

DOI:

## ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ КРУПНОМАСШТАБНЫМИ КИБЕР-ФИЗИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ РАЗЛИЧНЫХ СТРАН

**Фомин Н.А., Мещеряков Р.В.**

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,  
Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная д.65  
science-fomin@yandex.ru*

*Аннотация: проанализированы модели управления крупномасштабными кибер-физическими системами водоснабжения городов различных стран - Азии (Китай и Сингапур), США, Англии и Европы, России. Были выявлены недостатки в моделях управления, которые обусловлены современными потенциальными угрозами дефицита воды, деградацией водных источников и рисков химико-биологического заражения.*

Ключевые слова: умный город, кибер-физические системы, цифровой водоканал.

### Введение

Для формирования перечня особенностей моделей управления кибер-физическими системами водоснабжения современных городов проведем исследования текущего состояния водных ресурсов в каждой из анализируемых стран. Оценке подлежит уровень обеспеченности водными ресурсами и доступность водных ресурсов. В основе первичной оценки будет анализ существующих подходов к управлению ресурсами государств, стратегий управления водными ресурсами. Помимо этого, требуется проанализировать существующие базовые проблемы в области водообеспечения, с которыми сталкиваются анализируемые страны. На основе проблем отрасли водоснабжения будет проанализирован подход к моделям управления кибер-физическими системами водоснабжения современных городов. Оценке подлежат проекты в области автоматизации водоснабжения, централизации обмена данных, внедрения типизированных решений в умных городах. Особое внимание уделено проблемам управления кибер-физическими системами водоснабжения современных городов ввиду сложности построения, возникновения дополнительных угроз обеспечения безопасности функционирования систем, в том числе кибер-угроз.

### 1 Оценка текущего состояния и проблем управления водными ресурсами современных городов

#### 1.1 Азия (Китай и Сингапур)

Проблемы, связанные с водой, серьезно тормозили экономическое развитие Китая, особенно в последние десятилетия, в то время как страна переживает быстрый экономический рост. Было принято решение о необходимости модернизации подхода к управлению водными ресурсами. Для достижения поставленных целей восстановления и развития национальной экономики, а также для решения проблемы нехватки воды в 1998 году была сформулирована китайская «водная повестка дня на XXI век». В этом документе основное внимание было уделено реализации этой стратегии и обсуждается подход Китая к решению своих проблем нехватки воды в целях обеспечения устойчивого социально-экономического развития.

Анализируя более продолжительный период, например, 1956-2010, с точки зрения изменения климатических характеристик, уровня потребления водных ресурсов Китая, можно отметить следующее: среднегодовые водные ресурсы региона реки Хайхэ и Хуанхэ в Северном Китае за последние 20 лет сократились на 19% и 17% соответственно. Водные ресурсы увеличились в южных и северо-западных речных регионах, особенно в Северо-Западном речном регионе, причем за последние 20 лет их амплитуда возросла почти на 10%. Межгодовые колебания национальных водных ресурсов стали более значительными в последние 20 лет, по сравнению с периодом 1961-1990 годов [1].

Феномен сингапурского эффективного управления водными ресурсами является показательным и эталонным для многих современных городов и стран. Особенность этого феномена обусловлена исторически. Немного обратим внимание на развитие крупномасштабных кибер-физических систем водоснабжения с исторической точки зрения.

