

# "Разумная вода": Интегрированное управление водными ресурсами на базе смарт-технологий и моделей для умных городов

В.П. Куприяновский, А.С. Щичко, Д.Е. Намиот, Ю.В. Куприяновская

**Аннотация**—Данная статья посвящена одному из важных аспектов в концепции Умного Города – управления водными ресурсами. В работе рассматриваются общие вопросы применения геоинформационных систем (ГИС) для систем водоснабжения. Рассмотрены модели систем водоснабжения, представление ГИС-объектов в моделях систем водоснабжения. работы и модели компаний Esri и IBM.

**Ключевые слова**—ГИС, гидравлика, Умный город.

## I. ВВЕДЕНИЕ

Проблемы воды носят глобальный характер. Им посвящен большой пласт исследований, выполненных ООН, Юнеско, Мировым банком и другими международными организациями, кроме того, имеется множество работ локального характера для арабских стран, различных штатов США, государств Европы, стран бывшего СССР и т.д. В них рассматриваются как природные водные ресурсы, так и «техногенные» воды. Перечислим основные проблемы, возникающие в процессе эксплуатации водопроводных сетей:

- снижение качества воды;
- рост фактических потерь при транспортировке;
- рост разрыва между спросом и предложением воды;
- возрастание интенсивности и масштабности проблем с перераспределением водных ресурсов внутри региона;
- ухудшение эксплуатационных характеристик системы водоснабжения;
- неадекватность и безадресность инвестирования государственных средств в выведение управления водными ресурсами на необходимый уровень;
- необходимость выявлять утечки и производить ремонт водопроводной сети в реальном масштабе времени;

Статья получена 12 марта 2016.

Куприяновский В.П., МГУ имени М.В. Ломоносова, (email: vpkupriyanovsky@gmail.com).

Щичко А.С., ИБМ, (email: anton.schichko@ru.ibm.com).

Намиот Д.Е., МГУ имени М.В. Ломоносова, (email: dnamiot@gmail.com)

Куприяновская Ю.В., Университет Оксфорда, (email: piccola@yandex.ru).

- фактические потери воды из-за утечек и воровства;
- Неучтённый расход воды (Unaccounted-for Water, UFW).

Иными словами, большинство проблем с водоснабжением сфокусированы на потерях: техногенного характера (утечки), неучтённого расхода воды, необходимости гарантированной доставки воды в нужную точку, в необходимых количествах и требуемого качества. Естественно, качество воды, как и качество воздуха, также является критичным для населения городов.

Так, в Египте исследования на конкретных областях показывают значения UFW более 50 процентов – до 67%. Для небольших муниципалитетов этот показатель обычно выше. В развитых странах UFW обычно колеблется от менее чем 10% для новых систем и до 25% для старых систем. А в некоторых восточноевропейских и африканских странах UFW регулярно достигает 40, 50 или даже 60% [1].

Кардинальным вопросом снижения потерь и обеспечения качественной эксплуатации водных систем города является построение двух моделей – ГИС, в которой собственно и хранится то, что отражает реальный физический мир системы и гидромодели. Последняя есть модель конкретной системы, которая позволяет рассчитывать поведение воды в замкнутых системах труб, фитингов, насосов и т.п. Она исходит из физических параметров воды, которая в отличие от воздуха практически несжимаемая физическая среда и давление, возникшее в одном из элементов водной системы, передается во все ее доступные части, что приводит к гидроударам и разрушениям системы. Однако необходимо с помощью приложений, написанных для этих двух моделей решать и другие задачи.

## II. ПРИНЦИПЫ ИНТЕГРАЦИИ ГИС И ГИДРАВЛИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Полная интеграция гео-информационных систем (ГИС) с гидравлической моделью может быть сложно достижимой целью и весьма непростым вопросом для многих коммунальных предприятий. Идея выглядит довольно простой, но интеграции иногда мешают ограничения лицензионного ПО гидравлической модели

или неполные, неточные, слабо структурированные ГИС-данные. Успешная интеграция начинается с базы данных ГИС, которая обычно используется в качестве основного хранилища информации об активах и связности сети.

В широком смысле, для гидравлического моделирования требуются три класса данных:

1) Физические данные. Используются для гидравлического описания, поддержки связности трубопроводов (сетевой топологии), описания смотровых колодцев, водохранилищ, насосов, управляющих клапанов.

2) Данные о потреблении/нагрузке

- Данные о потреблении (в системах водоснабжения). Данные, используемые для моделирования потребления воды в пространстве и времени с учётом утечек.

- Данные о нагрузках (в системах водоотведения). Данные, используемые для моделирования потока сточных вод, а также дождей и грунтовых вод.

