

УДК 519.87

Модельная оценка влияния фактора аварийности на эффективность водоканалов

А.А. Цхай

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (Барнаул, Россия)

Model Assessment of Accidents Factor Impact on Efficiency of Water Utilities

A.A. Tskhai

Polzunov Altai State Technical University (Barnaul, Russia)

Цель работы — численное моделирование взаимосвязи ресурсов и результатов водоканалов с учетом фактора аварийности. Новым является применение численных методов в задаче снижения аварийности предприятия водокоммунального хозяйства в контексте развития водоканалов. Реализация вычислительной процедуры в решении прикладной задачи демонстрируется на примере водоканалов восьми городов России. При выполнении условия минимальной аварийности только три из восьми рассмотренных предприятий смогли бы повысить эффективность в исследуемый период. Все эти водоканалы (из Воронежа, Чебоксар и Якутска) — со смешанной формой собственности. Точки развития с внешними источниками наиболее эффективны для внешнего инвестирования. На этой стадии развития предприятие максимально результативно преобразует внешние ресурсы в результаты для населения. К этой категории в рассмотренный период 2013–2017 гг. относились два водоканала из восьми: воронежский (2-й и 4-й периоды) и оренбургский (3-й период). Показано, что точка роста и точка развития с внутренними источниками наиболее результативны при использовании собственных ресурсов.

Ключевые слова: численная модель эффективности, вычислительный алгоритм, анализ данных, водоканалы городов, аварии водоснабжения и водоотведения.

DOI: 10.14258/izvasu(2021)1-21

Введение. Одной из важнейших проблем сегодняшнего водокоммунального хозяйства (ВКХ) является аварийность изношенных сетей, по которым осуществляются водоснабжение и водоотведение [1]. Уменьшение аварийности становится одним из основных индикаторов качества работы водоканала, для чего требуются применение адекватных методов и средств моделирования его производственно-эконо-

The objective of the study is numerical modeling of the relationship between resources and results of water utilities with consideration of the accident factor. Usage of numerical methods to assess and predict the reduction of accident rate of a water utility enterprise during its development can be considered as a novelty. Eight Russian cities and their water utility enterprises are taken as an example for developing and testing the numerical model, which applied further to solve the problem. Only three out of eight enterprises with mixed ownership (Voronezh, Cheboksary, and Yakutsk) are able to improve their efficiency by following the predicted conditions of the minimal accident rate. Starting points with external sources are considered to be the most effective for external investment when external resources are transformed into results as effectively as possible. There are two water utility enterprises in this category during the 2013–2017 period — Voronezh (2nd and 4th periods) and Orenburg (3rd period). It is shown that the growth point and the starting point with internal sources are the most effective when using their own resources.

Key words: numerical efficiency model, computational algorithm, data analysis, urban water utilities, accidents of water supply and demand.

мической деятельности [2–3]. Цель работы: численное моделирование взаимосвязи ресурсов и результатов водоканалов с учетом фактора аварийности. Новым является применение численных методов в задаче снижения аварийности предприятия ВКХ в контексте развития водоканалов [4–5]. Реализация вычислительной процедуры в решении прикладной зада-

чи демонстрируется на примере водоканалов восьми городов России.

1. Методы

Индикаторы деятельности водоканала выбираются на основе разделения ресурсов и результатов на две составляющие по отношению к объекту исследования: внутреннюю и внешнюю [4].

Пусть *внешние результаты* — это индикаторы A_i ($i=1;2$), где $A_i=(MD-D)$. Здесь D — это количество аварий за год на один погонный километр сетей водоснабжения рассматриваемого водоканала. Постоянная MD — это максимум для таких D для всех рассматриваемых предприятий (такой выбор постоянной нужен для неотрицательности индикатора A_i и его роста при уменьшении количества аварий). Аналогично индикатор A_2 характеризует количество аварий за год на один погонный километр сетей водоотведения.