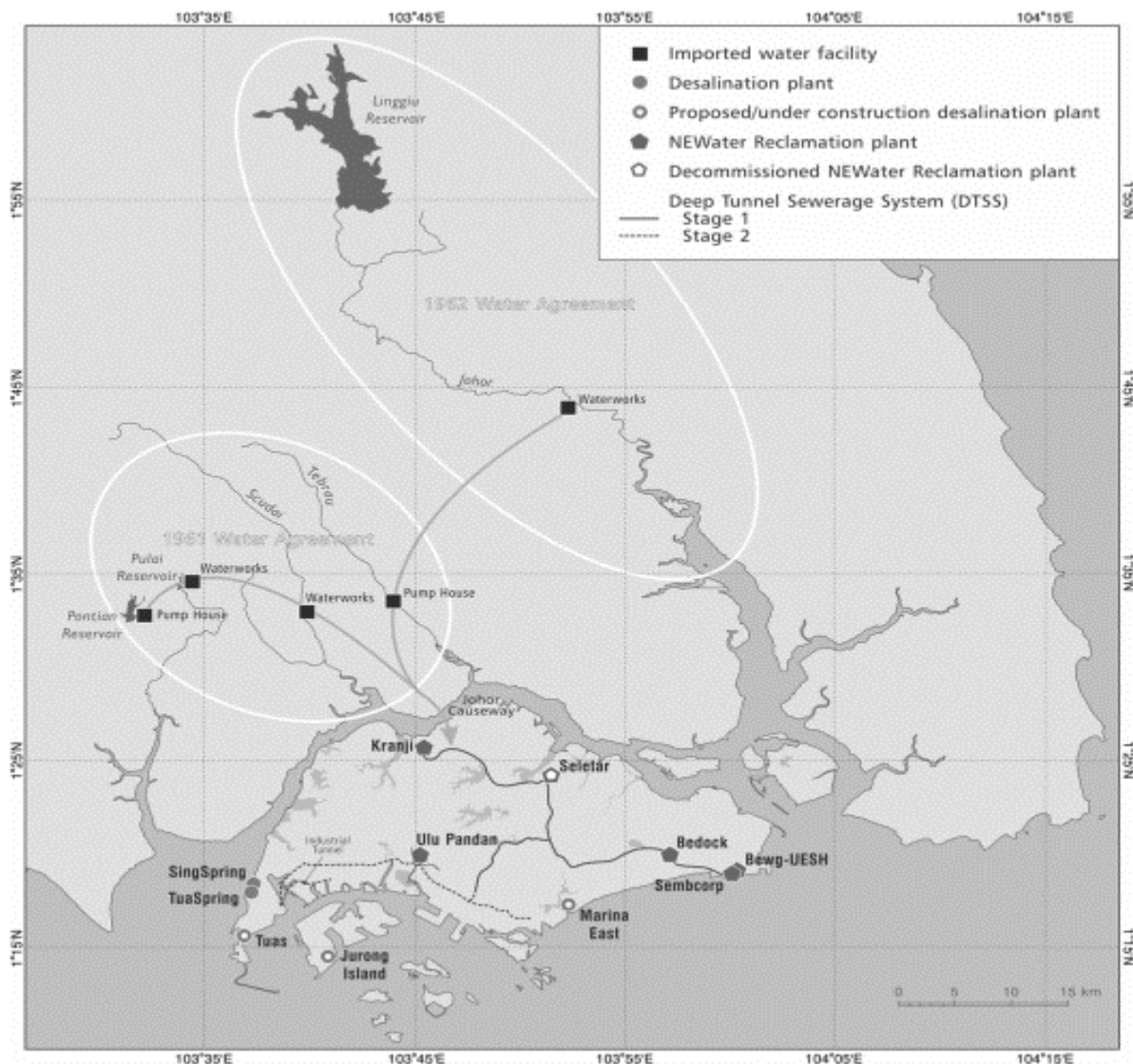


Рис. 1. Система водоснабжения Сингапура

В период насильного вывода Сингапура из состава Малайзии, которое произошло в ходе ожесточенных противостояний, правительство Малайзии исключило Сингапур из состава страны. В 1965 году Сингапур официально объявил о своей государственной независимости. При этом сохранилась прямая зависимость от обеспечения водой государства из соседней Малайзии. Ли Куан Ю образно описал Сингапур как «сердце без тела», ссылаясь на изолированную островную географию страны и отсутствие внутренних районов для получения воды, продовольствия и энергии. Политика модернизаций Сингапура была направлена на формирование трансграничных связей с региональными и глобальными рынками с целью экономической интеграции и ресурсной безопасности. Произошел стремительный рост числа ученых-исследователей и инженеров направленных на создание знаний и продукции с высокой добавленной стоимостью. В 1990-е годы импортная вода из Малайзии становилась все более уязвимой из-за ухудшения дипломатических отношений. Сингапур принял решение об использовании обратного осмоса для снижения зависимости от Малайзии. Впоследствии водное ведомство было подключено к глобальным отраслевым сетям, технологически и институционально реконфигурировав государство с помощью интегрированного управления, корпоративных посредников и стратегических узлов. К 2060 году технология обратного осмоса, как ожидается, сможет обеспечить 85% водоснабжения [2].