3) Операционные данные. Текущее состояние насосов (статус вкл./выкл., скорость), положение вентиля и заслонок, характеристики потока, уровни воды в водохранилищах.

Требования по формированию физических данных, вероятно, наиболее сложные. Гидравлические модели требуют, чтобы обеспечивалась сетевая топология (связность) и чтобы такие параметры, как размеры, длины труб точно соответствовали реальным параметрам в распределительной системе. Таким образом, точность сетевой топологии и атрибутов (диаметр, длина трубы, высотные отметки соединительных узлов и т.д.) будет определять качество гидравлической модели, созданной с помощью ГИС, и напрямую повлияет на время, необходимое для заполнения недостающих данных и корректировки ошибок.

### III. МОДЕЛИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Представления объектов распределительных сетей в ГИС варьируется от одной компании к другой [2]. Тем не менее, обычно ГИС системы водоснабжения включает такие объекты, как водные магистрали, фитинги, вентили, гидранты, насосы, измерительное оборудование и водохранилища. Сопоставление данных объектов с соответствующими элементами гидравлической модели является наиболее важным этапом. Для того чтобы гарантировать отношение "один-к-одному" между ГИС и моделью, необходимо, чтобы элементы модели обладали уникальным идентификатором, полученным из поля ID в ГИС. Это легко может быть осуществлено путём считывания поля идентификатора (ID) ГИС-объекта или актива (ASSET\_ID). ID ГИС-объекта, выбранный для

использования в модели, должен быть полностью заполнен и уникальным в пределах своего класса (а лучше во всей БД ГИС), а также неизменяемым. Поле ID должно быть настроено так, чтобы нельзя было присвоить новые ID существующим элементам и предотвратить использование старых ID (например, выведенных из эксплуатации труб). Рис. 1 показывает перечень труб модели, которые были созданы из (и использующих одинаковые ID) своих прототипов труб, которые являются ГИС-объектами.

Таблица БД модели

ASSET_ID	CREATION_ID	LAST_FMI	FACILITY_ID	INSTALL_YR	SERVICEAGE
135762	100210001	2182004	25780050	1981	WH
135763	100210001	180210001	25830013	1953	WH
135764	100210001	100210001	45020009	1000	BR
135765	100210001	5020002	45020488	1997	BR
135767	100210001	100210001	45020011	1948	BR
135768	100210001	5020002	45020489	1997	BR
135769	100210001	5020002			
135770	100210001	5020002			
135771	100210001	100210001			
135772	100210001	5020002			
135773	100210001	5020002			
135774	100210001	100210001			
135775	100210001	317			
135776	100210001	317			
135777	100210001	5020002			
135778	100210001	8070			
135779	100210001	100210001			
135780	40802004	4080			

Таблица БД ГИС

ID	VP_INST (Long)	ZONE (Char)	MATERIAL (Char)
135782	1981	WH	CI
135783	1953	WH	CI
135784	1930	BR	CI
135785	1997	BR	DI
135786	1948	BR	CI
135787	1997	BR	DI
135788	1997	BR	DI
135789	1997	BR	DI
135790	1997	BR	DI
135791	1948	BR	CI
135792	1996	BR	DI
135793	1997	BR	DI
135794	1948	BR	CI
135795	1948	BR	CI
135796	1948	BR	CI
135797	1997	BR	DI
135798	1925	BR	CI
135799	1935	BR	CI

Рис. 1. Идентификаторы гидравлической модели должны соответствовать идентификаторам в ГИС.

Некоторые из типичных ГИС-полей обычно не требуются для гидравлической симуляции, но включение их в базу данных модели может уменьшить время, требуемое для построения и поддержки модели. Например, заполнение поля PRESSURE\_ZONE (область давления) для объектов модели может быть полезно для дополнительной верификации сетевой топологии и выявления мест разрыва, а также улучшения визуализации результатов. Точно так же, поле RETIRE\_DATE (дата вывода из эксплуатации) может быть использовано для обнаружения объектов, которые должны исключаться из анализа.

В таблице 1 представлены поля для каждого класса ГИС-объектов, которые должны присутствовать в базе данных ГИС. Эти данные облегчают долговременную поддержку модели и должны поддерживаться в актуальном состоянии.