Внутренние результаты: A_3 — чистая прибыль и A_4 — затраты на оплату труда и социальные выплаты производственному и административному персоналу. *Внешними ресурсами* являются B_1 — выручка, B_2 — внешнее финансирование. Далее *внутренние ресурсы*: это B_3 — стоимость основных средств и B_4 — финансовые инвестиции. Все введенные в данном абзаце и ниже индикаторы измеряются в тысячах рублей.

Выполненный в работе выбор внутренних результатов всех водоканалов соответствует методу расчета национального дохода. В то же время внешний результат предприятия характеризует потребности окружения (общества) в качестве услуг водоканала.

Могут существовать разные источники роста водоканала (точки роста), в том числе инновации или структурные изменения. Внутренние ресурсы в рассматриваемом подходе: это B_3 — основные средства, в экономике таким образом измеряют капитал, и B_4 — собственные инвестиции предприятия. Последние представляют собой средства, которые водоканал инвестирует в акции или размещает в депозиты. Для определенности считаем, что водоканал принимает решение об использовании в качестве инвестиций собственные средства один раз в год.

Внешние ресурсы учитываются путем учета финансовых потоков, поступающих на предприятие (за исключением потоков, связанных с финансовыми вложениями), в том числе B_1 — выручка и B_2 — внешнее финансирование.

Установлен следующий порядок определения K_i — локальных индикаторов эффективности водоканала, как потенциальных точек роста [4]. В основе K_i лежат отношения между изменениями внешних результатов и внешних ресурсов за рассматриваемый период времени. Величина K_i представляет собой среднюю сумму пропорций каждого вида внешних результатов к каждому виду внешних ресурсов за ко-

нечный (τ) и начальный ($\tau-1$) промежутки исследуемого периода.

Этот порядок расчета безразмерных индикаторов: мультипликативности K_1 , синергии K_2 , адаптивности K_3 и интенсивности K_4 записывается в математической форме как:

$$\begin{aligned} K_1(\tau) &= \text{Results_Ext}(\tau) \cdot \text{Resources_Ext_Inversed}(\tau) \\ K_2(\tau) &= \text{Results_Ext}(\tau) \cdot \text{Resources_Int_Inversed}(\tau) \\ K_3(\tau) &= \text{Results_Int}(\tau) \cdot \text{Resources_Ext_Inversed}(\tau) \\ K_4(\tau) &= \text{Results_Int}(\tau) \cdot \text{Resources_Int_Inversed}(\tau) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{Results_Ext}(\tau) = \frac{1}{2} \left(\frac{A_1^\tau}{A_1^{\tau-1}} + \frac{A_2^\tau}{A_2^{\tau-1}} \right),$$

$$\text{Resources_Ext_Inversed}(\tau) = \frac{1}{2} \left(\frac{B_1^{\tau-1}}{B_1^\tau} + \frac{B_2^{\tau-1}}{B_2^\tau} \right),$$

$$\text{Results_Int}(\tau) = \frac{1}{2} \left(\frac{A_3^\tau}{A_3^{\tau-1}} + \frac{A_4^\tau}{A_4^{\tau-1}} \right),$$

$$\text{Resources_Int_Inversed}(\tau) = \frac{1}{2} \left(\frac{B_3^{\tau-1}}{B_3^\tau} + \frac{B_4^{\tau-1}}{B_4^\tau} \right).$$

Из выражения (1) видна следующая особенность индикаторов K_1 — K_4 : при их расчете не учитывается разница в волатильности переменных; по умолчанию все переменные, используемые при расчете, имеют равную значимость.

Интегрированный индикатор приоритетности P предприятия рассчитывается как среднее арифметическое четырех обобщающих K_i коэффициентов эффективности. Максимальный потенциал предприятия как точки роста соответствует максимальному значению индикатора P [4].

Существенным этапом бенчмаркинга является классифицирование. На этом этапе подбираются очевидные примеры — аналоги характера развития для каждого выбранного типа. На их основе становятся возможными дальнейшие анализ и прогнозирование этапов жизненного цикла предприятия.

