

деформации русла. Объемы размывов при увеличении пористости увеличиваются в степенной зависимости. Это позволяет сделать вывод о том, что изменение климата, приводящее к изменению всех характеристик мерзлых грунтов, при прочих равных условиях вызовет значительное переформирование русел с изменением размеров и положения зон размывов и аккумуляции наносов.

1. **Дебольская Е. И., Дебольский В. К., Масликова О. Я.** Двухмерная модель русловых деформаций в условиях формирования ледовых заторов // Гидротехническое строительство. – 2009. – № 5. – С. 41–45.

2. **Орлов А. С., Долгополова Е. Н., Дебольский В. К.** Некоторые эмпирические закономерности русловой турбулентности // Водные ресурсы. – 1985. – № 6. – С. 85–90.

3 Application of 3D Mobile bed, hydrodynamic model / D. Gessler, B. Hall, M. Spasojevic, F. Holly, H. Pourtaheri and N. Raphelt // J. of Hydraulic Engineering. – V. 125. – 1999. – № 7. – P. 737–749.

Материал поступил в редакцию 15.01.10.

Дебольская Елена Ивановна, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник

Тел. 8 (499) 135-72-01

Масликова Оксана Яковлевна, кандидат технических наук, младший научный сотрудник

Тел. 8 (499) 135-72-01

Исаенков Александр Юрьевич, аспирант

Тел. 8 (499) 135-72-01

УДК 502/504 : 626.83

С. Н. КАРАМБИРОВ

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

Д. М. ЛИХАНОВ

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В КОЛЬЦЕВЫХ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЯХ

Приводятся результаты расчета переходных процессов на примере города Кингисеппа Ленинградской области. Моделируются переходные процессы, возникающие при авариях на трубопроводах, резком сокращении водопотребления, кратковременном отключении электроэнергии. Учитываются вариации параметров в расчетах переходных процессов в системах подачи и распределения воды.

Водоснабжение, система подачи и распределения воды, СПРВ, переходные процессы, гидравлический удар.

There are given results of calculation of transitional processes on the example of the city of Kingisepp of the Leningrad area. Transitional processes are simulated which occur at pipe lines breakages, sharp reduction of water consumption, short-term energy cutting-off. Parameters variations are taken into consideration at estimations of transitional processes in the systems of water supply and distribution.

Water supply, systems of water supply and distribution, SWSD, transitional processes, hydraulic impact.

Переходные процессы в водопроводных системах по своей природе относятся к сложным динамическим про-

цессам. Факторы, определяющие протекание этих процессов, многообразны, а учет их влияния весьма затруднен. В

этих условиях наиболее эффективным является комплексный метод исследования, основанный как на данных экспериментов, так и на результатах расчетов переходных процессов.

Проведение экспериментов в натуральных условиях в полном объеме практически невозможно. Это связано как с экономическими и организационными трудностями, так и с невозможностью учета влияния ряда факторов на протекание переходных процессов, а также с невозможностью изменения отдельных параметров в широких пределах при проведении натуральных экспериментальных исследований.

Установившееся потокораспределение в сети является частным случаем переходного процесса, наступающим после затухания всех возмущающих воздействий. При этом все производные по времени принимают нулевые значения. Переход в стационарное состояние гарантируется наличием в уравнениях диссипативных членов. Получение стационарного решения в результате протекания переходного процесса известно под названием метода установления.

При выполнении гидравлических расчетов систем подачи и распределения воды (СПРВ) метод установления имеет ряд преимуществ:

- не требуется начального приближения расходов, удовлетворяющих первому закону Кирхгофа;

- не используется информация о кольцевой структуре сети;

- возможно построение более адекватных моделей СПРВ, например, моделей, учитывающих специфику распределенного и сосредоточенного водопотребления;

- отпадает необходимость в специальной процедуре определения напоров в узлах, так как в расчете переходных процессов расходы и напоры получаются одновременно.

Недостаток этого метода – относительно большое время расчета. Однако быстрый рост производительности компьютеров ведет к существенному упрощению алгоритмов расчета СПРВ и расширяет круг решаемых задач.

Приведем некоторые результаты применения метода установления для решения задач гидравлической увязки кольцевой сети Кингисеппа Ленинградской области. План сети представлен на рис. 1.