Таблица 1

ГИС-объекты		Объекты гидравлической модели		Рекомендуемые ГИС-атрибуты
Класс	Тип	Класс	Тип	
Фитинги, гидранты и неуправляемые вентили	Точка	Соединительные узлы	Точка	ID_актива, Дата_установки, Дата_вывода_из_экспл, Высота, Тип_фитинга (подтип), Дата_внесения_изменений, В_ГИС, В_модели, В_эксплуатации (Да/Нет)
Управляемые и граничные вентили	Точка	Вентили	Точка или линия	ID_актива, Дата_установки, Дата_вывода_из_экспл, Зона_от, Зона_к, Высота, Диаметр, Функц_тип_вентили (подтип), Тип_корпуса, Дата_внесения_изменений, В_ГИС, В_модели, В_эксплуатации (Да/Нет)
Насосы	Точка	Насосы	Точка или линия	ID_актива, Дата_установки, Дата_вывода_из_экспл, Зона, Высота, Диаметр, Дата_внесения_изменений, В_ГИС, В_модели
Трубы	Линия	Трубы	Линия	ID_актива, Дата_установки, Дата_вывода_из_экспл, Зона, Диаметр, Материал, Дата_перекладки, Тип_перекладки Узел_от, Узел_к, Длина, Шероховатость, Дата_внесения_изменений, В_ГИС, В_модели
Ёмкости и резервуары	Точка	Ёмкости и резервуары	Точка	ID_актива, Дата_установки, Дата_вывода_из_экспл, Зона, Нижн_уровень, Уровень_переполнения, Диаметр, Объём, Дата_внесения_изменений, В_ГИС, В_модели

### III ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ГИС-ОБЪЕКТОВ В МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Большинство гидравлических моделей рассматривают трубопроводную сеть как набор узлов и соединений между ними (связей). Узлы - это точки в системе, например, резервуары или сочленения (соединительные узлы). Связи – это соединения между узлами. Наиболее распространённый тип связи – это труба. Насосы и вентили могут быть представлены как узлами, так и связями, в зависимости от используемого моделирующего ПО.

#### A. Соединения

Соединения в гидравлической модели используются для отражения связей между сегментами трубы и точками потребления. Они также передают изменения материала трубы, её диаметра и даты установки.

Фитинги обычно объединены в один класс ГИС-объектов. Поле FITTING\_CLASS используется для идентификации T-образных соединений (тройников), крестовин, отводов (отгибов), редукторов, гнезд клапанов, запоров и т.д.

Не все соединения должны быть импортированы в

модель, т.к. не все они определяют конечные точки трубы. Тщательный анализ базы данных ГИС поможет выявить соединения, которые являются конечными точками трубы, и поле IN\_MODEL для них должно быть заполнено значением “YES”. Остальным фитингам в ГИС в поле IN\_MODEL должно быть присвоено значение “NO”. Вдобавок, данные о фитингах в ГИС должны быть проверены на отсутствии дубликатов, т.е. каждая конечная точка трубы (будь то тройник, крестовина или другой тип пересечения) имеет только один фитинг.

В зависимости от используемого ПО, гидранты в гидравлической модели обычно представлены как узлы или соединения и, как правило, содержатся в одном классе ГИС-объектов. Однажды импортированные в модель, гидранты должны быть однозначно идентифицированы как таковые, чтобы их можно было отличить от других типов узлов.

#### B. Вентили и насосы

Вентили могут быть представлены как управляемые или неуправляемые. Вентили, управляемые с помощью давления и потока, должны быть представлены отдельно, поскольку они используются для отражения специфических гидравлических параметров.

Неуправляемые вентили определяются как полностью открытые, не требующие начальных установок и обычно не влияют на гидравлический анализ; они могут быть представлены простыми соединениями. Хорошим примером является набор из четырёх запорных вентилей вокруг пересечения улиц – обычно они установлены в открытое положение и закрываются в случае проведения регламентных или ремонтных работ.

Определяя неуправляемые вентили в гидравлической модели как соединения вместо просто вентиля, мы уменьшаем время обработки при гидравлическом анализе. В случае, если неуправляемый вентиль необходимо смоделировать как управляемый, элемент в гидравлической модели должен быть определён именно как вентиль, а не соединение. Операционное состояние (статус) должно быть отражено в соответствующем классе объектов базы данных ГИС. Это поможет распознавать управляемые вентили и соединения-неуправляемые вентили при обновлении модели. Хорошей практикой является также использование в ГИС подтипов вентилей (проходной вентиль, поворотная заслонка, задвижка и т.д.).

В дальнейшем время обработки может быть уменьшено, если неуправляемые вентили не будут присутствовать в модели. С помощью правильно настроенной ГИС-системы, использующей геометрическую сеть, можно исключить их из модели. Между ГИС и моделью всё ещё может быть установлено отношение “один-к-одному” путём уменьшения количества узлов (на один меньше для каждого вентиля). Это предпочтительный метод для распределительных сетей, использующих сложные (комплексные) рёбра в своей геометрической сети.

