

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по научной деятельности  
 ФГАОУ ВО «Крымский федеральный  
 университет им. В.И. Вернадского»,  
 д.т.н., профессор



\_\_\_\_\_ А.В. Кубышкин

«10» ноября 2021 г.

**ОТЗЫВ**

ведущей организации о диссертации  
**Барбул Михаила Леонидовича**  
 на тему:

**«ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ МНОГОНАСОСНЫХ СТАНЦИЙ  
 ПОВЫШЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ  
 С УЧЕТОМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ  
 В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ»,**

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
 специальности 2.1.4 – Водоснабжение, канализация, строительные системы  
 охраны водных ресурсов

**Актуальность для науки и практики**

Актуальность работы состоит в необходимости реформирования городского жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ), в котором энергопотребление насосного оборудования является одним из основных составляющих эксплуатационных затрат. Проблематика диссертационной работы по созданию новых моделей и методов регулирования также обусловлена недостаточной разработанностью вопроса выбора расчетных режимов работы агрегатов насосных станций, а также соответствует основным направлениям государственной политики в сфере водоснабжения и водоотведения, которые представлены в Федеральных Законах, Постановлениях и других документах правительства Российской Федерации. Решение, рассмотренной проблемы соответствует требованиям времени, а также имеет важное социально-экономическое и хозяйственное значение для страны.

Результаты данной работы позволяют на теоретическом и практическом уровнях обосновывать параметры и модели развития схем насосных станций систем водоснабжения, в условиях снижения водопотребления в большинстве городов и поселений России. Разработка теоретических основ и практическая

реализация новых моделей с разработкой алгоритмов управления агрегатами насосных станций с учетом спрогнозированного водопотребления выполнены с учетом современных принципов автоматизации и цифровизации, тенденций создания электронных моделей для снижения времени и трудоемкости эксплуатации систем водоснабжения, а также с учетом неопределенности перспективного водопотребления.

### **Основные научные результаты и их значимость для науки и производства**

Основные научные результаты, которые получены автором:

- предложено использование регрессионной математической модели прогнозирования, на основе анализа статистических данных водопотребления, разработан способ прогнозирования водопотребления на последующие промежутки времени;

- на основе (обрабатываемых в режиме реального времени) данных разработан адаптивный способ прогнозирования изменения водопотребления с учетом изменения параметров гидравлической сети, времени года и т.д.;

- определены оптимальные величины давлений на выходе многонасосных станций повышения давления (МНСПД), при которых обеспечивается минимум энергетических затрат;

- предложен для управления МНСПД на основе спрогнозированного водопотребления адаптивный алгоритм ее управления, который позволяет вывести агрегаты насосной станции на режим работы с более высоким КПД

Теоретическая значимость работы заключается в том, что разработан способ прогнозирования водопотребления в режиме реального времени на основе статистической обработки накопленных данных за прошедший промежуток времени. Получены уравнения, которые математически описывают водопотребление жилых домов, районов и т.д. за конкретный промежуток времени

Практическая значимость результатов исследований заключается в том, что:

- полученные результаты могут использоваться при разработке и совершенствовании существующих алгоритмов управления МНСПД с целью увеличения их КПД;

- на основании спрогнозированного водопотребления всех жилых домов, входящих в систему водоснабжения города (района), появляется возможность (с помощью программных средств расчета систем водоснабжения) прогнозирования поведения данной системы водоснабжения в конкретный промежуток времени.

Результаты диссертационных исследований использованы при разработке алгоритмов управления силовыми агрегатами насосных станций и внедрены на предприятиях: ОАО «Водоканал-Мытищи», г. Мытищи; ООО



«Водоканал», г. Королёв; РЭП «Голицыно», г. Голицыно; ООО «Тепловые сети Балашихи», г. Балашиха и др.

### Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 103 наименований, 3 приложений. Общий объем диссертации 121 страниц, в том числе 104 страницы основного текста, 5 таблиц, 42 рисунка, 11 страниц списка литературы и 6 страниц приложений.

*Во введении* сформулированы актуальность выбранной темы, определены цель и задачи исследований, представлены научная новизна и практическая значимость работы, а также отражены основные положения диссертации, вынесенные на защиту.

*В первой главе* проведен частичный анализ алгоритмов работы существующих многонасосных станций повышения давления. Рассмотрены основные методы управления многонасосными станциями, указаны достоинства и недостатки каждого из них. На основании проведенного анализа сделан вывод, что существующие алгоритмы не вполне учитывают всего многообразия возможных вариантов работы насосной станции в реальном времени, что существенно сказывается на КПД насосной станции, и поэтому требует проведения исследований по поиску новых алгоритмов управления многонасосными станциями с целью уменьшения энергопотребления. В заключении первой главы поставлены цель и задачи исследования.

*Во второй главе* рассмотрен способ описания процесса водопотребления в течение суток. На основе анализа существующих математических моделей прогнозирования и методов анализа данных разработан адаптивный способ прогнозирования изменения дневного водопотребления, основанный на применении регрессионной математической модели прогнозирования.

