

СИСТЕМОТЕХНИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ КОММУНАЛЬНОГО ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

© 2013 г. С.Л. Василенко

Коммунальное предприятие «Харьковводоканал», г. Харьков, Украина

Ключевые слова: водоснабжение, экологическая безопасность, системотехника, городское водное хозяйство.

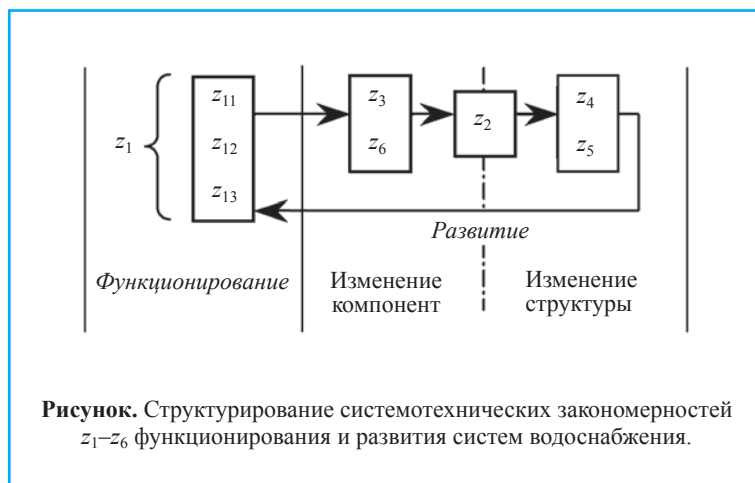


С.Л. Василенко

В структурированном виде изложены системотехнические закономерности функционирования и развития централизованного водоснабжения больших городов, позволяющие определить стратегию организации научных разработок и модернизации инженерных инфраструктур в коммунальном водном хозяйстве. Данный подход применен для обоснования приоритетных направлений при разработке и внедрении технических решений по обеспечению экологической безопасности систем питьевого водоснабжения.

В монографиях [1, 2] разработаны теоретические основы экологической безопасности систем питьевого водоснабжения как нового научного направления в области экологической безопасности городских агломераций. Они базируются на формировании механизмов управления устойчивым функционированием и сбалансированным (воспроизводящим) развитием этих систем в условиях проявления неблагоприятных природно-техногенных явлений с одновременным уменьшением рисков вредного воздействия водоснабжающих предприятий на человека и окружающую природную среду. Дальнейшее развитие этого направления видится в систематизации и структурировании основных закономерностей совершенствования централизованного водоснабжения.

Объектом настоящего исследования являются процессы, связанные с устойчивым функционированием и сбалансированным развитием систем водоснабжения. Как техническим комплексам, им свойственны общие закономерности совершенствования инженерных инфраструктур, поэтому они должны подчиняться общим правилам функционирования и развития сложных технических систем.



В качестве таковых возьмем за основу и трансформируем сквозь призму водных отношений концептуальные подходы Г. Альтшуллера [3], на которых базируются главные теоретико-практические механизмы решения изобретательских задач, с учетом отдельных описаний Ю. Саламатова [4]. Применительно к системам водоснабжения (СВ) сформулируем их в соответствии с выбранным объектом исследований, выполнив дополнительное структурирование системотехнических закономерностей (рисунок).

Функционирование систем водоснабжения

(z_1) Необходимым условием принципиальной жизнеспособности СВ являются:

- наличие и минимальная работоспособность основных частей системы (закономерность полноты z_{11} – system completeness);
- сквозной непрерывный проход энергии (воды) по всем частям системы (закономерность «энергетической проводимости» системы z_{12} – energy conductivity);
- согласование периодичности работы для всех частей системы (закономерность согласования ритмики частей системы z_{13} – coordination of rhythms).

В своей совокупности эти закономерности характеризуют взаимодействие составных элементов как способ сохранения целостности и развития системных образований. Кажущаяся простота и некая безусловность данных положений далеко не очевидны, что можно продемонстрировать на ряде примеров.

Так, в тупиковых линиях водопровода нарушается энергетическая проводимость системы. В результате возникают застойные зоны и проблемы с поддержанием качества воды на нормативном уровне. Они устраняются кольцеванием и/или промывкой тупиковых сетей, осуществляемым по установленному графику.

