

## УСТОЙЧИВОСТЬ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Устойчивость как фундаментальное научное понятие характеризует одну из важнейших черт поведения различных систем в технике, экономике, биологии, физике и применяется для описания стабильности каких-либо свойств изучаемых структур или их относительной неизменности: постоянство состояний системы или некоторой последовательности ее состояний [1].

Обычно устойчивость систем трактуется в двух взаимосвязанных аспектах:

способность нормально функционировать и противостоять различным воздействиям (возмущениям) внешней среды;

свойство системы возвращаться к исходному состоянию после прекращения воздействия, которое вывело ее из этого состояния (<http://www.glossary.ru>).

Надежное функционирование систем питьевого водоснабжения является неотъемлемым элементом национальной безопасности страны, среди угроз которой можно выделить опасность физическому здоровью нации, вызванную дестабилизацией по водному фактору. Поведение таких систем характеризуется открытостью, изменчивостью, стохастичностью и, в какой-то мере, неопределенностью.

Стабильность централизованного водоснабжения во многих научных исследованиях и на практике рассматривается как отсутствие перебоев в подаче воды абонентам и сводится к сохранению и обеспечению эксплуатационного уровня количественных параметров на сооружениях подачи и распределения воды по давлению и расходу [2–4]. Так, в работе [2] предложен унифицированный комплексный подход к оценке работы объектов водоснабжения и предложена процедура вычисления минимально-допустимых значений параметров надежности при снижении потребителю подачи воды и напора по сравнению с их расчетными значениями. Предлагаются принципы устойчивой и надежной работы сооружений при реконструкции объектов систем водоснабжения [3] или в условиях сокращения водопотребления [4].

Тем не менее, полное описание понятия устойчивости водоснабжения на сегодня остается открытой проблематикой, включая точную терминологию и возможность ее однозначной идентификации в рамках системы ИСО 704:2000 [5]. Тогда станет понятной алогичность введения необоснованных фразеологических оборотов типа "устойчивого развития водоснабжения" [6], построенных на смешении разных представлений.

Цель работы заключается в применении системного подхода для раскрытия содержания устойчивости водоснабжения и его интегрированного представления.

Строгое определение основных понятий теории устойчивости, получивших широкую известность, было введено русским ученым А. Ляпуновым в прошлом веке. В соответствии с его трактовкой траектория движения (развития) называется устойчивой, если для малого предельного отклонения, определяющего коридор константности, можно указать такие ограничения для возмущений, при которых система не выйдет из данной зоны. Нестабильность по Ляпунову рассматривается по отношению к возмущениям начальных данных движения, когда малые исходные различия увеличиваются и приводят в ходе развертывания процесса к сколь угодно большим расхождениям. Очевидно, чем сильнее влияние факторов, тем в меньшей степени удастся сохранить желаемые признаки.

Говоря об устойчивости, необходимо четко определиться, постоянство каких свойств системы существенно и в какой мере. Следует также охарактеризовать внешние факторы, относительно которых система будет считаться неизменной. Очевидно, чем больше воздействие, тем в меньшей степени мы сможем сохранить желаемые признаки.

Особого внимания требует область допустимых возмущений. Например, если мы вынуждены защищать целостный комплекс водоснабжения не только от аварий на трубопроводах или экологических катаклизмов на водных источниках, но и терроризма, то это коренным образом меняет диапазон наших возможностей.

Можно привести и другие примеры потери устойчивости:

*незначительное повышение давления в водопроводной сети* приводит к многочисленным повреждениям и авариям на локальных участках;

*несущественное увеличение мутности исходной воды* (паводковый период, фитопланктонное цветение) вне "проектной зоны" очистных сооружений вызывает нарушение технологического процесса ее очистки и инициирует перевод водоснабжения на график.

Рассмотрим, например, давление воды, точнее – его отсутствие на вводе потребителя. Один дом (потребитель) без воды – это много или мало? А два таких дома – система еще устойчива? И вообще, сколько должно быть потребителей без воды, чтобы считать: система водоснабжения потеряла устойчивость.