*В третьей главе* предложен алгоритм определения текущего расхода воды на насосном агрегате, необходимый для вычисления спрогнозированного водопотребления всей МНСПД. Разработан адаптивный алгоритм управления МНСПД, который позволяет оптимизировать работу МНСПД за счёт работы насосных агрегатов в зоне с более высоким КПД. Указаны принципиальные отличия известных алгоритмов управления насосными агрегатами по сравнению с разработанным.

*Четвёртая глава* диссертационной работы посвящена экспериментальному исследованию разработанного алгоритма управления МНСПД. Проверена адекватность модели прогнозирования водопотребления с экспериментальными значениями. Проведено сравнение энергопотребления МНСПД, работающей по известным алгоритмам и разработанному. В результате энергопотребление станции управления с разработанным алгоритмом оказалось меньше на 7%. Представлено описание проведения экспериментального исследования и методики обработки результатов.

*В заключении* работы приведены основные выводы по результатам диссертации.

### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Созданные в работе теоретические и практические основы, методы оптимизации позволяют на современном уровне применять предложенные подходы и математические модели для решения различных типов задач по энергосбережению в системах водоснабжения. Эти подходы являются интересными для практического использования и могут быть использованы для оптимизации существующих систем водоснабжения, а также при реконструкции существующих насосных станций подкачки.

### **Полнота изложения результатов диссертации и ее завершенность**

Научные положения, выводы и рекомендации, полученные в диссертационной работе освещены в 11 научных работах, в том числе в 8 научных трудах в изданиях, выпускаемых в РФ и рекомендуемых ВАК для публикации основных результатов диссертации.

Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались на конференциях и семинарах по специальности.

Диссертационная работа структурирована и хорошо оформлена, обладает внутренним единством, материал теоретических и экспериментальных исследований изложен понятно. Диссертация представляет законченную научно-исследовательскую работу, которая выполнена на высоком научном уровне и решает конкретную научную проблему, имеющую важное техническое, народнохозяйственное и социальное значение.

Автореферат диссертации по объему и содержанию выполнен в соответствии с установленными требованиями, а его содержание идентично основным положениям и выводам диссертации.

### **Общие замечания**

К диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. Не совсем понятна задача диссертации «разработать математическую модель функции водопотребления на основе анализа статистических данных водопотребления, полученных в результате экспериментов». Не указана от какого или каких параметров определяется функция водопотребления.

2. Следует отметить, что большинство насосных станций СВВ (первого, второго, третьего и т.д. подъема, подкачки) как правило, являются много насосными, но увеличение числа насосных агрегатов обусловлено их



назначением либо режимами работы. В работе рассмотрена только станция подкачки многоэтажного дома. Поэтому полученные результаты, в лучшем случае, могут применяться только для насосных станций такого предназначения.

3. Автором не проанализированы и не представлены условия работы, при которых в основу определения оптимальной величины давлений на выходе МНСПД (нескольких МНСПД, работающих в одной общей сети), принимается обеспечение минимума энергетических затрат. В общем виде задача по оптимизации величины давления насосной станции является многокритериальной. В качестве критериев оптимальности рассматриваются требования минимальной стоимости суточной подачи воды с учетом возможного изменения тарифов на электроэнергию в течении суток, максимизации КПД работы насосного оборудования, минимизации количества насосных агрегатов, минимальной стоимости жизненного цикла всех агрегатов насосной станции и другие. В основе системы ограничений такой оптимизационной задачи принимаются действующие требования СП по напорам и подачам в каждый момент времени для каждого потребителя многоэтажного дома. В результате, задача многокритериальной оптимизации состоит в поиске вектора целевых функций, удовлетворяющего наложенным ограничениям и оптимизирующего векторную функцию, элементы которой соответствуют целевым функциям.

4. Не понятен смысл рассмотрения автором схемы установки насосного агрегата с отрицательной высотой всасывания, которая показана на рисунке 1.4. Если это показано такое расположение объектов схемы водоснабжения, то целесообразно подавать воду потребителям самотеком вообще без применения насосных агрегатов. В случае если это схема с верхним резервуаром, то необходим дополнительный насосный агрегат для подачи воды в резервуар.

5. В соответствии с действующими требованиями СП эксплуатация насосных станций должна производиться в соответствии с принципами обеспечения требуемого напора и объема подачи воды потребителям для нормальных и аварийных условий. Поэтому исходными данными на стадии проектирования насосных станций подкачки многоэтажных домов являются: этажность, расчетное число жителей, степень благоустройства, схема, параметры и характеристики внутренних сетей. При эксплуатации запроектированного многоэтажного дома число, возраст, режимы работы и уклад жизни его жителей, коэффициент семейности, количество и возраст детей, применяемая водоразборная арматура может существенно отличаться от принятых значений при проектировании. Эти различия формируются случайным образом. Поэтому параметры процесса водоснабжения насосной станции по подаче и ее неравномерности могут тоже случайным образом отличаться от проектных. В результате, рабочие поля установленных типоразмеров агрегатов насосной станции подкачки многоэтажного дома могут не соответствовать требуемым параметрам процесса водоснабжения, а тем более обеспечить оптимальные параметры. В этом случае единственным



вариантом обеспечения требуемых параметров является замена всех насосов, одного насоса, установка дополнительного насоса либо другие варианты.

