

## ОНТОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УМНОГО ГОРОДА

В. В. Краснопрошин<sup>1</sup>, О. В. Барановский<sup>2</sup>, А. Н. Вальвачев<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Д. т. н., профессор, зав. кафедрой информационных систем управления Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь

<sup>2</sup> Соискатель кафедры информационных систем управления Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь

<sup>3</sup> К. т. н., доцент кафедры информационных систем управления Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь

### Реферат

В статье рассматриваются вопросы, связанные с проблемами моделирования «умного» города и разработки системы мониторинга состояния его сущностей. Описаны модели основных сущностей, алгоритмы их оценивания и библиотека микросервисов с адаптивными паттернами. Показана возможность локализации паттернов и синтеза системы мониторинга в процессе диалога эксперта с чат-ботом. Представлен пример построения модели «умного» города и синтеза релевантной системы мониторинга для оценки уровня его устойчивости при воздействии негативных факторов.

**Ключевые слова:** умный город, онтологии, безопасность, устойчивость, интеллектуальные системы, микросервисы, чат-бот, имитационное моделирование.

## ONTOLOGICAL MODELING OF THE SMART CITY

V. V. Krasnoproshin, O. V. Baranovski, A. N. Valvachev

### Abstract

The article discusses issues related to the problems of modeling a "smart" city and the development of a monitoring system for the state of its entities. Models of basic entities, algorithms for their estimation and a library of microservices with adaptive patterns are described. The possibility of localizing patterns and synthesizing a monitoring system in the process of an expert's dialogue with a chatbot is shown. An example of constructing a model of a "smart" city and synthesizing a relevant monitoring system to assess the level of its sustainability under the influence of negative factors is presented.

**Keywords:** smart city, ontology, safety, stability, intelligent systems, microservices, chatbot, simulation modeling.

### Введение

В настоящее время в мире наблюдается быстрый рост городского населения. Так, согласно данным United Nations Environment Programme, его количество к 2050 г. достигнет 66 % от всего населения Земли [1]. Вместе с тем темпы строительства и благоустройства городов отстают от темпов притока населения, что негативно влияет на качество жизни горожан [2]. Проблемы урбанизации усугубились активизацией процессов миграции и изменения климата. В результате население городов столкнулось с рядом новых угроз, негативно влияющих не только на здоровье людей, но и на экономику, транспорт, образование и окружающую среду. Существующая инфраструктура городов, традиционные методы управления и административные органы оказались не готовы к решению новых проблем [3, 4]. Наглядно это показала пандемия коронавируса COVID-19 в 2019–2020 гг.

Уже в 1980–1990 гг. Р. Акофф, П. Друкер, М. Кастельс и другие известные ученые предлагали научные подходы к решению проблем развития городов на основе достижений научно-технической революции, новых математических методов и информационных технологий. В результате активизации деятельности ученых в 1994 г. сформировалась концепция так называемого «умного города» (smart city, e-city), которая получила развитие в Калифорнийском институте интеллектуальных сообществ [5]. К настоящему времени сложилось несколько интерпретаций этой концепции [6–8]. Их отличие заключается в методах, которые предлагаются для пре-

образования традиционных городов в сообщества, где высокие жизненные стандарты населения и устойчивое экономическое развитие обеспечивается научно-техническими достижениями и информационно-коммуникационными технологиями. Структура таких сообществ включает как минимум девять «умных» взаимодействующих компонентов: управление, людей, жилой фонд, быт людей, транспорт, экономику, энергетику, здравоохранение, образование [7–10, 12–14].

Для описания и моделирования столь сложной структуры необходимо иметь систему понятий, однозначно понимаемую теоретиками и практиками. Однако в современной литературе только для термина «умный город» существует более 40 определений. Приведем наиболее цитируемые из них:

- «место, где традиционные инфраструктура и услуги становятся более эффективными благодаря использованию цифровых технологий в интересах его жителей и бизнеса» (European Commission) [6];
- «результат наукоемких и креативных стратегий, направленных на повышение социально-экономических, экологических, логистических и конкурентных характеристик городов» (K. Kourtiti) [7];
- «городской район, который использует информацию, собираемую различными типами датчиков и устройств, необходимых для мониторинга и эффективного управления инфраструктурой и ее ресурсами» (R. Du) [8].

Обилие вариантов определения одного и того же понятия говорит о том, что понятийный аппарат данной тематики

находится в начальной стадии становления. То же можно сказать об онтологических моделях [9], математическом и программном обеспечении [10, 11]. Поэтому вполне очевидно, что для моделирования «умного» города в целом и его особенностей в частности необходимо кардинально менять существующие подходы, делать их более гибкими, интероперабельными и менее затратными. Для этого необходимо разработать прагматичную систему понятий и определений, унифицированные методы моделирования и интероперабельное программное обеспечение.