Для повышения надежности в системе имеет место дублирование: резервные насосы и скважины, кольцевые сети, емкости для хранения воды и т. п. Но в структурно-технологическом плане сохраняется последовательная цепочка: от водозабора до крана потребителя. Даже временное отсутствие синхронности или рассогласование работы отдельных звеньев в водопроводных системах представляет определенную угрозу для сохранения их устойчивости.

С уменьшением водопотребления растут избыточные напоры воды. Это приводит к возникновению аварий и повреждений на водопроводных сетях, нарушению водоснабжения домов и микрорайонов, т. е. к фактической потере работоспособности системы на локальных уровнях и невыполнению основных функций. Регулирование напора воды затворами или задвижками не является оптимальным по затратам энергии, существенно снижает коэффициент полезного действия системы и обуславливает необходимость внедрения частотных приводов на насосных агрегатах.

Сформулированные условия принципиальной жизнеспособности СВ соответствуют одному из положений безопасности водоснабжения – *принципу эволюции* [2] в его широком смысле как совокупности процессов изменения и развития.

Постоянная модернизация сооружений – многоэтапный эволюционный процесс, требующий привлечения значительных финансовых и материальных ресурсов. Объем вкладываемых средств пропорционален масштабам преобразований. Обновление происходит в области внедрения эффективных технологий очистки и кондиционирования воды, санации и перекладки водопроводных сетей. Одновременно расширяется перечень нормативных показателей для контроля качества воды. Интенсификация этих процессов в разные периоды может быть различной. Прекращение или запаздывание их реализации неизбежно продуцируют стагнацию системы централизованного водоснабжения. Для стагнации характерны прекращение прогрессирующего развития системы, снижение устойчивости и, в конечном счете, ее деградация.

Другой аспект касается самой сути устойчивого функционирования и сбалансированного развития коммунального водного хозяйства. Сложившееся кризисное состояние в сфере питьевого водоснабжения – свершившийся факт.

Преобразования последних лет можно пока характеризовать только в структурных изменениях. Под новой вывеской часто скрывается то же архаичное содержание (совокупность внутренних элементов) и форма (внешние отношения) со всеми их проблемами, накопившимися за долгие годы невнимания к отрасли со стороны властных структур.

Следствие 1. Системе централизованного водоснабжения должна соответствовать адекватная система водоотведения и очистки коммунальной сточной воды.

Следствие 2. При аварийном нарушении функционирования системы водоотведения подача воды в системе централизованного водоснабжения максимально сокращается с полным отключением локальных участков распределения воды и мобилизацией ресурсов нецентрализованных форм водоснабжения.

Развитие систем водоснабжения

(z₂) Закономерность увеличения степени идеальности системы (*increasing degree of system ideality*): совершенствование СВ идет в направлении увеличения степени своей идеальности, пока не достигнет целесообразного предела. Масса, габариты, энергоемкость *идеальной системы* стремятся к минимуму, но ее способность выполнять работу при этом не уменьшается. В пределе оптимальной структурой будет та, которой практически как бы и нет, но поставленные перед ней задачи сохраняются и решаются.

Это не гиперболизация предметной области. В таком направлении весьма успешно развивается компьютерная техника, связь и др. Подобные принципы заложены в самой природе и зримо проявляются в геометрии фракталов, в которых части-элементы общей структуры в каком-то смысле подобны целому. За идеализированную исчезающую систему некоторые действия должны осуществлять другие конструкции или подсистемы. Отдельные элементы преобразуются так, чтобы реализовывать дополнительные функции «растворяющейся» системы.

Разумеется, закон идеальности следует понимать не буквально. Но как превалирующую стратегическую задачу – концепцию развития. На практике наряду с этим действует правило оптимальных геометрических размеров. Объемные характеристики взаимосвязанных компонентов соответствуют их функциям в характерные для системы пространственно-временные интервалы. Увеличение или уменьшение подсистем лимитировано.

По отношению к централизованному питьевому водоснабжению увеличение степени идеальности можно рассматривать по следующим составляющим.