## 1.2 США

США занимает 3 место по уровню водообеспеченности. Ещё в 17 веке в момент становления государственности в США и зарождения города Бостон - исторически этот район США называется Новой Англией. Место для которого было выбрано исходя из особенностей климатических условий, наличия доступа к ресурсам пресной воды для обеспечения агломерации. Началось развитие

Массачусетского залива-гавани Бостона, причем до этого времени эта местность была мало исследована [3]. В октябре 1848 года тысячи людей со всей Новой Англии собрались в Бостоне, чтобы отпраздновать завершение строительства первой городской системы водоснабжения и появление чистого источника воды для питья, купания, приготовления пищи и уборки [4]. Технологическое развитие Бостона обусловлено, в том числе и созданием вблизи города одних из ведущих образовательных учреждений - Гарвардского университета и Массачусетского технологического института, научные разработки которых были использованы, в том числе с целью модернизации систем водообеспечения Бостона по мере его развития [5].

Несмотря на создание современных крупномасштабных кибер-физических систем водоснабжения в США, таких как резерв воды в Нью-Йорке, строительство тоннеля для отвода ливневых вод в Чикаго. Стратегически города становятся зависимыми от собственников систем водоснабжения. Частные инвестиционные компании и инвестиционные фонды, ориентированные на воду, являются значительными инвесторами в частные компании, которые управляют муниципальными водохозяйственными работами в США. Это привело к тому, что большая часть государственной водной инфраструктуры в стране была приватизирована и удерживалась международными инвесторами в качестве секьюритизированных активов. [6].

### 1.3 Англия и Европейский союз

Обеспеченность Англии и стран Европейского союза является высокой, сохраняя и высокий уровень доступности к водным ресурсам. В то же время имеются существенные проблемы повышенного износа систем водоснабжения, которые сказываются на качестве поставляемой воды потребителям. Безусловно пересмотр политики управления стратегическими ресурсами водоснабжения для Европейского союза имел важное значение. В период с 1990 по 2012 годы была проведена огромная работа по анализу текущего состояния водных ресурсов, перепись, оценка уровня загрязненности источников и их классификация. Проведенная политика Европейского союза в части управления водными ресурсами способствовала повышению качества воды в государствах-членах [7]. Увеличение численности современных городов, урбанизация также является одной из предпосылок пересмотра моделей управления кибер-физическими системами водоснабжения городов Англии и Европейского союза. Важно отметить, что происходит как внутренняя, так и внешняя миграция за счет притока иностранцев, беженцев.

Главным принципом организации водного хозяйства Англии и Европейского союза является консерватизм. Приведем пример моделей управления:

«Немецкая модель» с акционерными обществами, обычно принадлежащими местным властям;

«Французская модель» с высокой долей государственно-частного партнерства;

«Английская модель» с инфраструктурой водоснабжения, приватизированной по бассейновому принципу (а не по поселенческому).

Кроме того, в континентальной Европе инвестиции в этот сектор обычно привлекаются через государственные займы (т. е. муниципальные облигации), даже в случае государственно-частного партнерства. Причина этого довольно прагматична: государственные займы дешевле частных. Принципиальное значение имеет то, что инвестиции редко осуществляются из текущего бюджета, а кредиты окупаются за счет хозяйственной деятельности предприятий водоснабжения [8].

Изменение климата влияет на водные ресурсы во всем мире, и Южная Европа является одной из областей, где дефицит воды, как ожидается, увеличится в будущем. Некоторые части этого региона уже испытывают водный стресс и что изменение климата может оказать большое влияние на сектор водоснабжения. Поскольку сельское хозяйство является крупнейшим потребителем воды в мире, а также в этом конкретном регионе, потенциальная нехватка воды приведет к необходимости поиска новых источников воды. Для снижения дефицита воды [9] на юге Европы 4 страны из 15 уже приняли правила повторного использования сточных вод (Греция, Италия, Португалия и Испания).