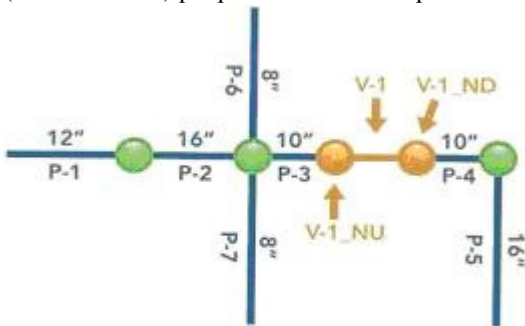


Рис. 2 Вентиль в гидравлической модели в качестве линии (EPANET)

Некоторые программы, предназначенные для гидравлического моделирования, такие как EPANET (разработанная Агентством по защите окружающей среды США), представляют насосы и вентили как линейные ГИС-объекты и требуют соединения в каждой конечной точке. Рис.3 иллюстрирует дополнительные соединения и линии, которые требуются в подобном устаревшем ПО.

Множество программ гидравлического моделирования для вычислений используют гидравлический “движок”. Однако, большинство ГИС-приложений рассматривают насосы и вентили как точки

и во время вычислений выполняют внутреннее скрытое от пользователя преобразование этих элементов в “линки” (связи). Текущая тенденция в моделирующем ПО – также представлять насосы и вентили точечными элементами (как они показываются в ГИС), тем самым способствуя установлению отношений “один-к-одному” для данных объектов на основе общего идентификатора актива (asset ID).

### С. Трубы

Обычно в базе данных ГИС-системы водоснабжения передающие и распределительные трубопроводы и магистрали представлены одним классом ГИС-объектов. Более детализированные БД ГИС поддерживают также и вспомогательные отводы (service laterals) (или соединения), хотя обычно они хранятся в отдельном классе ГИС-объектов. Вспомогательные отводы редко включаются в гидравлические модели, т.к. данный уровень детализации обычно не требуется для большинства видов гидравлических анализов. Предпочтительная топология для объектов-труб в БД ГИС – не разбивать объекты-трубы на каждом вспомогательном отводе. Таким образом, если вспомогательные отводы не «разделяют» магистральный трубопровод, не требуется никаких дополнительных изменений, связанных со вспомогательными отводами, для подготовки магистрального трубопровода к импорту в модель.

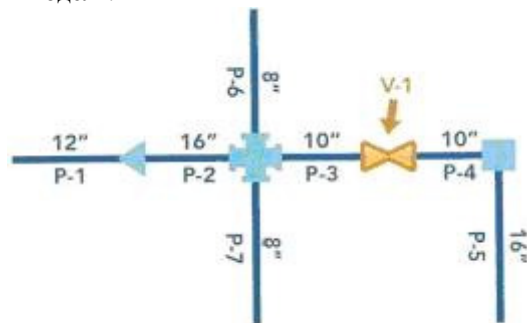


Рис. 3 Вентиль в качестве точечного объекта в ГИС

Хранение атрибутов FROM\_NODE (от узла) и TO\_NODE (к узлу) в классе ГИС-объектов “трубы” очень важно, поскольку некоторые приложения для гидравлического анализа используют идентификаторы узлов FROM\_NODE и TO\_NODE для определения топологии своей сети. Вдобавок, эти атрибуты используются на этапе контроля качества при обновлении и поддержки модели. В нормальной геометрической сети такая информация автоматически сохраняется внутри сети. Информация FROM\_NODE и TO\_NODE может быть считана и заполнена в соответствующих полях в ГИС. Таким образом, пока ГИС “присутствует” в геометрической сети, идентификаторы узлов FROM\_NODE и TO\_NODE не обязательно заводить специально.

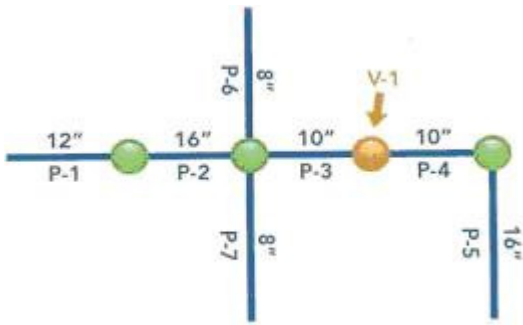


Рис. 4 Вентиль в качестве точки в ГИС-ориентированной гидравлической модели

#### D. Источники воды

Источники воды обычно моделируются как комбинация двух элементов: резервуара и насоса для моделирования системы грунтовых вод и насоса, или как простое соединение (узел) с отрицательным потреблением. В целях интеграции с ГИС, источники воды в БД ГИС должны быть представлены так же, как и в гидравлической модели. В качестве альтернативы, поля IN\_MODEL и IN\_GIS могут быть использованы для запроса конкретных элементов, относящихся к источнику, если в распределительной сети кардинально не менялась структура данных её БД ГИС.