Это характерный пример теории неявных множеств, в основе которой лежит знаменитый софизм: если к горсти зерна добавить еще одно зернышко, превратится ли она в кучу? А если добавить два зерна? А сколько зерен превратят горсть в кучу? Это "сколько" – типичный представитель "пушистого множества" (fuzzy set), к которому трудно приложить обычную алгебру чисел и вычислительную технику. На русский язык "fuzzy" переводили как нечеткий, размытый, расплывчатый, и даже как пушистый и туманный [7]. Для решения подобных задач американским ученым Лотфи Заде в 1965 г. предложен теоретический аппарат нечеткой логики.

Или пусть управление осуществляется в условиях дефицита целевого продукта, и вода подается по фиксированному во времени графику, который четко выдерживается. Можно ли в этом случае считать водоснабжение относительно устойчивым?

По-видимому, да. Поскольку общие договоренности в целом соблюдаются.

Под системой обычно понимается объект, который можно определенным образом разделить на взаимодействующие и взаимосвязанные между собой подсистемы [8]. Собственно системой обычно называется некоторая целостность и совокупность элементов, находящихся в определенных отношениях друг с другом и со средой.

*Целостность* – системное качество организованных материальных объектов, выражающее их унитарную природу, нерасчлененность и континуальность (непрерывное многообразие) [8]. К ним можно отнести также управляемость и способность проводить энергию (воду) к каждому составному элементу, то есть предполагается непрерывность структурных внутренних связей. При анализе устойчивости водоснабжения системный характер состоит в смещении акцента с отдельных элементов системы на изучение их связей и отношений. Рассмотрение целостной структуры водоснабжения нацеливает на то, что теоретический анализ в принципе не может быть ограничен одним каким-то типом связей, например, движением воды в трубопроводах на основе законов Кирхгофа. В пределе он должен охватить всю топологическую совокупность элементов применительно к данной системе: от источника водоснабжения – до водо-разборного крана.

**Определение 1. Устойчивость системы питьевого водоснабжения** – способность системы сохранять свою целостность и режим функционирования, когда количество потребителей и время, в течение которого они не обеспечиваются водой нормативного качества в нужном количестве, не превышают заданной величины  $pT$ .

В идеальной абсолютно устойчивой системе  $pT = 0$ .

При определении временного интервала здесь необходимо учитывать важный признак: водоснабжение носит постоянно-действующий (непрерывный во времени) характер. Следовательно, "недодача" услуги в полном объеме не может затем компенсироваться за счет ее последующего более интенсивного представления в увеличенных объемах. Так, рассматривая бесперебойность водоснабжения, постановлением Кабинета Министров Украины от 21.07.05 г. № 630 установлен допустимый срок отклонения показателей: не более 6 часов в сутки при круглосуточном режиме или не более 30 % от общего времени подачи воды по утвержденному режиму (не более 2-х раз в месяц).

То есть устойчивость водоснабжения носит относительный характер. Абсолютной устойчивости в таких системах нет. Они имеют распределенную конфигурацию, поэтому во временном и пространственном отношениях практически повсеместно в отдельных местах условия локальной стабильности могут нарушаться.

За счет сквозного постоянного прохода энергии (воды) по всем элементам и составным частям водопроводный комплекс "дышит" и находится в непрерывной динамике. Согласно принципу динамического равновесия А. Богданова [9]: там, где наивному восприятию представляется одна устойчивость или неизменность, в действительности царит одно движение. Эти два потока противоположных изменений и создают иллюзию статичности. В соответствии с его же законом "относительных сопротивлений или наименее благоприятных условий" устойчивость системы определяется прочностью наиболее слабого ее элемента. Как в русской пословице: *где тонко – там и рвется*. Погрешности в работе городских водопроводов наиболее отчетливо проявляются и воспринимаются населением именно через порывы на ветхих водопроводных сетях.

**Определение 2. Надежность системы питьевого водоснабжения** – свойство системы обеспечивать бесперебойный режим подачи питьевой воды (с достаточным количеством и давлением) физическим и юридическим лицам в штатных условиях эксплуатации, – согласно установленным нормативам водопотребления и качества.

Надежность охватывает безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохранность. Показателями надежности могут быть вероятность безотказной работы, наработка на отказ, технический ресурс, срок службы и другие. По Богданову [9] *в искусственной системе все ее части должны быть одинаково надежны*, что в полной мере отвечает неписаному правилу Водоканалов: все потребители одинаково важны.