Практическая реализация концепции «умного» города стала возможна только в результате увеличения вычислительной мощности компьютеров, построения сети Internet, компьютеризации общества, успехам искусственного интеллекта, микроэлектроники и новых строительных технологий [12, 13]. Согласно IMD Smart City Index в 2020 г. в число наиболее продвинутых «умных» городов вошли Сингапур, Цюрих, Осло, Женева, Копенгаген. При их оценке учитывался уровень внедрения технологий мобильных сетей 5G, интернета вещей, блокчейна, систем безопасности, диагностики заболеваний, геолокации, эффективного использования больших данных и внедрения роботов в инфраструктуру города.

В процессе создания «умных» городов использовались различные подходы, среди них которых можно выделить следующие:

- строительство «с нуля» под жестким контролем систем типа BIM (Building Information Modeling) [13];
- формирование «умных» кварталов при расширении городов;
- создание точечных «умных» объектов в рамках отдельных проектов;
- строительство отдельных функциональных компонентов городской инфраструктуры, например, энергетических сетей.

При реализации указанных подходов возникало множество сложных проблем. К наиболее значимым из них относятся: полисемия терминологии, безопасность, производство большого количества датчиков различного назначения, их оперативное обслуживание, утилизация, гетерогенность показаний сенсоров, сложность адаптации населения к новым технологиям, сложность оперативной оценки устойчивости «умных» городов под воздействием негативных факторов, монолитность архитектуры и высокая стоимость систем мониторинга [6–8, 14].

Различные варианты решения данных проблем обсуждаются в настоящее время в работах таких известных специалистов, как Е. Глезер (E. Glaeser), К. Кэлдер (K. Calder), М. Бэлоу (M. Barlow), К. Кивэн (C. Kirwan), Р. Ду (R. Du) и др. Учитывая быстрые климатические изменения и рост глобальной неопределенности, к наиболее важным нерешенным вопросам относится моделирование «умных» городов с высоким уровнем устойчивости, оперативным выделением проблемных объектов и оперативной реакцией на возникновение чрезвычайных ситуаций [4, 12, 14]. В данной работе предлагается один из возможных вариантов решения этих проблем в рамках парадигмы онтологического моделирования, проактивного мониторинга и микросервисного подхода к разработке программного обеспечения [3].

#### Постановка задачи

На основании вышесказанного можно сделать вывод, что для моделирования «умного» города и оценки его устойчивости необходимо разработать:

- однозначный прагматичный понятийный базис, обеспечивающий формирование цельной картины «умного» города и моделирование его составляющих;
- комплекс онтологических моделей, допускающих уточнение их элементов от момента выбора концепции до уровня программного кода;
- алгоритм преобразования показаний гетерогенных датчиков к типу, удобному для компьютерной обработки;
- выделение классов актуальных задач мониторинга и соответствующих классов алгоритмов для их решения;
- гибкую архитектуру и соответствующее программное обеспечение для решения задач мониторинга на основе выделенных алгоритмов.

Решение указанных задач позволит снизить затраты времени и стоимость процессов моделирования и синтеза систем мониторинга.

#### Понятийный базис

Для решения поставленной задачи необходим комплекс определений, рассчитанный на практическое применение и отражающий реалии уже построенных «умных» городов и тенденции их развития [6, 12]. Предлагается вариант, который не противоречит приведенным выше определениям, но уточняет их с прагматической точки зрения.

Умный город – это совокупность взаимодействующих самоорганизующихся сущностей, решающих тактические и стратегические задачи с помощью информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), датчиков, «умных» устройств и процессов.

Основной задачей создания «умного» города является улучшение качества жизни людей, экономики, транспорта, здравоохранения, образования, окружающей среды.

Сущность – это материальная или виртуальная структура, имеющая датчик и однозначно идентифицируемая в сети. Согласно отчету Cisco AIR, к 2023 г. 66 % населения Земли станут пользователями Интернета. Поэтому различие между людьми и другими сущностями, с точки зрения ИКТ, будет постепенно стираться. Соответственно, людей, здания, автомобили, парки, городские кварталы и другие сущности можно будет оценивать методологически единообразно.

Устойчивость – возможность функционирования сущностей и «умного» города в целом при негативном воздействии внутренних или внешних факторов. Например, при строительстве новых городов в Японии, Китае, Индонезии устойчивость при землетрясениях оценивается в первую очередь. Методы определения основаны на определенном формальном аппарате или экспертных оценках, в частности пороговых значениях для разных воздействий и типов объектов.