#### E. Объекты и оборудование

Связность компонентов ГИС-модели иногда нуждается в корректировке, также как и крупные объекты (включая насосные станции и очистные сооружения) и небольшие объекты (например, склад вентилей) могут нуждаться в другом уровне детализации в гидравлической модели, который отсутствует в ГИС-базе. Например, крупная насосная станция, водохранилище или колодец могут быть представлены просто как точка в ГИС, без показа реально существующих нескольких насосов, клапанов, баков и т.д. А распределительная компания может нуждаться в определении, какое должно быть представление объектов в базе данных ГИС – простое или детализированное.

#### F. Детализации в ГИС

Упрощённое представление объектов в ГИС может представлять проблему для поддержки связей “один-к-одному” с гидравлической моделью. В случаях, когда не требуется поддержание одинакового уровня детализации между гидравлической моделью и ГИС, как минимум в ГИС должны быть корректно отражены соединения между элементами распределительной системы как вверх по течению (upstream), так и вниз (downstream). Эти точки соединения облегчат создание схемы объектов и оборудования в ГИС и обеспечат требуемую гибкость при переносе обновлённой ГИС-информации обратно в гидравлическую модель при обновлениях модели.

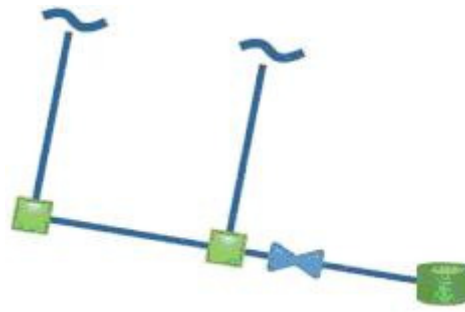


Рис. 5 Простое представление объекта в ГИС

Другим, предпочтительным методом является включение детальной информации об объекте в ГИС (рис. 6), используя связность сети, требуемую моделью, чтобы обеспечить надёжную интеграцию “один-к-одному”. Данный подход не только приносит пользу гидравлической модели в плане подробного анализа, но и поддерживает другие ГИС-интегрированные решения, такие как ПО для автоматизированного управления обслуживанием (CMMS), ПО для информирования потребителей (CIS), а также SCADA-системы (диспетчерский контроль и сбор данных).

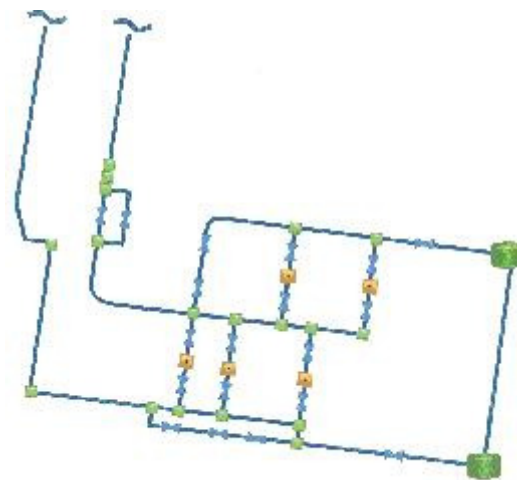


Рис. 6 Детализированное представление объектов в ГИС.

Значительная часть этих проблем решается при применении комплекса программного обеспечения “Разумная вода”. В данной сфере особенно ярко проявляются эффекты от взаимодействия Гидро модели и ГИС модели. Дело в том, что использование технологии геоинформационных систем (ГИС) предприятиями водоснабжения/водоотведения, несомненно, является положительным фактором для мониторинга водных ресурсов, однако этого не достаточно для улучшения ситуации с водоснабжением крупного населённого пункта или региона. Для решения задач водоканалов необходимо внедрение комплексных интеграционных решений по управлению и автоматизации систем водозабора, водоочистки, канализации и утилизации.

Проект “Разумная вода”, прежде всего, предполагает применение смарт-объектов или интернета вещей для нужд водного хозяйства в сочетании с



геоинформационными технологиями. По оценкам экспертов, до 80% информации, необходимой для успешного функционирования смарт-водопроводного предприятия, прямо или косвенно связано с геоданными (данными с географической составляющей). Вот основные задачи, требующие использования "умных" сенсоров:

- изучение приемлемости воды в реках и морях для животного мира и ее пригодности для питья;
- обнаружение присутствия воды вне хранилищ и колебания давления в трубах;
- мониторинг изменения уровня воды в реках, плотинах и водохранилищах;
- измерение давления воды в системах транспортировки воды.