Заметим, что обеспечение устойчивости системы предусматривает снабжение водой нормативного качества даже в чрезвычайных условиях (стихийные бедствия, терроризм) с возможным переводом режима функционирования на ограниченную, в том числе и децентрализованную подачу воды. Это соответствует общему принципу Ле-Шателье-Брауна: при внешнем воздействии, выводящем систему из состояния устойчивого равновесия, равновесие смещается в том направлении, при котором эффект внешнего воздействия ослабляется. Например, проявление терроризма (как нового разрушающего вызова времени) может привести к выводу из строя сооружений кондиционирования воды или насосных станций, но его последствия будут нейтрализованы за счет включения резервных источников водоснабжения, привлечения пакетированной воды и т.п.

Требовать какой-то сверхнадежности от системы централизованного водоснабжения в подобных экстремальных условиях – по меньшей мере, некорректно.

С точки зрения математики устойчивым является объект, имеющий не меньше трех точек опоры. Таким системно образующим параметром проявления устойчивости в сфере водоснабжения представляется эффективность интегрированного "КПД воды" в виде трех основных критических характеристик для потребителей (*КПД воды – Качество, Подача, Давление* или условный коэффициент полезного действия внутрисистемной безопасности водоснабжения):

- К** 1. *Вода должна быть безопасной для использования* (нормативы качества).
- П** 2. *Количество (подача) воды обязано удовлетворять спросу* (нормы водопотребления на человека, технологические нормативы использования воды на водоподготовку и распределение).
- Д** 3. *Подача воды должна осуществляться под необходимым давлением* (технология подачи).

С повышением потребительских характеристик этих параметров "КПД воды" сначала растет, затем падает. Предумышленные или непреднамеренные действия на одну из названных трех сторон могут ослабить в целом всю инфраструктуру водоснабжения. Безусловно, что в отдельных регионах и обществе целом наибольший резонанс способна вызвать первая составляющая – безопасность качественных показателей воды. И особенно ее крайнее проявление – появление в воде высокотоксичных загрязняющих веществ в концентрациях, представляющих реальную угрозу здоровью людей.

Автор видит в этом показателе глубокое содержание. Он вполне пригоден при исследовании сооружений на уровне насосной станции, отдельного дома, микрорайона, города и даже интегрировано в масштабах государства. Приведя атрибутивные параметры качества, подачи и давления воды к безразмерным единицам с последующим их агрегированием (объединением, группировкой), можно сопоставлять водоснабжение разных регионов. "КПД воды" приемлем для использования составным элементом и в других обобщенных характеристиках, таких как комфортность проживания человека.

Разработка показателя "КПД воды" представляет самостоятельную задачу. Для получения его интегральной оценки можно задать соответствующие процедуры объединения и свертки (аддитивные, мультипликативные, обобщенно-аддитивные и др.) разнородных величин, с сохранением "похожести" на обычный коэффициент полезного действия.

Приведенные выше определения носят внутрисистемный характер.

*Развитие системы централизованного водоснабжения, достигшей своего предельного фазиса организации, может быть продолжено на уровне надсистемы, который начинается с водозаборных сооружений – гидротехнических сооружений для забора воды из водного объекта с применением технических средств. В общесистемном плане это означает развитие функционирующей макросистемы на внешнесистемном уровне, когда горизонты рассмотрения расширяются на водосборную территорию источников водоснабжения. Соответственно видоизменяется и представление об устойчивости системы.*

Но можно ли в этом случае говорить об устойчивом развитии водоснабжения?

В самом общем виде любое развитие – это единство процессов разрушения и созидания, которые приводят к появлению нового [8]. "Устойчивое развитие" означает, что, повышая свой жизненный уровень, мы должны беречь целостность биологической системы земли, "не подвергая риску способность окружающей среды поддерживать жизнь в будущем, и не ставя под угрозу возможности будущих поколений в удовлетво-

рении их потребностей" (конф. ООН по окружающей среде и развитию, Рио-де-Жанейро, 1992).

В тоже время русский академик Н. Моисеев характеризовал термин "устойчивое развитие", как неудачный и бессмысленный с научной точки зрения, объясняя некорректным переводом с английского языка "*sustainable development*" [10] (более точный перевод: поддерживающее, воспроизводящее или сбалансированное развитие). Он считал, что понятие о развитии – антипод представлениям об устойчивости и стабильности: "Устойчивого развития просто не может быть. Если есть развитие, то стабильности уже нет... По существу речь должна идти не об устойчивом развитии, а о *стратегии человечества* или совокупных действиях людей, способных до наступления экологической катастрофы обеспечить коэволюцию Человека и окружающей среды".