1. Процент нестандартных проб питьевой воды $\rightarrow 0$.
2. Непроизводительные расходы и утечки воды $\rightarrow 0$.
3. Избыточные свободные напоры воды в сети $\rightarrow 0$.
4. Жалобы потребителей на некачественные услуги водоснабжения $\rightarrow 0$.
5. Аварии и повреждения на трубопроводах $\rightarrow 0$.
6. Подача воды головными сооружениями $\rightarrow \min$ (из возможных значений).
7. Удельный расход электроэнергии на 1 м³ поданной воды $\rightarrow \min$.
8. Эксплуатационные затраты на 1 м³ воды $\rightarrow \min$.
9. Численность эксплуатационного персонала $\rightarrow \min$.
10. Качество воды – минимально необходимое.
11. «КПД воды» (качество–подача–давление) $\rightarrow \text{opt}$.
12. Тариф на холодную воду (с учетом составляющей на дальнейшее развитие системы и повышение степени идеальности) $\rightarrow \text{opt}$.

Закон идеальности согласуется с одним из основных положений экологической безопасности водоснабжения – *принципом прагматичного минимума* [2] и представляется эффективным инструментом для определения стратегии развития водоснабжения. Например, восстановление и реконструкция сетевого хозяйства или в целом подсистемы подачи и распределения воды не вызывают ни у кого особого возражения. Они одновременно решают многие насущные проблемы: снижение потерь воды, сохранение целостности инженерной инфраструктуры, уменьшение подтопления в городах и т. д. Но внедрение многоступенчатой очистки, дорогих суперсовременных технологий с доведением качества воды до уровня «несравненно-восхитительного» в количестве нынешнего уровня потребления противоречит экономическим законам целесообразности. Видимо, поэтому мы не можем гармонизировать количество и качество воды. Очевидно, чем-то придется пожертвовать. Тезис «больше хорошей воды» сегодня устарел не только в экономическом, но и в социально-экологическом плане.

Профессор В.Н. Исаев отмечает [5], что в новых социально-экологических условиях в связи с ухудшением состояния водных источников, повышением требований к качеству питьевой воды и восстановлению здоровья населения понятие «конечного результата» для систем водоснабжения должно быть пересмотрено и изменено.

В течение многих лет доминирующим результативным показателем считалось бесперебойное водоснабжение населения и предприятий в условиях изобилия водных ресурсов. Увеличение суточного водопотребления рассматривалось как улучшение благосостояния народа. На современном этапе конечным результатом должен быть не только стабильный режим водоснабжения потребителей, не менее важным становится рациональное потребление при минимальных потерях жизненно важного ресурса – питье-

вой воды. Если раньше главным являлось наращивание мощности и увеличение подачи воды, сегодня приоритеты должны быть отданы минимизации эксплуатационных затрат, потерь воды при транспортировке и др.

Одновременно расширяется сфера децентрализованного водоснабжения, степень значимости которого определяют результаты его использования. Причем внешняя форма такой системы не имеет существенного значения, какой бы необычной она ни казалась, важна ее практическая польза. Любая умозрительная структура уже функциональна, если она подтверждается результативной деятельностью. Так и прагматичная система, дающая полезный социально-экономический эффект, не обязательно нуждается в строгой теории.

Изменение системных компонент

(z₃) Закономерность неравномерности изменения частей системы (*non-uniform evolution of sub-systems*): элементы СВ изменяются неравномерно: чем сложнее система, тем более неритмичным становится изменение ее составных частей.

Американский физик Л. Онсагер в 1931 г. сформулировал принцип термодинамики неравновесных процессов, установив линейную связь между интенсивностью взаимно перекрестных процессов переноса теплоты, массы, количества движения, концентраций компонентов, химических потенциалов и т. д. Из данного положения следует, что движущей силой всякого процесса является возникновение в нем неоднородностей.

Производственные комплексы водоснабжения в этом смысле следует отнести к неравновесным термодинамическим системам, в процессе совершенствования которых всегда имеются неравномерно развитые части. Если мысленно отвлечься от постоянного перемещения воды в трубопроводах и анализировать только динамику изменения технического состояния системы или ее составных элементов, то в условиях отсутствия процессов модернизации она может рассматриваться как замкнутая. В замкнутой динамической системе энтропия не убывает. Значит, организованные системы, в которых происходят необратимые процессы, должны стремиться к наиболее вероятным состояниям, а именно – деструкции имеющегося порядка и распаду.