“Разумная вода” базируется на принятых мировых стандартах по этому направлению, включающих модели водоснабжения (структуры баз данных) и гидро моделирование (физических процессов), работающие совместно, описывающие все события, происходящие в системе водоснабжения, правила обработки этих событий и задаваемые ключевые показатели эффективности. Объективные данные о событиях в системе собираются с помощью физических устройств (смарт-объектов), которые, с одной стороны, служат источниками данных о конкретных событиях, а с другой – могут исполнять команды по изменению режимов работы системы водоснабжения. При этом все известные SCADA-системы также интегрируются в рамках решения “Разумная вода”. Коллективными усилиями специалистов отрасли при участии Esri создана соответствующая модель данных для работы в среде ArcGIS [3] (рис. 7).



Рис. 7. Модель данных ArcGIS для предприятий водоснабжения/водоотведения.

Компании IBM и Esri, по мнению большинства независимых экспертов, являются мировыми лидерами по “Разумной воде”. Например, доля Esri в ГИС-решениях по водным системам в мире составляет порядка 80% (а в целом Esri – это порядка 44% мирового рынка ГИС-систем) [4]. Совместно IBM и Esri сдали в промышленную эксплуатацию заказчикам сотни систем с технологиями “Разумной воды”, которые позволяют максимально снизить риски заказчиков и значительно повысить эффективность управления своими активами.

Учитывая задачи, стоящие перед водопроводными компаниями и уровень развития современных информационных технологий интеллектуального управления водными ресурсами, можно утверждать, что современная водопроводная смарт-система управления активами – это:

- единая геоинформационная платформа, обеспечивающая визуализацию и интеграцию систем мониторинга и управления, а также зондирование и мониторинг физической инфраструктуры, интегрированной с упреждающим управлением активами;
- использование потоковых данных в режиме реального времени для реакции на ЧС;
- IT-инфраструктура для управления информацией о водных ресурсах, используемой несколькими организациями, и позволяющая принимать решения на системном уровне;
- углубленная аналитика с возможностью прогнозирования, моделирования и поддержки принятия решений.

Это всё позволяет более эффективно выполнять оперативные действия по управлению объектами водопроводной инфраструктуры.

Распределение задач и интеграция продуктов Esri и IBM для целей управления активами предприятий водоснабжения/водоотведения может выглядеть следующим образом. ГИС (Esri ArcGIS) обеспечивает:

- интеграционную геопространственную платформу;
- сбор, обработку, хранение, представление геопространственной информации;
- систематизацию и манипулирование геоданными;
- построение 2D- и 3D-моделей активов и местности;
- учёт пространства при проектировании объектов водопроводной инфраструктуры;
- стоимостной анализ;
- функции инвентаризации;
- проведение зонирования территории;
- анализ расположения потенциальных клиентов;
- оценку возможности роста спроса на услуги;
- возможности многофакторного пространственного анализа средствами ГИС;
- решение задач, связанных с обработкой информации о местности. Например: вычисление расстояний, площадей; расчёты зон затопления, видимости, углов наклона и т.д.; ведение кадастра; выбор оптимального маршрута движения, навигация и другие задачи.

ПО IBM (Tririga, Maximo) берёт на себя:

- управление имуществом;
- материально-техническое снабжение;
- управление складскими запасами;
- управление договорами;
- управление работами по созданию, обслуживанию и ремонту активов;
- управление сервисами;
- управление рисками;
- планирование и учёт затрат;
- управление персоналом;

- др. функции.

Обобщенная схема совместной работы ПО двух компаний показана на рис. 8.



Рис. 8. Взаимодействие ПО Esri и IBM при реализации проектов "Разумная вода".

Модули MQ и MQ Telemetry, входящие в IBM WebSphere, позволяют автоматизировать сбор данных со смарт-объектов водопроводной сети, включая геосенсоры. Они обеспечивают гарантированную доставку, транзакционную передачу данных, безопасное их хранение и восстанавливаемость в случае сбоев, асинхронную передачу информации, а также программный интерфейс. Схема взаимодействия данных модулей с ArcGIS приведена на рис. 9.



Рис. 9. Схема сбора данных со смарт-объектов водопроводной сети.

За рубежом всё активнее внедряются решения типа "Разумная вода". Кратко рассмотрим два примера – проекты в г. Валенсия (Испания) и Сан-Франциско (США). Оба они делались с участием платформ IOT в технологии стыковки базовых решений IBM и ESRI с приложениями, написанными APP разработчиками. В частности проект в Валенсии делался в этой части с привлечением известного европейского производителя IOT решений для умных городов LIBELIUM.

Проект "смарт-вода" в Валенсии для мониторинга гидрологического цикла. Его задача – создание гибридной сенсорной сети между мобильными и стационарными узлами и интеграция специализированных датчиков качества воды. Система "Smart Water" состоит из мобильной беспроводной сенсорной сети, которая может быть быстро развернута на определённой территории для контроля качества воды путём измерения таких параметров, как pH, электропроводность, окислительно-восстановительный потенциал (редокс), растворённый кислород (DO) и мутность. Совместное применение технологий Esri и IBM позволила заказчику легко интегрировать новые датчики.