### 1.4 Россия

Российская Федерация занимает второе место по объему водных ресурсов после Бразилии. При этом доступность водных ресурсов высокого качества остается серьезной задачей. В России наряду с другими странами имеются существенные проблемы в отрасли водоснабжения. На уровне государства приняты первые проекты за последние 20 лет по обновлению инфраструктуры водоснабжения городов.

Стратегический подход позволит получить положительный эффект от управления водными ресурсами в стране, дополнительный экономический рост, комплексно решить существующие проблемы отрасли и снизить потенциальные уязвимости управления кибер-физическими системами

современных городов. Требуется решать задачи, связанными с охраной водных ресурсов, питьевым водоснабжением, водопроводными сетями, моделями потребления, сбросом воды, очисткой и повторным использованием. Эффективность этих мер доказана многими странами, в том числе перечисленных в текущем исследовании. На рисунке 2 приведена структурная модель системы управления водоснабжением [10], описывающая основные компоненты системы и ее архитектурные особенности. Устройства ввода/вывода включают специализированные датчики и исполнительные устройства. Датчики отвечают за получение измерений, связанных с конкретными физическими процессами. Это позволяет верхнеуровнево представить кибер-физическую модель управления водоснабжением. Особенности управления и потенциальных угроз кибер-физических систем водоснабжения рассмотрены в разделе 2.



Рис. 2. Модель системы управления водоснабжения

## 2 Выявление особенностей моделей управления кибер-физическими системами водоснабжения при построении умных городов

### 2.1 Азия (Китай и Сингапур)

Технологическое развитие Азиатско-Тихоокеанского региона затронуло и управление крупномасштабными кибер-физическими системами водоснабжения при построении умных городов. Стремительный экономический рост потребовал изменения стратегий управления водными ресурсами. Урбанизация потребовала повышения требований к водным ресурсам, их количеству и качеству. Созданные промышленные предприятия, которые производят продукцию для многих отраслей мировой экономики, также потребовали существенного количества воды.

Северная часть Китая является вододефицитной. Для решения этого вопроса по обеспечению жителей северных провинций, включая столицу Пекин, было принято решение о строительстве канала South to North. Подобный проект по переброске воды был реализован в Советском Союзе - Северокрымский канал с целью обеспечения водой Крымского полуострова. Помимо этого, в Китае созданы и успешно реализуются стратегии управления и сохранения водных ресурсов. Целью стратегических документов является повышение водной безопасности страны.

Однако несмотря на имеющийся стратегический подход к решению вопросов управления водными ресурсами [11] указывают на наличие проблем в западном Китае. Начиная с 21-го века, ледники в западном Китае таяли с очень высокой скоростью; озера на Тибетском плато быстро расширялись, но озера в других регионах сильно пострадали от людей; а подземные воды на Северо-Китайской равнине все больше истощаются. В целом водные ресурсы страны ежегодно сокращаются примерно на 9,6 миллиарда кубометров. Осадки были доминирующим фактором, контролирующим наблюдаемые изменения в водных ресурсах, но человеческая деятельность и повышение температуры также были основными факторами сокращения водных ресурсов в Северо-Китайской равнине и Тибете,

соответственно. С глобальной точки зрения изменения в водных ресурсах Китая являются одними из наиболее заметных на Земле, и водная политика должна быть пересмотрена.