Используемая классификация водоканалов по типу роста (развития) была введена в работе [5]. Для идентификации стадий развития, которые проходят предприятия в разные периоды каждого своего жизненного цикла, используются понятия роста и развития. В начале цикла предприятие проходит *фазу роста*, когда начинается деятельность предприятия; все более эффективно начинают осуществляться производственные процессы. Далее при увеличении объемов выпуска продукции предприятие вступает в *фазу развития*, когда заметным становится влияние деятельности на его социально-экономическое окружение.

Положительной точкой роста (развития) предприятия является случай, когда все четыре индикатора $K_i|_{i=1,2,3,4} > 1$. Отрицательный тип роста (развития) — когда все четыре индикатора $K_i|_{i=1,2,3,4} < 1$.

Введем определение коэффициента $L|_{k=1}$ — уровня идентификации «точки» по первому типу — как $L|_{k=1} = (3K_4 - K_1 - K_2 - K_3) > 0$. Отрицательность коэффициента $L|_{k=1}$ будет означать, что некоторые из основных допущений первого типа нарушены. Далее мы предполагаем, что чем выше расчетное значение $L|_{k=1}$, тем ближе траектория к первому типу. Аналогично характеризуются и другие типы точек роста (развития), а также вводятся другие коэффициенты $L|_k$ (уровни идентификации «точек») для остальных семи типов. Выделяются четыре варианта отрицательных точек роста (развития), обусловленных индикатором K_i с наименьшим значением. Параметрические наименования точек роста (развития) приведены во втором столбце таблицы.

2. Результаты и обсуждение

На основе матричного метода по модели (1) реализовано выполнение вычислительной процедуры определения значений индикаторов [6]. Результаты демонстрируются на примере водоканалов восьми городов России, относящихся к одной группе водо-

снабжения и водоотведения и сходных по условиям функционирования.

Это восемь городов и водоканалов — Воронеж (ООО «Росводоканал-Воронеж»), Иркутск (МУП «Водоканал» г. Иркутска), Оренбург (ООО «Оренбург Водоканал»), Ростов-на-Дону (АО «Ростовводоканал»), Саранск (МП «Саранскгорводоканал»), Томск (ООО «Томскводоканал»), Чебоксары (АО «Водоканал» г. Чебоксары), Якутск (АО «Водоканал» г. Якутска).

В работе использовалась официальная информация о производственно-финансовой деятельности упомянутых предприятий [7–14]. Более пристального внимания заслуживают мультипликативные и синергетические индикаторы, характеризующие трансформацию соответственно внутренних и внешних ресурсов во внешние результаты, т.е. минимизацию аварийности.

Расчеты, основанные на вышеназванных первичных данных, относящихся к 2013–2017 гг., показали следующее.

Явными лидерами были предприятия Саранска ($K_1=10,1$ и $K_2=10,11$ в первый период), Иркутска ($K_2=23,04$ в первый период), а также Воронежа ($K_1=2,79$ и $K_2=2,67$ во второй период).

Таблица
Параметрические характеристики близости объектов водоканала к типам точек роста (развития)