6. Корректность использования тех или иных методов анализа случайного процесса в значительной степени зависят от его свойств, к которым в первую очередь относятся стационарность, наличие периодических составляющих и нормальность процесса. Предположение о стационарности процесса проверяется путем анализа имеющихся реализаций. Случайный процесс является стационарным в широком смысле, если его математическое ожидание – постоянная величина, а корреляционная функция есть функция промежутка времени между сечениями процесса, что обеспечивает постоянную величину дисперсии в сечении. Из результатов многих экспериментальных исследований и проверки на стационарность по критериям серий и инверсий установлено, что исследуемые случайные процесс водопотребления жилого дома являются нестационарными. Наиболее распространенный способ удаления тренда заключается в приближении к кривой, полученной на основе экспериментальных данных, аппроксимирующей функции максимально простого вида, который обеспечивает минимальное среднеквадратическое отклонение теоретической кривой от экспериментальной. Поэтому изменения объемов водопотребления и сопротивления сети и необходимо рассматривать как взаимосвязанные нестационарные случайные процессы, источником которых является непрогнозируемое, зависящее от многих неконтролируемых факторов, поведение большого количества независимых потребителей, которые непосредственно воздействуют на величину суммарного сопротивления сети, и, следовательно, величин напоров.

7. Для повысительных насосных станций многоэтажных домов существенное значение на величину давления на выходе насосного агрегата оказывает давление на входе. С учетом того, что наружные сети жилых массивов с многоэтажными домами, как правило, выполнены кольцевыми для обеспечения требуемых параметров надежности водоснабжения, то давление на входе агрегатов насосной станции является случайной функцией от времени, закономерности которой необходимо учитывать для обеспечения заданных параметров на выходе насоса по давлению.

8. В диссертационной работе рассмотрены варианты МНСПД, в которых установлены насосные агрегаты одинакового типоразмера. В настоящее время технико-экономическая эффективность эксплуатации насосных станций повышается за счет применения насосных агрегатов разных типоразмеров, с установкой так называемых «разменных» агрегатов. Применение такой схемы что позволяет существенно увеличить рабочее поле агрегатов насосной станции с обеспечением высоких значений КПД.

9. При разработке алгоритма адаптации водопотребления автором предлагается на основе обработки статистических данных от датчиков, накопленных в системе управления удалять недостоверные данные. Кто должен удалять эти данные и почему они признаются недостоверными, если они получены с датчиков. Если это данные по водопотреблению в выходные



и праздничные дни, то эти данные нельзя считать недостоверными. Они свидетельствуют только о том, что режим водопотребления в выходные дни отличается от режима водопотребления в рабочие дни по понятным причинам. Называть недостоверными на основании практического опыта значения подачи, отличающиеся от текущего среднего значения более 30%, так же не совсем обосновано автором. Процесс водопотребления случайный и повысить достоверность его описания можно увеличением числа измерений для уменьшения случайных ошибок.

10. В диссертационной работе не выполнена оценка технико-экономической эффективности предложенных решений. Выполнены только сравнения параметров насосных агрегатов для различных объектов где применялись предложенные в диссертационной работе способы регулирования. Системы автоматизации насосных станций с ПЧТ также являются потребителями электроэнергии, имеют различный КПД элементов. Для установки таких систем дополнительные затраты связаны с их приобретением, эксплуатацией и ремонтом. По нашему мнению, при оценке технико-экономической эффективности необходимо учитывать много факторов, которые могут влиять как на повышение параметров насосных агрегатов, так и на дополнительные затраты с учетом установки дополнительных средств автоматизации.

Указанные замечания не снижают общего высокого научного уровня диссертационной работы и не вызывают сомнений в достоверности и новизне научных положений, выводов и рекомендаций.

### Заключение

Диссертация представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на актуальную тему. Новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для науки и практики, в частности, обоснование методики разработки адаптивного алгоритма управления агрегатами насосной станции. Выводы и рекомендации по работе обоснованы.

Диссертационная работа **Барбул Михаила Леонидовича** на соискание ученой степени кандидата технических наук, отвечает требованиям Положения о присуждении учёных степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, является квалифицированной научной работой, выполненной самостоятельно, в которой получены новые научно обоснованные результаты, решающие важную научную задачу совершенствования и создания новых моделей по оптимизации работы насосных станций систем водоснабжения, а ее автор заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.4 – Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры водоснабжения, водоотведения и санитарной техники института «Академия строительства и