Датчик – устройство, имеющее уникальный идентификатор и состоящее из сенсоров и «умного» контроллера. Сенсоры фиксируют изменения параметров сущности, контроллеры обрабатывают их по определенному алгоритму и отправляют результат по заранее заданному адресу в сеть.

Состояние – численное или строковое значение, характеризующее возможность сущности выполнять присущие ей функции.

Управляющее решение – воздействие на сущность, соответствующее его состоянию с целью поддержки гомеостаза или улучшения состояния.

Искусственный интеллект – самообучающийся аппаратно-программный комплекс, способный решать нестандартные задачи определенного класса лучше, чем человек.

Интеллектуальная система мониторинга – искусственный интеллект, способный получать данные от миллионов сущностей «умного» города, оценивать их состояние и принимать решения, обеспечивающие устойчивость города и его составляющих при минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Для оперативной реакции на негативные воздействия система должна использовать проактивный принцип, то есть фиксировать возникновение проблем на начальной стадии их развития и принимать соответствующие управляющие решения [3].

Комплекс предложенных выше определений дает основа для построения необходимых онтологических моделей.

### Онтологические модели

На начальном этапе реализации сложных проектов обычно применяется онтологический подход, формирующий цельный взгляд на проблему, составляющие решения и их отношения [3, 9]. Учитывая накопленный ранее опыт [5, 7, 8, 9], онтологию «умного» города можно представить в виде иерархии, включающей пять видов сущностей: администрацию, компоненты, объекты, связывающие их коммуникации и систему мониторинга как высший уровень, оценивающий устойчивость всех других:

$$\text{SmartCity} = (\text{sys}, A, C, O, \text{com}), \quad (1)$$

где *sys* – система мониторинга; *A* – администрация; *C* – компоненты; *O* – объекты; *com* – коммуникационные каналы.

Учитывая темпы внедрения искусственного интеллекта онтологии сущностей можно представить следующим образом:

$$A = (\text{idA}, \text{niA}, \text{aiA}, \text{dtA}, MA, \text{com}), \quad (2)$$

$$C = (\text{idC}, \text{niC}, \text{aiC}, \text{dtC}, MC, \text{com}), \quad (3)$$

$$O = (\text{idO}, \text{niO}, \text{aiO}, \text{dtO}, MO, \text{com}), \quad (4)$$

где *id* – идентификатор сущности; *ni* – человек; *ai* – интеллектуальная система для поддержки принятия решений; *dt* – датчики; *M* – материально-функциональная часть.

В «умном» городе с десятками тысяч сущностей возможности администратора-человека ограничены, так как он в принципе не в состоянии получить и обработать гигантский поток данных, необходимых для оперативного управления городом. Следовательно, оценивать ситуацию и предлагать решения должна система мониторинга на основе данных, полученных в результате диалога с интеллектуальными системами сущностей. Роль администрации города сводится к подтверждению или коррекции решений системы мониторинга в соответствии с собственными предпочтениями. Соответственно, модель системы мониторинга можно представить как иерархию интеллектуальных систем, объединенных коммуникациями:

$$\text{msys} = (\text{sys}, \text{aiA}, \text{aiB}, \text{aiC}, \text{com}). \quad (5)$$

Унифицированную модель интеллектуальной системы сущности можно описать на основе сформулированных выше определений:

$$\text{ai} = (\text{aiAdr}, \text{algD}, X, \text{algS}, E, V, U, \text{adr}), \quad (6)$$

где *aiAdr* – адрес в сети; *algD* – алгоритм диалога со средой; *X* – значения параметров; *algS* – алгоритм принятия решения; *E* – эталоны или правила вывода решения; *V* – возможные состояния сущности; *U* – управляющие решения; *adr* – адреса для связи с системами других сущностей.

В целом, в онтологии (1)–(6) формируют цельный взгляд на «умный» город и систему мониторинга его сущностей. Для их практического применения необходимо решить проблему нормализации сигналов датчиков, что является необходимым условием для унификации алгоритмов обработки.

