.
2. Абрамов Н.Н. Водоснабжение. М.: Стройиздат, 1982.
3. Абрамов Н.Н. Надежность систем водоснабжения. М.: Стройиздат, 1984. 216 с.
4. Ильин Ю.А. Надежность водопроводных сооружений и оборудования. М.: Стройиздат, 1985. 240 с.
5. Ильин Ю.А. Расчет надежности подачи воды. М.: Стройиздат, 1987. 320 с.
6. Лезнов Б.С., Чебанов В.Б. Технологические основы энергосбережения в насосных установках // Водоснабжение и санитарная техника. 2004. № 7. С. 13–18.
7. Лезнов Б.С. Современные проблемы использования регулируемого электропривода в насосных установках // Водоснабжение и санитарная техника. 2006. № 11, ч. 2. С. 14.
8. Турк В.И. Насосы и насосные станции. М.: Госстройиздат, 1957. 182 с.
9. Турк В.И., Минаев А.В., Карелин В.Я. Насосы и насосные станции. М.: Стройиздат, 1977. 296 с.
10. Березин С.Е., Баженов В.И. Воздуходувные станции с регулируемыми центробежными компрессорами. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2019. 188 с.
11. Николенко И.В., Котовская Е.Е. Оценка энергетической эффективности работы агрегатов насосных станций подкачки с учетом условий эксплуатации // Строительство и техногенная безопасность. 2016. № 4. С. 103–112.
12. Николенко И.В., Котовская Е.Е. Методика и анализ подбора насосных агрегатов для насосных станций подкачки систем водоснабжения // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. Симферополь: НАПКС, 2014. Вып. 51. С. 112–121.
13. Костюк А.В., Твердохлеб И.Б. Энергоэффективная эксплуатация скважинных насосов ЭЦВ // Ресурсосбережение. 2010. № 9. С. 1–5.
14. Венцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. М.: Высш. шк., 2000. 383 с.

## References

1. *Berezin S.E.* Pumping stations with submersible pumps. Calculation and construction. Moscow: Stroyizdat, 2008. 160 p. (In Russ.).
2. *Abramov N.N.* Water supply. Moscow: Stroyizdat, 1982. (In Russ.).
3. *Abramov N.N.* Reliability of water supply systems. Moscow: Stroyizdat, 1984. 216 p. (In Russ.).
4. *Ilyin Yu.A.* Reliability of water supply facilities and equipment. Moscow: Stroyizdat, 1985. 240 p. (In Russ.).
5. *Ilyin Yu.A.* Calculation of water supply reability Moscow: Stroyizdat, 1987. 320 p. (In Russ.).
6. *Leznov B.S., Chebanov V.B.* Technological bases of energy saving in pumping units. *Vodosnabzheniye i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary equipment.* 2004; (7): 13–18. (In Russ.).
7. *Leznov B.S.* Modern problems of using an adjustable electric drive in pumping installations. *Vodosnabzheniye i sanitarnaya tekhnika = Water supply and sanitary equipment.* 2006; 11(2): 14. (In Russ.).
8. *Turk V.I.* Pumps and pumping stations. Moscow: Gosstroyizdat, 1957. 182 p. (In Russ.).
9. *Turk V.I., Minaev A.V., Karelin V.Ya.* Pumps and pumping stations. Moscow: Stroyizdat, 1977. 296 p. (In Russ.).
10. *Berezin S.E., Bazhenov V.I.* Blower stations with adjustable centrifugal compressors. Simferopol: IT "ARIAL", 2019. 188 p. (In Russ.).
11. *Nikolenko I.V., Kotovskaya E.E.* Evaluation of the energy efficiency of pumping station pumping units taking into account operating conditions. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost' = Construction and technogenic safety.* 2016; (4): 103–112. (In Russ.).
12. *Nikolenko I.V., Kotovskaya E.E.* Methodology and analysis of the selection of pumping units for pumping stations pumping water supply systems. Construction and technogenic safety. Collection of scientific works. Simferopol: NAPKS, 2014. Iss. 51. P. 112–121. (In Russ.).
13. *Kostyuk A.V., Tverdohle I.B.* Energy efficient operation of well pumps ECV. *Resursosberezheniye = Resource saving.* 2010; (9): 1–5. (In Russ.).
14. *Ventzel E.S., Ovcharov L.A.* Theory of random processes and ee engineering applications. Moscow, 2000. 383 p. (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** – главный инженер, kotovskiialex@yandex.ru

## Information about the authors

**I.V. Nikolenko** – DSc, Professor, nicoshi@mail.ru

**N.E. Kotovskaya** – Senior Lecturer, ekevkot@gmail.com

**A.E. Kotovskii** – Chief 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 conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 11.05.2022  
Одобрена после рецензирования 02.06.2022  
Принята к публикации 09.06.2022

The article was submitted 11.05.2022  
Approved after reviewing 02.06.2022  
Accepted for publication 09.06.2022