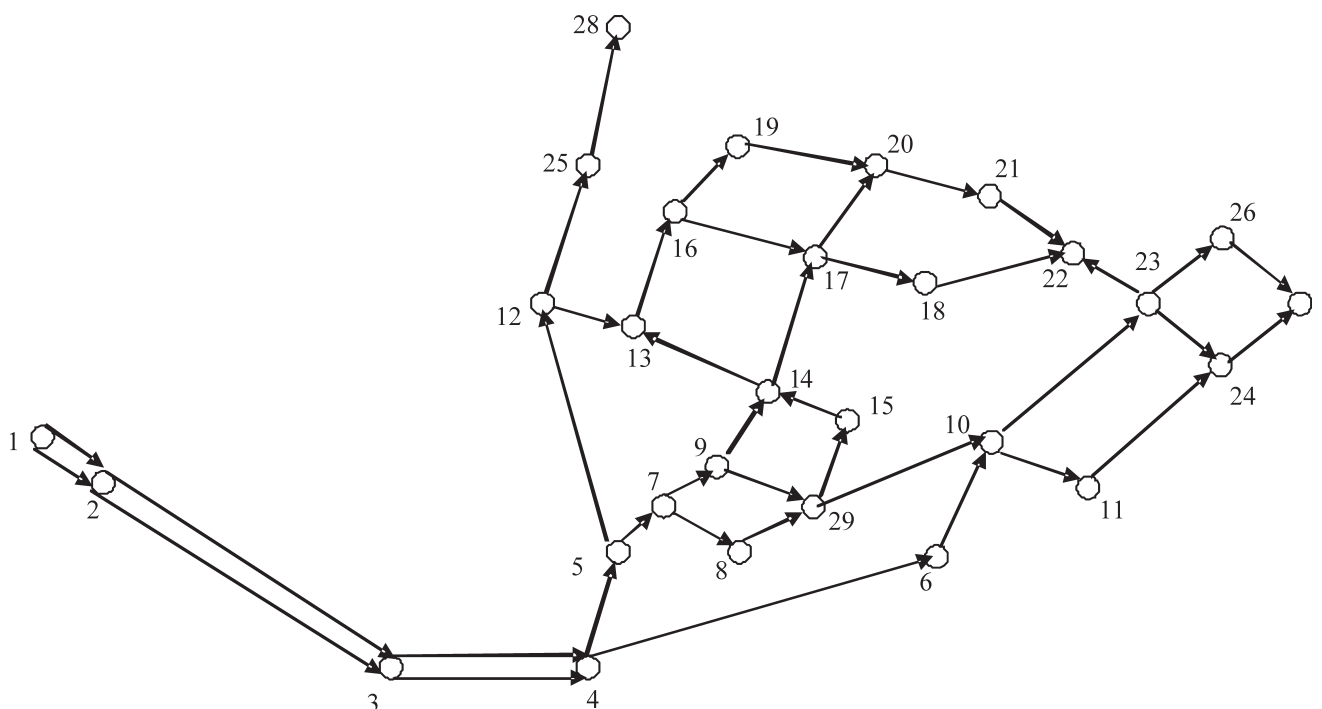


Рис. 1. План сети

Результаты применения метода установления для фиксированных и нефиксированных расходов приведены на рис. 2.

В приведенном примере начальное приближение расходов не удовлетворяло первому закону Кирхгофа, в частности, специально организованное течение по кругу в нескольких кольцах, вытекание всех расходов из узлов, которые не являются водопитателями, и т.д. С помощью метода установления справились с этими «неприятностями». В результате получено решение, соответствующее стационарному методу.

Время счета на протяжении 100 с развития процесса (что в большинстве случаев является избыточным) для компьютера с тактовой частотой 3 ГГц составляет 65 с. Это на несколько порядков больше времени работы стационарных методов, однако даже в настоящее время не является критичным.

Параметры переходных процессов могут входить в качестве ограничений в функционал оптимизации, что позволит решать принципиально новые задачи технико-экономического расчета.