### Нормализация значений входных параметров

В задачах мониторинга нормализация показаний множества гетерогенных датчиков составляет отдельную нерешенную проблему. Датчики выпускаются различными компаниями и измеряют широкий спектр параметров природных и искусственных объектов – от уровня вибрации стен и уровня шума от метро до угла наклона несущих конструкций моста и оценки трудоспособности человека. Соответственно, значения параметров могут быть представлены различными типами данных, включая строковые (*string*), численные (*int*, *float*, *double*), логические (*boolean*), символьные (*char*) и обрабатываются множеством специализированных алгоритмов. Для оценки сущности с точки зрения администрации города достаточно одного интегрального показателя, говорящего о возможности сущности выполнять свои функции. Для построения таких показателей можно использовать функции принадлежности теории нечетких множеств Л. Заде [15]. Например, если *X* – сигнал от датчика любого типа, то функция  $\mu$  отображает его в нечеткое множество *A*:  $X \rightarrow [0, 1] \mu A$ . Значение ( $x$ )  $\mu A$  есть число, лежащее между 0 и 1, показывающее степень принадлежности элемента *x* нечеткому множеству *A*. Представив *A* как множество эталонов или продукций, характеризующих состояние объекта, получим простой и понятный механизм нормализации показаний датчиков к удобному для обработки типу *float*. В большинстве случаев целесообразно шкалировать значения показателей по мере снижения функциональности. Например, 0.00–0.33 – новое здание, не требующее ремонта; 0.34–0.66 – необходим профилактический ремонт; 0.67–1.00 – необходим капитальный ремонт. Поэтому если сигнал от датчика составит 0.52, то система будет рекомендовать администрации выполнить профилактический ремонт здания.

### Классификация задач мониторинга

При разработке систем мониторинга для «умных» городов используется множество различных методов оценивания и принятия решений [10], которые сфокусированы на решении конкретных задач. Оригинальность методов значительно повышает стоимость разработки и время отладки программ [3, 10]. Уровень интероперабельности программных модулей, реализующих методы, как правило, недостаточно высок. Классификация методов для поддержки правильного выбора и эффективного применения метода находится в стадии становления [3, 8]. В некоторой мере эти проблемы можно решить, если выделить основные классы задач, сопоставив их с соответствующими методами решения.

В рамках реализации этой идеи выделено четыре класса задач, характерных для существующих «умных» городов [12, 14]:

Класс 1: задачи, решаемые «метрическими» методами (*metr*), основанными на оценке расстояния между образом объекта и заранее заданным экспертами эталоном или анализа образа продукционными методами [3]. Обычно это задачи не имеют критической важности для гомеостаза города. К ним, в частности, относится мониторинг уровня знаний группы населения после дистанционного обучения.

Класс 2: задачи, в которых решение принимается в зависимости от максимального или минимального значения в векторе параметров, характеризующих объект (*minmax*). Например, превышение даже одного из критических параметров АЭС может привести к проблемам не только для города, но и для сопредельных стран.

Класс 3: задачи, в которых решение принимается по значению одного бифуркационного параметра без учета других параметров (bif). Например, подъем воды в городе до некоторого уровня может вызвать эвакуацию населения при штатных значениях других параметров.

Класс 4: задачи, в которых решение принимается на основе сложных типов данных (docx, jpg, mp4, mp3), представленных текстовыми, графическими, видео- или аудиофайлами. Для их решения необходимо проводить предварительное обучение методами искусственного интеллекта (prod).

Если создать экосистему сервисов (паттернов) для этих классов с унифицированными адаптивными решениями, то из них можно будет собирать системы мониторинга без участия программиста. Ниже представлен вариант такой архитектуры.

### Архитектура

В качестве основы для архитектуры системы мониторинга предлагается использовать микросервисный стиль, который структурирует приложение в виде набора сервисов [16]. Разработкой сервисов занимаются программисты. Для их использования предлагается концепция ботов [17]. Бот – это компьютерная программа, которая действует как агент для пользователя, другой программы или для имитации человеческой деятельности. Боты обычно используются для автоматизации решения определенных задач, действуют автономно или получают данные от людей или других ботов. В экосистеме мониторинга должны присутствовать минимум два бота: первый – для получения данных от местного эксперта и построения модели «умного» города, второй – для локализации микросервисов на основе модели и сборки целевой системы.

Создание экосистемы предполагает разработку:

- библиотеки сервисов для решения задач, принадлежащих классам 1–4;
- чат-бот для создания модели предметной области «умного» города;
- чат-бот для выбора сервисов, их локализации на основе модели предметной области и сборки целевой системы.

Схема решения указанных задач представлена на рисунке 1.

При достаточно развитой библиотеке сервисов эксперт может подобрать решения для задач, принадлежащих классам 1–4, локализовать интероперабельные программные модули, собрать систему мониторинга и проверить ее работоспособность в режиме имитационного моделирования.

Для реализации архитектуры авторами на языке Python была разработана библиотека микросервисов и описанные выше чат-боты. Ниже представлен пример их использования для решения практической задачи.