«Из второго начала термодинамики следует, что при увеличении степени организованности материи в одном месте тут же возрастает степень дезорганизованности (энтропии) в других местах» [4]. Каждое прогрессивное изменение вызывает где-то и регрессивное. Усиление и преобладание целостности так или иначе сопровождается разрушением или ухудшением состояния находящихся рядом сопряженных подсистем.

Руководствуясь правилами структурной асимметрии А. Богданова [6], в системах водоснабжения можно выделить:

- сравнительно высокоорганизованные консервативные элементы – водозаборы, очистные сооружения, головные насосные станции;
- менее структурированные инертные составляющие – магистральные линии водопровода, водоводы, насосные станции подкачки;
- более пластичные и быстро развивающиеся – водопроводные сети, вводы трубопроводов в здания (абонентские подключения).

Различия темпов развития разных частей ведут к росту противоречий и системным кризисам целых отраслей. Последние возникают как результат накопления противоречий в ходе обновления и поступательного движения вперед. «Равновесие есть частный случай кризиса» [6]. В таком контексте *планы экстенсивного развития* систем питьевого водоснабжения с наращиванием мощностей, строительством новых грандиозных гидротехнических сооружений и т. п. проблем не решают. Более важным сегодня становится обновление сосредоточенных систем и развитие децентрализованной «питьевой сферы» услуг. Так, старые водопроводные сети не справляются со своей задачей не только из-за выросшего спроса на воду, но и в результате ее огромных потерь, связанных с физическим износом трубопроводов. Почти треть товарной воды не доходит до потребителей – это большая проблема не только Украины, но и многих других стран. Поэтому, исходя из закона неравномерности развития, следует выбирать приоритетные направления общего совершенствования централизованного водоснабжения.

На первом этапе важнейшей задачей становится восстановление его «кровеносной системы» – замена и санация аварийных и технически изношенных трубопроводов.

(z₆) Закономерность перехода с макро- на микроуровень (*transition to micro-level*): совершенствование СВ идет одновременно на макро- и микроуровне с периодическим смещением акцентов, но с общей тенденцией повышения организованности на более нижних системных подуровнях.

Возможности *экстенсивного* развития технической системы и увеличение ее главной полезной функции за счет изменений на макроуровне быстро исчерпываются, поскольку чисто количественная эскалация ограничивается физическими пределами и экономическими законами. Экстенсивное (лат. *extensivus* – расширяющее, удлиняющее) – увеличение и расширение, связанное с простым (поверхностным) количественным изменением или распространением без обретения нового качества. А значит, переход на микроуровень неизбежен. При этом в действие приводятся глубинные пласты системы, высвобождаются дополнительные резервы энергии, выявля-

ются и используются новые свойства, в том числе вещества, материи и т. п. Это наиболее правильный путь. *Интенсивное* развитие системы связано, прежде всего, с повышением организованности все более низких ее подуровней, с глубокими качественными изменениями и прогрессивным ростом. Например, за счет научно-технического прогресса.

Одним из таких нижних уровней в системе водоснабжения представляется обычный водопроводный кран. Но не столько как техническое устройство для регулирования расхода воды, сколько как завершающий системный элемент массового применения. Именно отсюда начинается реальная экономия товарной воды. Именно здесь следует искать начало решения вопросов дальнейшего совершенствования систем водоснабжения.

Подходы на нижних уровнях системы достаточно общеизвестны:

- внедрение нового санитарно-технического оборудования в жилищном секторе;
- повсеместная экономия воды;
- использование долговечных труб из современных коррозионно-стойких материалов;
- полное прекращение использования питьевой воды на технические и производственные нужды в промышленном секторе экономики, на полив зеленых насаждений, мойку машин и т. п.

Безусловно, чем-то принципиально новым это не является. Речь больше идет о культуре водопользования и смещении акцентов: от декларативных обращений к реальному менеджменту в данной сфере с определением конкретных целевых показателей, реализацией практических мер и контролем их исполнения.

Специфика ситуации заключается в том, что коммунальное водохозяйственное предприятие не заинтересовано в экономии воды потребителями по той простой причине, что это негативно отражается на его финансовых показателях. Чем больше потребление воды, тем больше доходы. Чем ниже реализация воды, тем значительнее удельный вес условно-постоянной части расходов в одном кубическом метре питьевой воды. Как следствие – увеличение тарифа, рост социальной напряженности, неплатежи и т. п. Экономить воду должен, прежде всего, потребитель, поставщик в условиях рынка всегда будет стремиться к росту подачи-продажи воды.