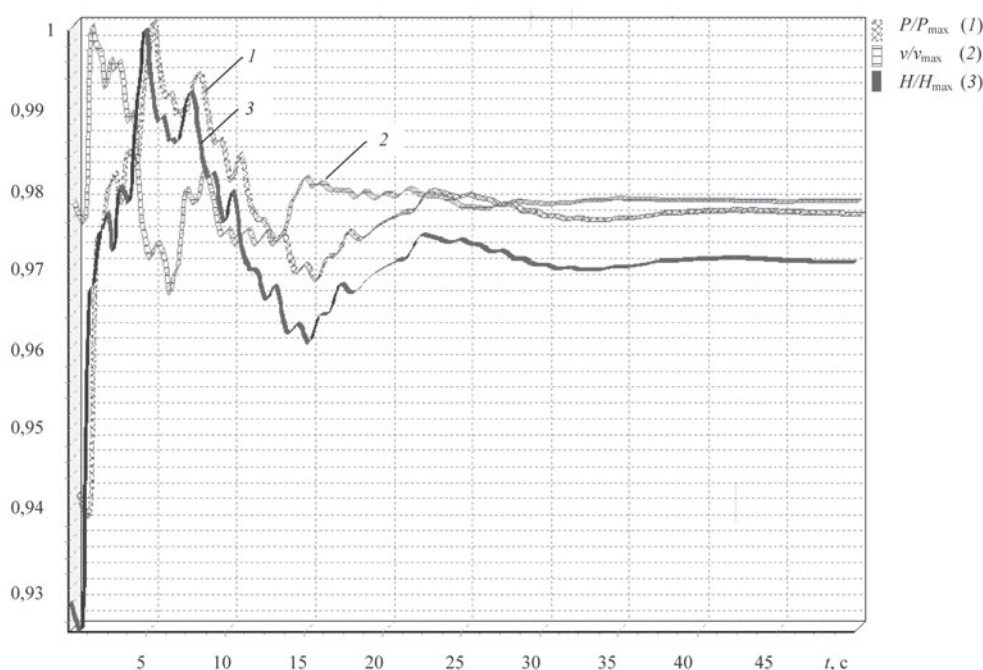


Рис. 2. Процесс установления (расходы узловые): Участок 12. Узел 29. $P_{\text{абс max}} = 557658$ Па, $v_{\text{max}} = 0,81$ м/с, $H_{\text{изб max}} = 46,85$ м; — соответственно абсолютное максимальное давление, максимальная скорость и избыточный максимальный напор на участке

Изучение аварийных режимов методом математического моделирования является одним из основных инструментов получения нерасчетных режимов работы СПРВ. Прежде всего это относится к переходным процессам, возникающим при внезапном нарушении целостности трубопровода.

Математическая модель аварийного режима получается из модели исправной СПРВ путем имитации аварии на одном из участков [1]. При этом утечка рассматривается как истечение воды через

отверстие с тонкой стенкой. Процесс образования разрыва представлен на рис. 3.

Аналогично рассчитываются аварийные отключения отборов в узлах, что на практике может возникнуть при срабатывании автоматики после наполнения аккумулирующей емкости предприятия в связи с резким отключением пожарного расхода, сбоями автоматики и т.д. Результаты расчетов приведены на рис. 4.

Многие величины, участвующие в реализации метода характеристик, заданы приближенно. Это относится к