Сингапур применяет комбинированную модель управления кибер-физическими системами водоснабжения для балансирования экономических и экологических издержек трехступенчатой городской системы водоснабжения. Она включает в себя процессы производства, распределения и очистки воды. Учитывая различное отношение к растущему дисбалансу между спросом и предложением воды, разработаны три гипотетических сценария [12], на основе которых определены три набора данных о спросе на воду и объемах производства сточных вод. Осуществлено моделирование применения комбинированного подхода использования водных ресурсов Сингапура. Предложенная двухцелевая модель позволило сформировать управленческое понимание использования альтернативных водных ресурсов. Например, в 2020 году потребность в воде моделируется как  $5,63 \times 10^8$  м<sup>3</sup>. После оптимизации с использованием предложенной модели количество альтернативной воды составляет  $2,5 \times 10^8$  м<sup>3</sup> (вода из местного водосбора),  $2,5 \times 10^8$  м<sup>3</sup> (импортная вода),  $5,31 \times 10^7$  м<sup>3</sup> (опресненная вода),  $4,05 \times 10^7$  м<sup>3</sup> (Новая Вода для непрямого питьевого использования) и  $8,10 \times 10^7$  м<sup>3</sup> (Новая Вода для прямого использования). Общее водоснабжение составляет  $6,75 \times 10^8$  м<sup>3</sup> - это означает наличие некоторой избыточности в водоснабжении. Кроме того, показатели соотношения спроса и предложения, экономические издержки и экологические издержки помогают определить подходящий период планирования. В целом, предложенная модель балансирует компромисс между риском увеличения будущего дисбаланса спроса и предложения и текущей адекватностью водных ресурсов. Выявлено, что комплексное управление и долгосрочный стратегический подход управления водными ресурсами способствовал достижению лучших результатов в области водной безопасности в Сингапуре. Интеграция служб водоснабжения и водоотведения в единое ведомство способствует внедрению повторного использования воды в масштабах всего города.

## 2.2 США

США Современные цифровые технологии активно применяются в области повышения эффективности управления кибер-физическими системами водоснабжения современных городов США. Рассматривая особенности моделей управления кибер-физическими системами водоснабжения при построении умных городов важно обратить внимание на использование комплексного подхода. Комплексный подход представлен решением существующих проблем отрасли водоснабжения, применением современных технологий для повышения эффективности управления, а также нейтрализация потенциальных уязвимостей систем. В США как и во многих странах повышенный износ систем водоснабжения, что приводит к повышению потерь воды. Проблема обнаружения и определения местоположения потерь воды в последние годы получила большое внимание [13]. За счет зонального разделения сети, сценарного моделирования нормальной работы трубопроводной сети и сопоставления с фактическими показателями с оборудования, позволяет определить местоположение зоны утечки. За счет внедрения подхода к обнаружению и локализации утечек в водораспределительных сетях с использованием цифровых технологий США планирует существенно минимизировать потери, и как следствие повысить эффективность управления.

Основными угрозами являются вододефицит крупных агломераций, потенциальное загрязнение и заражение источников водоснабжения, управление природными осадками - предотвращение затоплений город за счет модернизации систем водоотведения, а также угрозы нарушения кибер-физической безопасности.

Примером крупномасштабной системы резервирования источников водоснабжения Нью-Йорка. Благодаря данному проекту повысился уровень стратегической безопасности крупнейшего города США за счет резервирования источников водоснабжения. Если рассматривать внедрение систем мониторинга, состояния водных объектов - введены требования по контролю качества воды с применением кибер-физических систем локального и дистанционного мониторинга. На водоеме устанавливаются мобильные станции анализа и мониторинга ключевых показателей воды. Информация с этого оборудования поступает в центр управления и анализа. Помимо качественных показателей измеряются количественные показатели в водоемах. В городе Чикаго проблему управления природными осадками решили с помощью дополнительного канала «Chicago Deer Tunnel», соединенного с одним из крупнейших карьеров Торнтон. Он расположен в Торнтон, штат Иллинойс, к югу от Чикаго. Данный карьер является резервуаром для сокращения обратного потока ливневых вод и сточных вод из рек Чикаго в озеро Мичиган. В свою очередь Филадельфия - пятый по величине город страны, противопоставляет себя политике Чикаго по управлению ливневыми водами.

Руководство Филадельфии объявило о планах потратить 2,5 миллиарда долларов с 2011 по 2036 год, чтобы превратить 10 000 акров Филадельфии в зеленые насаждения, тем самым город превратить в «губку» и предотвратить возможные подтопления.

С переходом водораспределительных систем на более интеллектуальные элементы интеллектуальных сетей водоснабжения, такие как программируемые логические элементы управления, датчики, клапаны и системы диспетчерского управления и сбора данных (SCADA), стали играть более значительную роль. Увеличение количества цифрового оборудования, наличие интеллектуальных систем управления способствует повышению уровня уязвимости к вредоносным вторжениям, кибер-физическим атакам. Благодаря своевременному внесению изменений в архитектуры построения умных городов США стало возможно повысить эффективность от использования современных технологий в умных городах.