№	Тип точки роста	Воронеж				Саранск				Чебоксары				Якутск			
		I 2013– 2014	II 2013– 2014	III 2013– 2014	IV 2013– 2014	I 2013– 2014	II 2013– 2014	III 2013– 2014	IV 2013– 2014	I 2013– 2014	II 2013– 2014	III 2013– 2014	IV 2013– 2014	I 2013– 2014	II 2013– 2014	III 2013– 2014	IV 2013– 2014
1	Точка роста с внутренним источником	0,84	-4,48	0,63	-0,51	-18,63	1,89	-0,73	1,16	-0,47	1,87	-1,53	-0,29	-0,25	0,67	0,36	1,66
2	Точка роста с внешним источником	1,49	-4,38	4,29	-0,41	-18,63	4,33	-0,92	-0,08	1,07	3,6	4,42	1,8	0,28	-0,04	0,3	0,97
3	Точка развития с внутренним источником	-0,84	4,48	-0,63	0,51	18,63	-1,89	0,73	-1,16	0,47	-1,87	1,53	0,29	0,25	-0,67	-0,36	-1,66
4	Точка развития с внешним источником	-1,49	4,38	-4,29	0,41	18,63	-4,33	0,92	0,08	-1,07	-3,6	-4,42	-1,8	-0,28	0,04	-0,3	-0,97
5	Отрицательная точка роста с внутренним источником	-1,24	4,18	-3,08	0,4	18,65	-3,52	0,98	-0,1	-0,93	-3,09	-3,38	-1,44	-0,27	-0,04	-0,31	-1,14
6	Отрицательная точка роста с внешним источником	-1,08	4,69	-1,83	0,52	18,61	-2,69	0,67	-0,98	0,34	-2,38	0,49	-0,07	0,25	-0,6	-0,35	-1,49
7	Отрицательная точка развития с внутренним источником	-1,93	4,16	-4,16	-0,24	17,82	-5,35	-0,01	-1,72	-0,69	-4,93	-2,31	-1,44	-0,54	-1,27	-1,22	-2,74
8	Отрицательная точка развития с внешним источником	1,08	-4,69	1,83	-0,52	-18,61	2,69	-0,67	0,98	-0,34	2,38	-0,49	0,07	-0,25	0,6	0,35	1,49
9	Номер типа точки роста (развития)	2	6	2	6	5	2	5	1	2	2	2	2	2	1	1	1

Результаты параметрического анализа в соответствии с классификацией типов [5] по четырем из восьми водоканалов представлены в таблице.

Более высокое значение соответствует большей близости к тому или иному типу. В нижней строке указан тип точки роста (развития), которому больше соответствует предприятие. В 2013–2017 гг. все водоканалы относились к положительным типам точек роста (№ 1, 2, 5, 6).

Водоканал Якутска в первый рассматриваемый период (2013–2014 гг.) был ближе к типу точки роста за счет внешних источников, что характерно для использования предприятием займов. Далее он, оставаясь точкой роста, сменил источники используемых ресурсов с внешних на внутренние. Новая для него модель поведения точки роста первого типа напоминает инновацию внутри отрасли или структурную перестройку для отдельного региона.

АО «Водоканал» г. Чебоксары все исследуемые периоды устойчиво оставался точкой роста за счет внешних источников. В то же время динамика его индикатора мультипликативности свидетельствует об уменьшении значений показателя аварийности, что может говорить о верной направленности технической политики предприятия.

В 2013–2017 гг. качественные изменения происходили в водоканале Воронежа. Ориентируясь в основном на использование внешних источников, он повысил свой уровень точки роста в 1-й период до шестого типа — точки развития во 2-й период. В 3-й период предприятию не удалось сохранить достигнутый уровень, и водоканал Воронежа вернулся в прежнюю позицию точки роста с внешними источниками. 4-й период стал более удачным для предприятия, вновь ставшего точкой развития, заметно влияющего на социально-экономическую ситуацию в городе. Шестой тип — когда внешние источники используются для ускорения собственного роста и усиления влияния на окружающую территорию. Таким образом развивались китайские специальные экономические зоны и технопромышленные парки на основе административной и финансовой помощи органов власти.

Обратные процессы происходили с водоканалом Саранска, дважды терявшим положение точки развития с опорой на внутренние источники, становясь точкой роста с внешними ресурсами — во второй период и с внутренними — в четвертый. Муниципальные власти, заинтересованные в скорейшем возвращении к более высокому уровню предоставления коммунальных услуг в городе, могли бы больше помогать водоканалу. Положение точки развития с опорой

на внутренние источники напоминает трансформацию японских технополисов, но в Японии активную позицию занимали местные органы власти.

Предприятие Оренбурга, опираясь все время на привлеченные внешние ресурсы, поднялось от точка роста с внешним источником (первый и второй периоды) до точки развития с внешним источником (третий период). Однако 4-й период оно вновь завершило как точка роста.