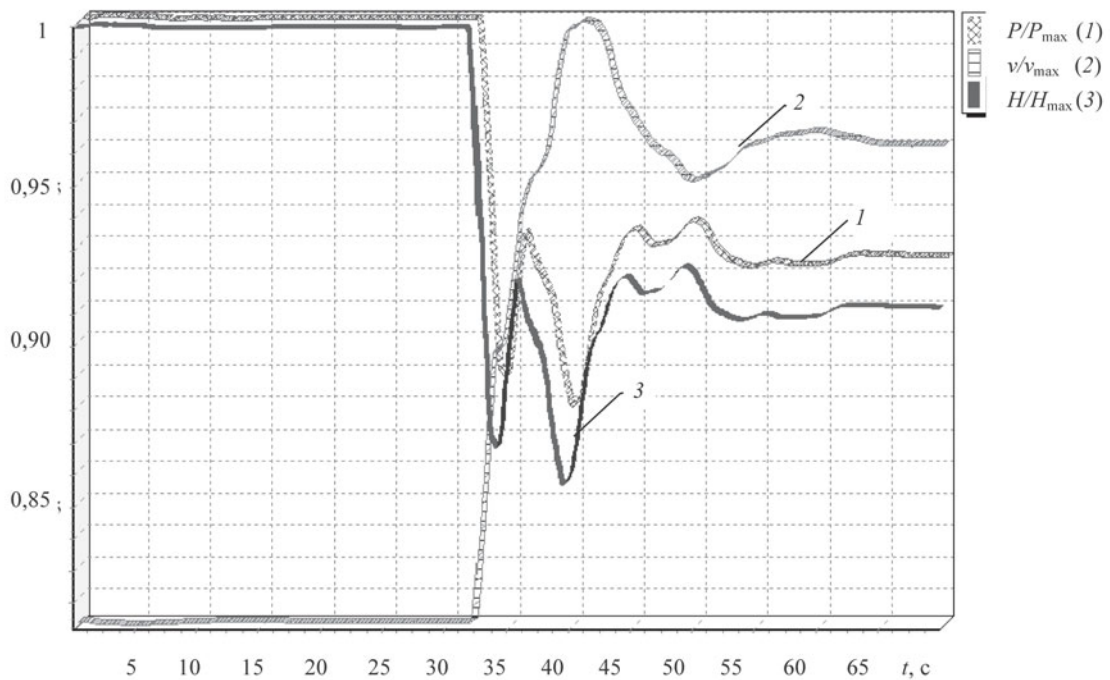


Рис. 3 Моделирование разрыва участка 3-4 за 1,5 с: Участок 17. Узел 12. $P_{абс\ max} = 630867$ Па, $v_{max} = 0,96$ м/с, $H_{изб\ max} = 54,31$ м

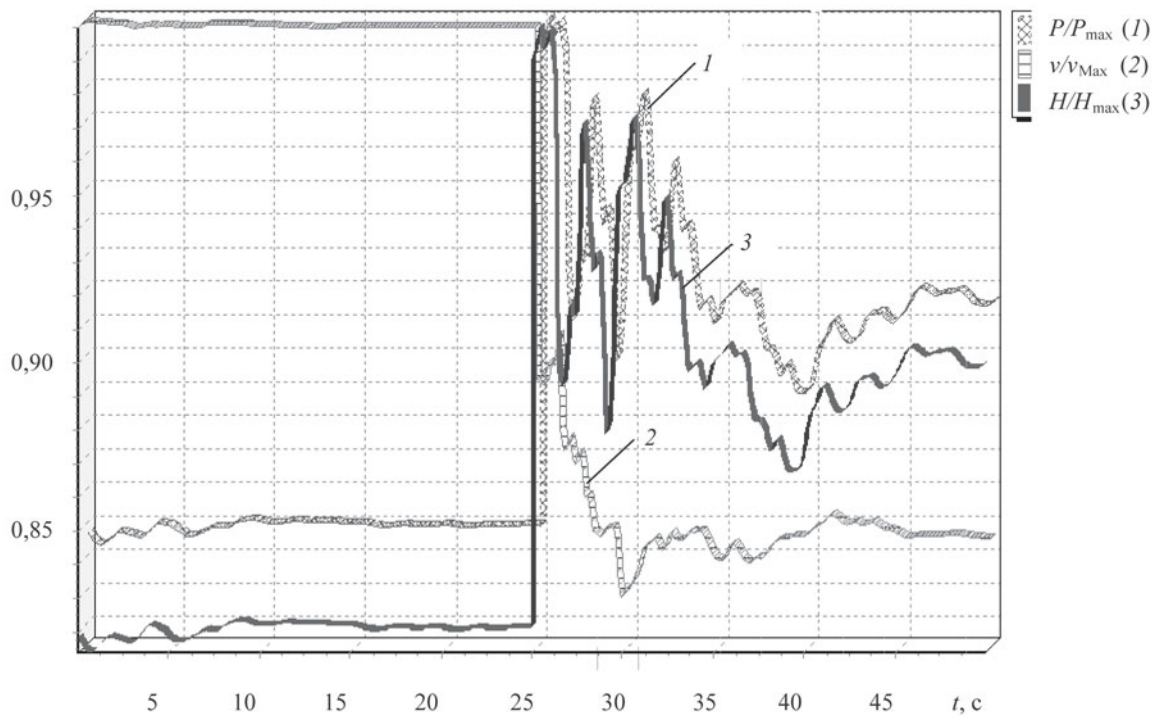


Рис. 4. Аварийное отключение расхода узла 12 за 1 с: Участок 5. Узел 3. $P_{абс\ max} = 655213$ Па, $v_{max} = 1,16$ м/с, $H_{изб\ max} = 56,79$ м

значениям узловых расходов и скоростей звука в участках сети, характеристикам запорно-регулирующей и предохранительной арматуры, уровням воды в баках и резервуарах, утечкам из сети, диаграммам Сьютера [2] и т.д. В соответствии с принятым подходом перечисленные факторы неопределенности можно рассматривать как величины и

функции, принимающие значения из некоторых интервалов возможных изменений. Тогда результатом расчета должны явиться функции изменения напоров, скоростей, объемов разрывов сплошности и т.д. в выбранных точках в зависимости от времени t .