Изменение структуры системы при ее развитии

(z_4) Закономерность увеличения степени динамичности (*increasing degree of system dynamism*): для повышения эффективности СВ должны быть динамичными и переходить к более гибкой, быстро меняющейся структуре и к режиму работы, подстраивающемуся под изменения внешней среды.

В основе вариабельности динамичности лежат фундаментальные принципы организации природных процессов. Так, согласно принципу Ле Шателье, если на систему, находящуюся в равновесии, воздействовать извне, изменяя какое-нибудь из условий (температура, давление, концентрация), то равновесие смещается таким образом, чтобы уменьшить изменение. Система перестраивается, «уходит» от негативного влияния внешних факторов и повышает свою живучесть, приспосабливается к существующим условиям и постоянно возрастающим потребностям общества.

Упомянутому выше принципу Онсагера соответствует общий эмпирический принцип *минимума диссипации* или экономии энергии. Из множества состояний системы, равно соответствующих фундаментальным законам природы, реализуется такое, при котором обеспечивается минимальное рассеивание энергии системы или рост энтропии. Следовательно, осуществляется и сохраняет наибольшие шансы на стабильность и последующее развитие такой тип организации материальной системы, который позволит не растрчивать внешнюю энергию, а использовать ее наиболее эффективно. Например, за счет рационального использования рельефа местности и свободных гравитационных напоров воды в процессе ее подачи и распределения.

Для системы централизованного водоснабжения основным исходным продуктом является собственно вода и затрачиваемая на ее движение электроэнергия. Существенное изменение претерпел и продолжает трансформироваться другой важный фактор внешней среды – санитарно-экологическое состояние водных источников.

Из названных принципов следует, что в существующем виде коммунальные системы водоснабжения городов с их колоссальными потерями воды (энергии) и неспособностью адекватного реагирования на изменения внешней среды шансов на стабильность и сбалансированное развитие не имеют. Иначе говоря, система водоснабжения должна быть экономичной, динамичной, иметь возможность быстро переходить к более гибкой структуре и технологической схеме водоподготовки.

Так, при наличии реальных угроз появления в источниках водоснабжения, например, патогенных микроорганизмов, должны быть предусмотрены различные дополнительные меры по снижению их концентрации. Для удаления нефтепродуктов и диоксинов необходимо применять сорбционные фильтры; тяжелых металлов – аэрацию и озонирование; органических комплексов металлов – углевание перед фильтрами [7] и т. п.

(z₅) Закономерность перехода в «надсистему» (*transition to a higher-level system*): развитие СВ, достигшей своего предельного фазиса (стадии, состояния) организации, может быть продолжено на уровне «надсистемы». Этот процесс начинается с водозаборов и в общесистемном плане подразумевает развитие функционирующей макросистемы на

внешнесистемном уровне, когда сфера интересов распространяется на водосборную территорию водных источников.

Ян Смэтс утверждал [8]: «Всем вещам присуще самопроизвольное нарушение своих собственных структурных рамок, а значит, существует тенденция к преодолению ими своих границ» и переходу на следующую ступень развития или уровень надсистемы. При формировании более сложного образования составляющие элементы входят в новую структуру в качестве подсистем.

Уровень надсистемы централизованного водоснабжения начинается с водозаборов – гидротехнических сооружений для изъятия воды из водного объекта с применением технических средств. Среди различных типов и устройств водозаборов достаточно хорошо зарекомендовали себя на практике:

– многоярусные водозаборные сооружения, с помощью которых забирают воду с нескольких уровней в зависимости от ее высотной отметки в водохранилище или водотоке и качества на разных глубинах, например, отдельно стоящие водозаборы башенного типа с многоярусным расположением водоприемных окон или отверстий;

– инфильтрационные береговые водозаборы с устройством фильтрующих водоприемников в толще аллювиальных отложений, которые менее других подвержены воздействию шуги, обладают хорошими рыбозаградительными свойствами и обеспечивают повышение качества воды при ее отборе, в т. ч. по органическим загрязнениям, путем фильтрования через естественные барьеры.