Рассматривая возможные инциденты безопасности системы управления водоснабжением, сформулированы правила корреляции инцидентов безопасности, а также проведены моделирование и выявление этих событий на разработанном прототипе модели системы управления водоснабжением. Целевая система реагирует на следующие события: изменение уровня воды в резервуаре; изменение давления воды в резервуаре; изменение потока воды через шлюз; изменение состояния затвора. При любом из этих событий, система проводит аналитическую обработку данных в части их корреляции и формирования инцидентов безопасности.

Инцидент безопасности формулируется в виде пары  $(I, t_0)$ , где  $I$  — набор взаимосвязанных событий, произошедших в системе за временной промежуток  $t_0$ . Формирование инцидента свидетельствует о наличие действий атакующего, направленных на нарушение одного или нескольких требований информационной безопасности. В общем виде правило корреляции событий имеет следующий вид:

$$(1) (\{ev\ sw_i\}_i \cup \{ev\ ph_i\}, t) \rightarrow Type_{Inc}$$

где  $ev\ sw_i$  — набор событий программно-информационного характера, в  $ev\ ph_i$  — события физического характера, выполнение которых в рамках фиксированного временного промежутка  $t$ , определяет наличие инцидента заданного типа  $Type_{Inc}$ . Снижение вероятности кибер-атак на инфраструктуру управления водоснабжением достигается за счет снижения уязвимостей систем. Данные с оборудования шифруются, доступ к нему ограничен и контролируем. Потенциальные уязвимости крупномасштабных кибер-физических систем тестируются, учитывая существующие системы и потенциальные угрозы [10].

### 2.3 Англия и Европейский союз

Особенность управления крупномасштабными кибер-физическими системами водоснабжения умных городов Англии и Европы можно описать как стандартизация и использование технологий BIM - Building Information Modeling, а также оснащение городов IoT-устройствами. При проектировании умных городов Англии было принято решение о необходимости создания стандартов умных городов на основе технологий BIM. Это позволило получить комплексное представление не только о конкретной системе, а взаимосвязи и зависимости спектра систем между друг другом. Эти стандарты для многих стран стали эталонными и взяты за основу, как в области применения технологий BIM, так и создания умных городов.

Масштаб IoT-устройств растет даже быстрее, чем население планеты. В 2020 году более 20 миллиардов IoT-устройств уже подключены к сети, по сравнению с 7,8 миллиарда человек в мире. Как ожидается, IoT-устройства будут предоставлять «умные знания», необходимые для решения общих повседневных проблем в различных областях например, образование, здравоохранение, коммунальные услуги, транспорт, а также общественные и жилые здания. Архитектуры построения умных городов Англии и Европейского союза, за счет оснащения распределенными датчиками и оборудования контроля, анализа и управления в реальном времени, привели к увеличению уязвимостей систем и как результат потенциальных угроз функционирования кибер-физических систем водоснабжения. Многие вопросы кибер-безопасности являются результатом системной интеграции. Обеспечение безопасности как на уровне Интернета вещей, так и на уровне сети имеет решающее значение для работы системы в целом. По сравнению с компонентами физического сетевого уровня эти интеллектуальные датчики, связанные с интеллектуальными устройствами, являются сердцем кибер-физических систем водоснабжения, участвуют в процессе принятия решений. По сравнению с физическим сетевым уровнем, связанные данные легче выбрать в качестве поражающие точки и даже более уязвимы для

кибератак, потому что хакеры разрушают критические компоненты кибер-физических систем водоснабжения или крадут наиболее важные данные, сохраненные в базе данных (рисунок 3).