Фиксируя величину t , получаем функции отмеченных величин, дающие

представление о возможных интервалах их изменения и ожидаемости отдельных значений. Для этого требуется многократное проведение расчетов переходных процессов при различных сочетаниях параметров. Возникающие при этом трудности не носят принципиального характера, но расчеты становятся громоздкими, даже при современном уровне развития вычислительной техники.

Рассмотрим три из основных неопределенностей – интервальное задание узловых расходов, скоростей ударной волны в трубах и гидравлических сопротивлений. Остальные параметры СПРВ остаются постоянными в пределах всей серии расчетов. В настоящее время проведение расчетов для сокращенного метода, последовательно продвигаясь от минимальных к максимальным значениям параметров, вполне реально. В результате получается ряд функций изменения контролируемых величин (например, давлений) во времени, каждая из которых отвечает заданному набору изменяемых величин.

Полученная совокупность несет больше информации, чем одиночный рас-

чет при точечном задании параметров.

При любом исходе практический интерес представляет рассмотрение верхних и нижних границ изменения контролируемых величин во времени, образующих интервалы возможных решений и позволяющих более обоснованно выбирать средства защиты от гидравлических ударов (рис. 5).

Рельеф местности объекта водоснабжения характеризуется относительно малыми перепадами высот, что исключает опасность значительного повышения давления при авариях на насосной станции. Вместе с тем, существует режим, который может стать причиной аварии на трубопроводе, – это кратковременное отключение электроэнергии. Такой режим связан с обнулением момента двигателя, уменьшением частоты вращения насоса с последующим ее восстановлением в соответствии с уравнением вращательного движения ротора и механической характеристикой электродвигателя.

Расчет с выделением разрывов сплошности приведен на рис. 6.

Параметры переходного процесса существенно зависят от принятых граничных условий, задание которых

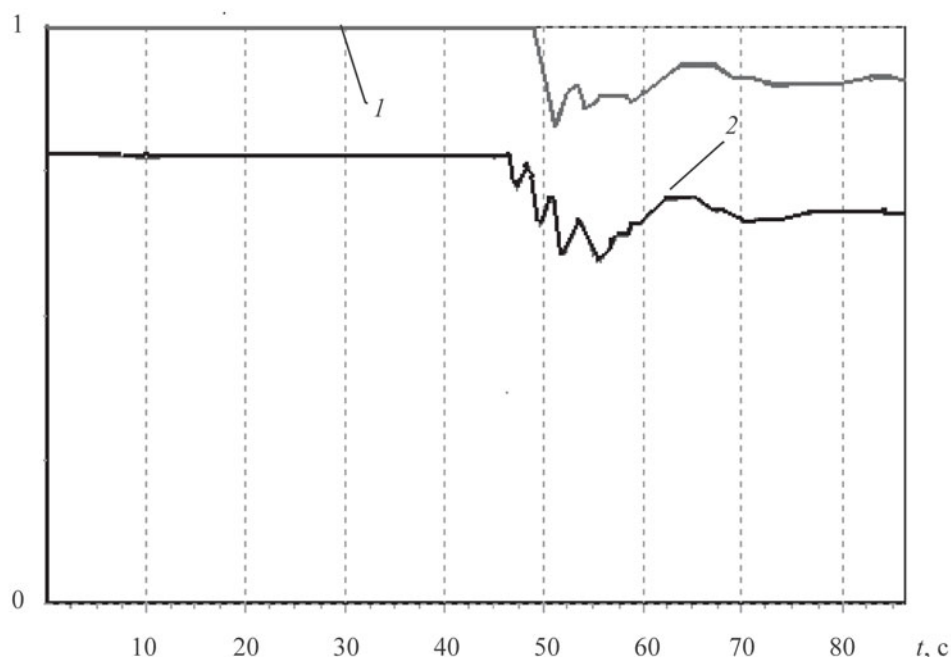


Рис. 5. Разрыв участка 7 (давления) при одновременном изменении параметров (скоростей звука, узловых расходов и гидравлических сопротивлений): Участок 10. Узел 6. $P_{\max} = 5,47 \text{ атм}$; 1 – минимальное давление, 2 – максимальное давление