"Разумная вода", г. Сан-Франциско. Комиссия по коммунальному хозяйству города Сан-Франциско (San Francisco Public Utilities Commission, SFPUC) использует ПО, разработанное IBM и Esri, для помощи в уменьшении загрязнения воды, которая окружает город с трёх сторон – в заливе Сан-Франциско и Тихом океане. Наряду с ПО IBM Maximo Asset Management, фирма Wastewater Enterprise, принадлежащая SFPUC, использует программное обеспечение ArcGIS для определения местонахождения и пространственного учёта активов. Благодаря программному обеспечению для управления активами IBM Maximo Asset Management и Esri ArcGIS, организация SFPUC теперь значительно лучше осведомлена о своих операциях технического обслуживания и о состоянии физической инфраструктуры, с актуальностью данных о техническом обслуживании и текущем ремонте оборудования на уровне почти реального времени. Примененное ПО также интегрировано с системами городских сервисных служб 311 и 28-CLEAN – справочно-диспетчерскими центрами, в которые люди обращаются с «не аварийными» (не критичными) проблемами, подобно ямам на дорогах, брошенным автомобилям, открытым крышкам смотровых колодцев, засорившимся ливневым стокам и пр.

Значение внедрения проектов "Разумная вода" иллюстрируют результаты исследований, проведённых фондом водных инноваций США. Вот некоторые отмеченные в них ключевые моменты:

- средний счёт для жителя за воду поднялся от \$17 (питьевая вода) и \$22 (канализация) в 2001 году до соответственно \$28 и \$36 в 2010 году;
  - потребуется 15-20 лет постоянных крупных инвестиций для стабилизации и модернизации водной системы США;
  - предположительные затраты на ремонт водной инфраструктуры в США оцениваются в \$365 млрд.;
  - Smart Water сохранил \$102 млрд. (28%);
  - затраты на развёртывание Smart Water составят примерно \$19,2 млрд.;
  - общая экономия составит \$82,8 млрд.
- Отметим основные экономические и другие эффекты от внедрения совместных решений Esri-IBM по "Разумной воде":
- улучшение качества воды;
  - снижение потерь при транспортировке;
  - баланс спроса и предложения воды;
  - распределение водных ресурсов по всем областям региона;
  - контроль эксплуатационных характеристик систем водоснабжения;
  - повышение эффективности ремонтных работ в системе водоснабжения;
  - контроль качества обслуживания систем водоснабжения;
  - снижение затрат на обслуживание в среднем на 30%;
  - контроль и снижение расходов, связанных с

противоправными действиями, в среднем на 20%;

- контроль утечек в домах – сохранение 177 млрд. литров в год за счёт сохранения 5% воды в США;
- повышение информированности пользователей о расходах воды – сокращение потребления воды на 10%;
- сокращение времени обслуживания клиентов в среднем на 20%;
- установка интеллектуальных счётчиков воды приводит к сокращению потребления воды в среднем на 10-15%;
- увеличение срока службы оборудования за счет улучшения планирования средствами ГИС;
- гарантия поставки чистой воды – улучшение репутации компании и повышение доверия к ней в глазах потребителей;
- уменьшение времени реагирования на чрезвычайные ситуации;
- повышение безопасности на объектах;
- экономия на затратах на электроэнергию до 40%;
- снижение потерь в сетях распределения воды в среднем на 5-7%;
- прогнозирование и улучшение планирования ремонтных работ, а так же управление ими;
- улучшение структурированности документации, отчетности, автоматическое формирование запросов;
- дистанционный стоимостной анализ, учёт пространства при проектировании позволяет разместить активы эффективнее в среднем на 30%;
- прогнозирование спроса на услуги так же позволяет эффективнее распределить активы;
- и другие эффекты.

Как следствие вышеперечисленных факторов – совместные решения для водоканалов, предлагаемые компаниями IBM и Esri, обеспечивают возможность пересмотра ценообразования, увеличение скорости возврата капитала на объект, снижение стоимости владения активами. Кроме того, они позволяют в заданные сроки и с расчётом финансово-экономических эффектов осуществлять практическую модернизацию сферы ЖКХ в части управления активами сетей водоснабжения/водоотведения. С их помощью обеспечивается встраивание принятых международных и российских стандартов и правил непосредственно в онлайн-решения, обеспечивающие обработку сотен тысяч транзакций в секунду для построения адаптирующихся систем, работающих на любом спектре объективных данных.

Понятно, что именно информация или данные о здоровье человека и составляют большую часть больших данных в умных городах, и мы об этом уже много писали в своих статьях. Вот небольшая, но крайне примечательная работа [5].