Метод улучшения состава и свойств исходной воды путем береговой инфильтрации известен давно. Он является по существу первой производственной технологией очистки природных вод для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения. Применяемые водозаборы инфильтрационного типа получили развитие за счет включения в их состав открытых водоприемников и подачи речной воды в пойменные очистные устройства: фильтрующие площадки, бассейны или каналы.

В рамках рассматриваемой темы важен момент, связанный с совершенствованием действующих водозаборов вследствие обострения ситуации с качеством исходной воды. *В общесистемном плане это означает развитие функционирующей макросистемы на уровне надсистемы.*

В качестве примеров можно привести модернизацию сооружений питьевого водоснабжения г. Харькова. Существующий водозабор из Краснопавловского водохранилища был реконструирован на многоярусный вариант селективного забора воды с нескольких высотных отметок в зависимости от ее состава и свойств на различных глубинах водоема. На другом источнике водоснабжения из р. Северский Донец ведутся подобные проектные работы, но уже по устройству инфильтрационного водозабора. Для харьковского

водопровода такие преобразования, по сути, являются выходом на новую системно-иерархическую ступеньку с привязкой к водным объектам.

В целом, применение закона перехода системы на уровень надсистемы носит многоплановый характер и в природоохранном аспекте представляет собой реализацию практических мер по экологической безопасности источников водоснабжения:

- улучшение состояния зон санитарной охраны, обеспечение противоэпидемической безопасности;
- достижение экологических нормативов качества вод для водных объектов с доведением категорий до 1 – «очень чистая» и 2 – «чистая»;
- превентивность мер по предупреждению чрезвычайных ситуаций техногенного характера, влияющих на состояние вод в местах их централизованного отбора;
- вынесение на местность водоохраных зон водных объектов и соблюдение режимов их использования;
- внедрение интегрированного управления водными ресурсами и бассейнового подхода с одновременным обеспечением приоритетности питьевого водоснабжения;
- повышение эксплуатационной надежности источников путем их резервирования на базе подземных вод и др.

Выводы

Исходя из законов развития технических систем, установлены научно-методологические предпосылки и сформулированы системотехнические закономерности эксплуатации водоснабжающих комплексов как крупных и сложных городских инфраструктур. Они развивают известные экологические закономерности и формируют организацию научной практики и технической реализации экологически безопасного водоснабжения. Закономерности структурированы, включая вопросы устойчивого функционирования и сбалансированного развития в части изменения отдельных компонент и системы в целом. Изложенный подход можно использовать для методологического обоснования стратегии в обеспечении экологической безопасности систем водоснабжения, разработки и выбора приоритетных направлений по внедрению технических решений.

Сформулированные положения не претендуют на окончательный и абсолютный статус. Они дают общую теоретически обоснованную направленность совершенствования и развития систем питьевого водоснабжения в современных условиях. Составляют научную базу для разработки и реализации организационно-технических мер по повышению надежности и безопасности водоснабжения городов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Василенко С.Л.* Законы водоснабжения. Харьков: Райдер, 2006. 80 с.
2. *Василенко С.Л.* Экологическая безопасность водоснабжения. Харьков: Райдер, 2006. 320 с.
3. *Альтиуллер Г.С.* Найти идею: введение в ТРИЗ – теорию решения изобретательских задач. 6-е изд. М.: Альпина Паблишерз, 2013. 401 с.
4. *Саламатов Ю.П.* Основы теории развития технических систем. 2-е изд., испр. и доп. Красноярск. 1996. Режим доступа: <http://www.trizminsk.org/e/21101000.htm#toc>.
5. *Исаев В.Н.* К вопросу об управлении системами водоснабжения // Сантехника. 2004. № 3. С. 2–5.
6. *Богданов А.А.* Тектология. Всеобщая организация науки. М.: Экономика, 1989. Т. 1. 304 с.
7. *Долгонос Б.М.* Проблемы качества воды в природно-технологическом комплексе водоснабжения // Инженерная экология. 2003. № 5. С. 2–13.
8. *Smuts J.* Holism and Evolution. 2-nd ed. L., 1927.

Сведения об авторе:

Василенко Сергей Леонидович, к. т. н., главный гидролог, Коммунальное предприятие «Харьковводоканал», 61013, Украина, г. Харьков, ул. Шевченко, 2; e-mail: texvater@rambler.ru