Следует отметить, что в непростой макроэкономической ситуации 2014–2017 гг. три из шести частных предприятий увеличили P — интегрированный индикатор приоритетности. В то же время рассмотренные муниципальные водоканалы уменьшили эффективность по этому индикатору.

Параметрическая близость к точке развития с внешним источником позволяет определить объекты, наиболее перспективные для инвестирования, в частности, воронежское предприятие — во второй и четвертый периоды, водоканал Оренбурга — в третий период. При этом точка роста и точка развития с внутренними источниками являются наиболее эффективными при использовании собственных ресурсов.

В настоящее время в стране создается публичная система открытой отчетности по управленческим индикаторам по всем водоканалам страны. В этой связи развиваемый подход имеет перспективу применения при оценке эффективности предприятий ВКХ.

Заключение. Применение численного моделирования к рассмотренной прикладной задаче приводит к выводу: повышение значимости безаварийного водопользования существенно повлияло бы на изменение эффективности рассмотренных водоканалов.

При повышении требований к качественному обслуживанию (минимальной аварийности) только три из восьми рассмотренных водоканалов смогли бы повысить эффективность для своих городов в рассмотренный период 2013–2017 гг. Эти водоканалы (из Воронежа, Чебоксар и Якутска) — со смешанной формой собственности.

Точки развития с внешними источниками наиболее эффективны для внешнего инвестирования. На этой стадии развития водоканал максимально эффективно преобразует внешние ресурсы в результаты для населения. К этой категории в рассмотренный период относились два водоканала из восьми: Воронежа (второй и четвертый периоды), Оренбурга (третий период). Вместе с тем точка роста и точка развития с внутренними источниками наиболее результативны при использовании собственных ресурсов.

Библиографический список

1. Ariaratnam S.T., Lueke J.S., Michael J.K. Current trends in pipe bursting for renewal of underground infrastructure systems in North America // *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2014. Vol. 39. DOI: 10.1016/j.tust.2012.04.003.
2. Bewszo T., Słyś D. Multi-criteria decision aid for the selection of open trenching technology for modernisation of municipal infrastructure systems // *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2014. Vol. 39. DOI: 10.1016/j.tust.2012.11.012.
3. Rehan R., Knight M.A., Unger A.J., Haas C.T. Financially sustainable management strategies for urban wastewater collection infrastructure – development of a system dynamics model // *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2014. Vol. 39. DOI: 10.1016/j.tust.2012.12.003.
4. Цхай А.А. Развитие предприятий водокоммунального хозяйства: взаимосвязь ресурсов и результатов // *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*. 2018. № 4.
5. Tskhai A. Model for evaluating the efficiency of Russian water utilities // *Utilities Policy*. 2020. Vol. 62. 100986. DOI: 10.1016/j.jup.2019.100986.
6. Самарский А.А. Введение в численные методы. М., 1982. 286 с.
7. ООО «Росводоканал-Воронеж» г. Воронежа. URL: <https://voronezh-rvk.ru> (дата обращения: 20.05.2020).
8. МУП «Водоканал» г. Иркутска. URL: <https://www.irkvkn.ru> (дата обращения: 20.05.2020).
9. ООО «Оренбург Водоканал» г. Оренбурга. URL: <https://oren-vodokanal.ru> (дата обращения: 20.05.2020).
10. АО «Ростовводоканал». URL: <https://vodokanalrnd.ru> (дата обращения: 20.05.2020).
11. МП «Саранскгорводоканал» г. Саранска. URL: <https://www.vksar.ru> (дата обращения: 20.05.2020).
12. ООО «Томскводоканал» г. Томска. URL: <https://www.vodokanal.tomsk.ru> (дата обращения: 20.05.2020).
13. АО «Водоканал» г. Чебоксары. URL: <https://vodokanal.ru/> (дата обращения: 20.05.2020).
14. АО «Водоканал» г. Якутска. URL: <https://vodokanal-ykt.ru> (дата обращения: 20.05.2020).