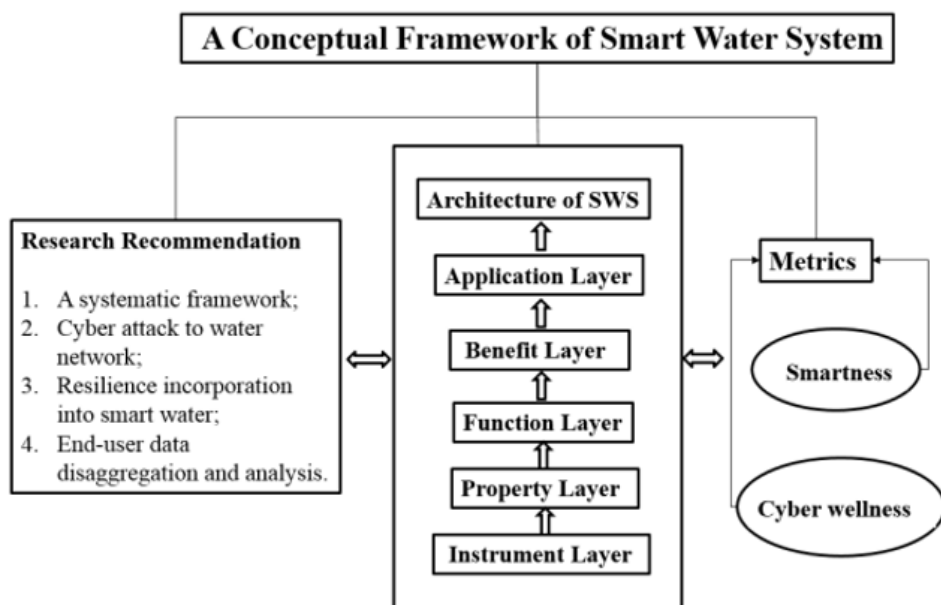


Рис. 3. Архитектура умной системы водоснабжения

Новейшие системы информационных центров и центров обработки данных уязвимы для хакеров. Существующие проблемы безопасности при использовании Интернет вещей является серьезной общественной проблемой. На текущий момент проведено мало исследований, посвященных защите кибер-физических систем водоснабжения. Различные интеллектуальные устройства, такие как датчики, регистраторы, контроллеры, играют различную роль в системах водоснабжения. При этом представляют серьезную уязвимость функционирования систем. При проектировании систем необходимо разработать эффективные методы и технологии для оценки эффективности защиты микрокомпонентов «умной воды» [14].

#### 2.4 Россия

В России подход к управлению кибер-физическими системами водоснабжения при построении умных городов находится на начальном этапе. Существующие проблемы состояния отрасли водоснабжения требуют существенных инвестиций. Имеется повышенный износ как систем так и оборудования водоснабжения. На текущий момент параллельно существуют два государственных проекта: 1. Безопасный город - курируемый Министерством по чрезвычайным ситуациям; 2. Умный город - Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства. На государственном уровне еще не приняты единые стандарты к построению умных городов. Использование BIM технологий находится в начальной фазе - приняты первые государственные стандарты, создаются собственное российское программное обеспечение, реализуются первые эксперименты прохождения государственной экспертизы с использованием BIM технологий.

Несмотря на высокий уровень наличия водных ресурсов и относительной степени доступности, сохраняется риск вододефицита, отсутствует классификация химико-биологических заражений. Модели управления кибер-физическими системами управления водными ресурсами - имеют повышенные риски. Наряду с потенциальными чрезвычайными ситуациями техногенного и антропогенного характера, а также появления дополнительных уязвимостей в случае перехода к управлению с применением IoT устройств и иного цифрового оборудования инфраструктуры водоснабжения умных городов. Стратегических подходов к управлению водными ресурсами в других странах доказал свою эффективность. Российской Федерации также требуется учесть существующие уязвимости и угрозы при стандартизации умных городов, управления водными ресурсами, для повышения уровня стратегической безопасности.

#### Заключение

Оценка стратегического подхода к управлению кибер-физическими системами водоснабжения современных городов Азии (Китай и Сингапур), США, Англии, Европы и России позволила выявить