Очень примечателен автор Jacob West – стратегический советник Института глобального здравоохранения Гарварда и бывший директор программы Комиссии здравоохранения Лондона. Этого достаточно, чтобы доверять его точке зрения (не беря во внимание колоссальный авторитет VINCI). Вот что он пишет [6]:

"Города - это место экстримов. Они создают условия для заболеваний своих жителей от ожирения до астмы. Только один из 8 городов имеет качество воздуха соответствующего стандарту качества. В Индии, вдвое больше людей болеют диабетом в городах, чем в сельской местности (тут, кстати, исчезает один из мифов, что жители Индии из-за особенностей питания вообще не болеют диабетом). Но города могут решить так же и многие проблемы здоровья своих жителей".

Далее автор приводит известную историю по строительству в Лондоне современной канализации после страшных эпидемий холеры (Россия так имеет печальный опыт встреч с этой болезнью). Собственно строительство было начато в 1854 году и завершено к 1880 году. Исчезли "миазмы", гигиена города существенно улучшилась и холера в таких масштабах ушла в прошлое.

Далее он анализирует положительные результаты Нью-Йорка и Лондона по решению этих проблем и приходит к очень простому выводу, что сегодня речь идет не о здравоохранении, а о здоровье граждан - жителей городов и программы должны из этого жителецентрического подхода собственно и исходить.

Интересный подход к оценке качества воды представлен в работе [7].

В России по общим показателям проблем с наличием воды, казалось бы, нет. Однако водные ресурсы распределены крайне неравномерно, только 10% этих ресурсов размещены в Европейской части страны, где проживает 70% населения. Питьевая вода не соответствует санитарным стандартам, и большинство городского населения потребляет бутилированную воду (в Лондоне, как и во многих других городах цифровой экономики, население потребляет воду из водопроводной сети). В большинстве небольших поселений отсутствуют как системы водоснабжения, так и системы водоотведения. [8]. Наличие директивно утверждаемых цен на воду делает организации водоканалов малоинтересными для инвестиций [8]. Нельзя сказать, что проблемам воды не уделяется достаточного внимания. Помимо [8] можно рекомендовать и не менее добротное исследование [9]. Однако проведенные исследования опирались на постулаты аналоговой экономики и не рассматривали возможности цифровой экономики. Попытке восполнить этот существенный пробел и посвящена настоящая статья.

#### БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Unaccounted-for Water, UFW [http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/COUNTRIES/MEN\\_AEXT/EXTMNAREGTOPWATRES/0,,contentMDK:22356658~pagePK:34004173~piPK:34003707~theSitePK:497164,00.html](http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/COUNTRIES/MEN_AEXT/EXTMNAREGTOPWATRES/0,,contentMDK:22356658~pagePK:34004173~piPK:34003707~theSitePK:497164,00.html).
- [2] Сарычев Д. С., Скворцов А. В., Слюсаренко С. Г. Применение графовых моделей для анализа инженерных сетей //Вестник Томского государственного университета. – 2002. – №. 275.
- [3] Maidment D. R. Arc Hydro: GIS for water resources. – ESRI, Inc., 2002. – Т. 1.
- [4] Martin P. H. et al. INTERFACING GIS WITH WATER RESOURCE MODELS: A STATE OF THE ART REVIEW1 //JAWRA Journal of



the American Water Resources Association. – 2005. – T. 41. – №. 6. – C. 1471-1487.

- [5] The paradox of City Health. How Cities Can Use their Assets to Improve Population Health. VINCI, La Fabrique de la Cite 2015
- [6] Designing Cities for Health. VINCI, La Fabrique de la Cite 2015.
- [7] Rapousis N., Katsarakis M., Papadopouli M. QoWater–A crowdsourcing approach for assessing the water quality //Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Cyber-Physical Systems for Smart Water Networks. – ACM, 2015. – C. 11.
- [8] O.Saritas, L. Proskuryakova, E.Kyzyngasheva " Water resources - An Analysis of Trends, weak signals and Wild Cards with Implications for Russia" National Research University Higher School of Economic 2015 WP BRP 35/STI/2015
- [9] Liliana N. Proskuryakova "Water Resources 2030. Policy Recommendation" National Research University Higher School of Economic 2015 WP BRP 44/STI/2015

# "Reasonable Water": Integrated Water Resources Management on the basis of smart technologies and models for smart cities

Vasily Kupriyanovsky, Anton Schichko, Dmitry Namiot, Julia Kupriyanovsky

**Abstract—** This article is dedicated to one of the most important aspects of the concept of Smart Cities - water management. The paper deals with the general issues of application of geo-information systems (GIS) for water supply. We describe the models of water supply systems, representation of GIS objects in models of water supply systems, the research and models of companies Esri and IBM.

*Keywords*—GIS, hydraulic, Smart City