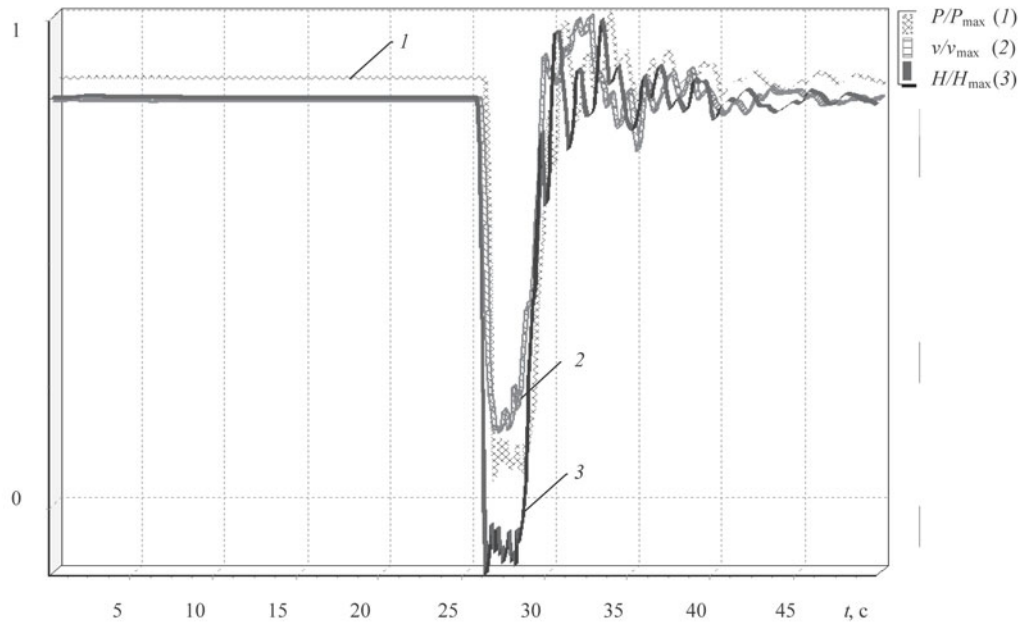


Рис. 6. Отключение насоса на 2 с, параметры в центре сети (с выделением разрывов сплошности): Участок 12. Узел 29. $P_{абс\ max} = 630780$ Па; $v_{\ max} = 0,96$ м/с, $H_{изб\ max} = 54,3$ м

в случае кольцевых сетей вызывает определенные трудности, особенно в узлах сети, имитирующих отбор воды потребителями. При этом надо иметь в виду, что для слива воды из стояков требуется определенное время.

Рассмотренные условия могут дополняться множеством других, все более приближенных к реальному процессу. При этом единственным критерием истинности будет проведение натурного эксперимента на действующих сетях. Примеры таких экспериментов на насосных станциях приведены в работах [3, 4]. Однако в настоящее время проведение исследований на действующих сетях представляется весьма проблематичным.

Выводы

Моделирование переходных процессов в кольцевых водопроводных сетях является актуальной, но малоизученной проблемой.

Основной неопределенностью при интегрировании дифференциальных уравнений переходных процессов в кольцевых сетях является задание граничных условий в узлах сети.

1. Карамбиров С. Н. Математическое моделирование систем подачи и распределения воды в условиях многорежимности и неопределенности : монография. – М.: ГОУ ВПО МГУП, 2004. – 197 с.

2. Фокс Д. А. Гидравлический анализ неустановившегося течения в трубопроводах; пер. с англ. – М : Энергоиздат, 1981. – 248 с.

3. Бегляров Д. С., Карамбиров С. Н., Апресян Д. Ш., Лиханов Д. М. Экспериментальные исследования переходных процессов, возникающих при пуске и отключении насосного агрегата на насосной станции // Природообустройство. – 2009. – № 3. – С. 74–78.

4. Карамбиров С. Н., Бегляров Д. С., Апресян Д. Ш., Лиханов Д. М. Экспериментальные исследования переходных процессов, возникающих при отключении основных агрегатов на насосной станции второго подъема в водопроводной системе города Кингисеппа // Природообустройство. – 2008. – № 4. – С. 37–40.

Материал поступил в редакцию 15.04.10.

Карамбиров Сергей Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Вычислительная техника и прикладная математика»

Тел. 8 (499) 153-97-66

Лиханов Дмитрий Михайлович, ассистент кафедры «Водоснабжение»

Тел. 8-905-217-22-70