недостатки управления. Недостатки связаны с потенциальными угрозами дефицита воды, деградацией водных источников и рисков химико-биологического заражения. Использование инноваций при создании умных городов зачастую не решает существующих потенциальных рисков дефицита воды. В большинстве случаев современные города имеют единственный источник водоснабжения, архитектура построения кибер-физических систем требует совершенствования. На основе моделей управления кибер-физическими системами водоснабжения и существующих потенциальных угроз, сформирован перечень особенностей моделей управления крупномасштабными системами водоснабжения современных городов. Совершенствование моделей управления кибер-физическими системами водоснабжения направлена на создание резервных источников водоснабжения и оснащения системами мониторинга качества водных ресурсов. Резервирование позволяет снизить риски дефицита воды в условиях чрезвычайных ситуаций и изменения климата. Системы мониторинга позволяют повысить уровень контроля за фактическим расходом ресурсов, повысить качество воды. Безусловно дополнительное оборудование требует издержек и соблюдения безопасности его использования. Кибер-угрозы современных систем управления являются особой формой угроз, которые должны быть учтены при модернизации архитектур умных городов. Сформированный перечень особенностей моделей управления крупномасштабными системами водоснабжения городов различных стран стал основой имитационного моделирования управления кибер-физическими системами водоснабжения современных городов.

## Литература

1. *Li, Y. Y., Cao, J. T., Shen, F. X., & Xia, J.* The changes of renewable water resources in China during 1956-2010 // *Science China-Earth Sciences*. 57(8), 2014. - P.1825-1833. doi:10.1007/s11430-013-4818-8.
2. *Usher, M.* Desali-nation: Techno-diplomacy and hydraulic state restructuring through reverse osmosis membranes in Singapore // *Transactions of the Institute of British Geographers*. 44(1). 2019. - P.110-124. doi:10.1111/tran.12256.
3. *Snow C. H.* A History of Boston: The Metropolis of Massachusetts, from Its Origin to the Present Period; with Some Account of the Environs. – A. Bowen, 1828.
4. *Rawson, M.* The nature of water: reform and the antebellum crusade for municipal water in Boston // *Environmental history*. 9(3). 2004. – P.411-435.
5. *Nesson F. L.* Great waters: a history of Boston's water supply. – Brandeis Univ, 1983.
6. *de San Miguel, J.* Water governance in the USA // *Management of Environmental Quality*, 31(1). 2020. – P. 130-145. doi:10.1108/meq-05-2019-0104.
7. *Steinebach Y.* Water Quality and the Effectiveness of European Union Policies // *Water*. Vol. 11. 2019, №. 11. - P. 2244. doi:10.3390/w11112244.
8. *Saritas, O., & Proskuryakova, L. N.* Water resources - an analysis of trends, weak signals and wild cards with implications for Russia // *Foresight*, 19(2), 2017. – P.152-173. doi:10.1108/fs-07-2016-0033.
9. *Lavrnic, S., Zapater-Pereyra, M., & Mancini, M. L.* Water Scarcity and Wastewater Reuse Standards in Southern Europe: Focus on Agriculture // *Water Air and Soil Pollution*, 228(7), 12, 2017. – P. 251-270. doi:10.1007/s11270-017-3425-2.
10. *Десницкий В.А.* Модель киберфизической системы управления водоснабжением для анализа инцидентов безопасности // *Информационные технологии и телекоммуникации*, т.5, 2017. №3. - С. 93-102.
11. *Tao, S. L., Zhang, H., Feng, Y. H., Zhu, J. L., Cai, Q., Xiong, X. Y., et al.* Changes in China's water resources in the early 21st century // *Frontiers in Ecology and the Environment*, 18(4), 2020. P. 188-192. doi:10.1002/fee.2164.
12. *Xu, Z. W., Yao, L. M., & Chen, X. D.* Urban water supply system optimization and planning: Bi-objective optimization and system dynamics methods // *Computers & Industrial Engineering*, 142, 2020. №13. – P. 106373. doi:10.1016/j.cie.2020.106373.
13. *Quinones-Grueiro, M., Verde, C., Prieto-Moreno, A., & Llanes-Santiago, O.* AN UNSUPERVISED APPROACH TO LEAK DETECTION AND LOCATION IN WATER DISTRIBUTION NETWORKS // *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, 28(2), 2018. - P. 283-295. doi:10.2478/amcs-2018-0020.
14. *Li, J. D., Yang, X. F., & Sitzenfrei, R.* Rethinking the Framework of Smart Water System: A Review // *Water*, 12(2), 2020. - P. 412-437. doi:10.3390/w12020412.