"Без неустойчивости динамических систем нет развития", – считает И. Пригожин.

То есть в нашем контексте следует говорить об обеспечении устойчивого функционирования систем водоснабжения и отдельно о модернизации и развитии.

Следуя Н. Моисееву [10] обратим также внимание на то, что применительно к питьевому водоснабжению понятие "устойчивого развития", которое буквально "прилипает" ко всему и вся без должного обоснования, – вдвойне некорректно. Во-первых, при постоянно-действующем (непрерывном во времени) круглосуточном режиме подачи воды любое вмешательство в систему, в том числе связанное с развитием, приводит к потере локальной устойчивости (перекладка сетей, подключение водопроводных вводов и т.п.). Во-вторых, модернизация сооружений или внедрение новых технологий – это не столько развитие, сколько воспроизводство действующей системы, которое в отдельных случаях может быть и расширенным, например, подсоединение к централизованному водоснабжению частного сектора.

Можно также условно считать, что развитие водоснабжения Украины в его истинном понимании как "появление или рождение нового" практически закончилось в прошлом веке. Сегодня на повестке дня – восстановление и обновление обветшавших основных фондов ("демортификация" по В. Петросову), на последующих этапах – непрерывное воспроизводство (возобновление) или сбалансированное (уравновешенное) развитие, обеспечивающее условия для устойчивого функционирования на участках экстраполяции.

**Заключение.** Устойчивость водоснабжения характеризуется способностью системы сохранять свою целостность и установленный режим деятельности с обеспечением оптимального общесистемного параметра "КПД воды" в виде триады Качество–Подача–Давление и четким определением количества потребителей и времени, в течение которого допускаются перебои в их снабжении питьевой водой. Развитие подобных систем, так или иначе, выступает фактором, нарушающим условия их устойчивого функционирования.

Дальнейшее исследование в этом направлении представляется в установлении расчетных соотношений для численной оценки агрегированного показателя "КПД воды".

#### Литература

1. Управление риском. Риск, устойчивое развитие, синергетика / В.А. Владимиров, Г.Г. Малинецкий, А.В. Подлазов и др. – М.: Наука, 2000. – 432 с.
2. Гальперин Е.М. Определение сниженных минимально-допустимых значений

параметров функционирования системы водоснабжения // Вода и экология: проблемы и решения. – 2003. – № 4. – С. 11–16.

3. Бивалькевич А.И., Похил Ю.Н., Никитин А.М. Принципы устойчивого и надежного обеспечения работы систем водоснабжения и водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. – 2004. – № 3. – С. 4–6.

4. Храменков С.В. Принципы обеспечения надежности водопроводной сети в условиях сокращения водопотребления // Водоснабжение и санитарная техника. – 2003. – № 5, ч. 2. – С. 27–31.

5. ИСО 704:2000. – Работа в области терминологии. Принципы и методы.

6. Михневич Э.И. Научные основы рационального управления и охраны водных ресурсов трансграничных рек для достижения устойчивого развития и эколого-безопасного водоснабжения Беларуси. – Минск: Современное слово, 2000. – 476 с.

7. Орлов А.И. Прикладная статистика. – М.: Экзамен, 2004. – 656 с.

8. Философский словарь. – <http://www.bspu.unibel.by>.

9. Богданов А.А. Тектология. Всеобщая организация науки. – М.: Экономика, 1989. – Т. 1. – 304 с.

10. Моисеев Н.Н. Судьба цивилизации. Путь Разума. – М.: МНЭПУ, 1998. – 228 с.

УДК 628.1.033

Василенко С.Л.

### **СТІЙКІСТЬ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ**

Дається визначення поняттю "сталість систем водопостачання". Показано, що словосполучення "сталій розвиток водопостачання", яке впроваджується в практику та наукове спілкування, є нелогічним та лінгвістично невірним. Для оцінки сталості пропонується використовувати системно утворюваний параметр: інтегрований „ККД води” (якість–подача–тиск) або коефіцієнт корисної дії внутрішньо системної безпеки водопостачання.