### Оценка устойчивости «умного» города

Пусть в инфраструктуру города, который располагается в потенциально сейсмоопасной зоне, входит четыре группы компонентов: гражданский (жилищный фонд и т. д.), промышленный (заводы, фабрики и т. д.), общественный (больницы, школы и т. д.). Компоненты включают, соответственно, 9450, 1620, 917 объектов. Для повышения устойчивости города объекты интернируются в систему мониторинга и снабжаются датчиками, фиксирующими сейсмические волны по шкале Рихтера, отображая их в диапазоне 0.00–1.00. Каждый датчик имеет оригинальный идентификатор, связанный с записью в базе данных, которая содержит реквизиты объекта (название, тип, адрес, год постройки и т. д.). Устойчивость каждой группы объектов при внешнем воздействии определяется предварительно локальным экспертом с учетом местных особенностей, как и соответствующие управляющие решения, учитывающие имеющиеся ресурсы для восстановления легких или тяжелых разрушений. Согласно экспертным оценкам, указанные выше компоненты можно считать устойчивыми, если они способны решать стратегические задачи при уровне разрушений 20, 25, 30 процентов от общего числа объектов. Универсальная шкала состояний объектов, ориентированная на быстрое восприятие ЛПР, может содержать три оценки: хорошо, средне, плохо. Каждому состоянию сопоставлено релевантное управляющее решение: наблюдать, выполнить профилактический ремонт (профремонт), выполнить капитальный ремонт (капремонт). Определенные по идентификаторам датчиков адреса объектов, соответствующих состояниям, записать в отдельные файлы (list.txt) для правильного распределения ресурсов при восстановлении.

Требуется разработать систему мониторинга для оценки состояния объектов города и синтезирующую соответствующие решения, заранее сформированные локальными экспертами на основе накопленного ранее опыта.

Решение задачи включает три этапа: загрузку экспертом данных, отражающих локальную специфику макросущности (города); локализацию шаблонов сервисов; синтез программы мониторинга на основе локализованных сервисов.

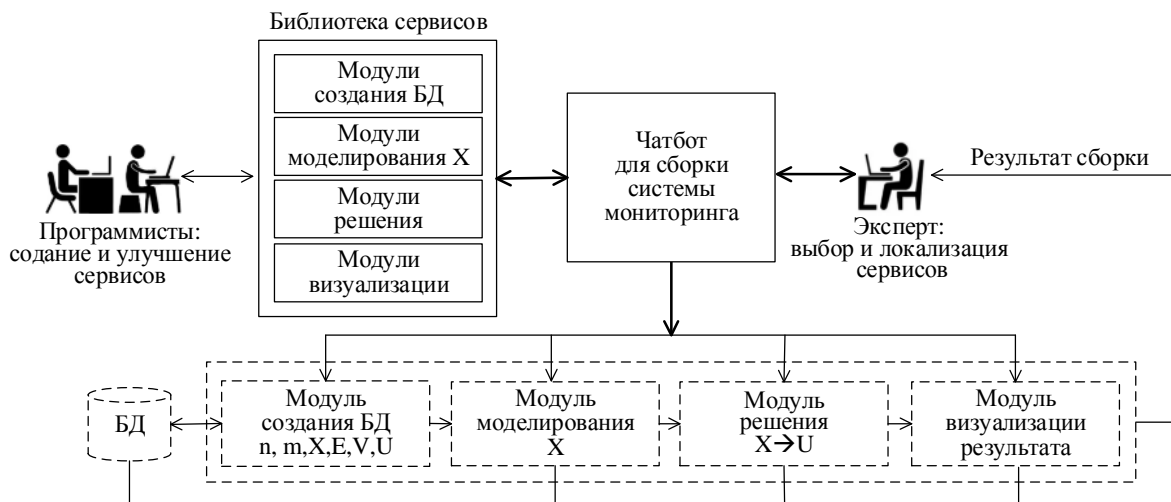


Рисунок 1 – Схема сборки системы мониторинга

Реализация первого этапа выполняется ботом iLocalization в диалоге с экспертом, который знаком с местными условиями и имеющими ресурсами. Процесс диалога представлен ниже.

```
Python 3.7.4 (bundled)
>>> %Run iLocalization.py

Привет!
Я - Бот-1, помогу Вам локализовать сервисы.
Как называется город ?
УМНЫЙ ГОРОД
Названия компонентов города ?
ГРАЖДАНСКИЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ОБЩЕСТВЕННЫЙ
Количество объектов в каждом компоненте ?
9450 1620 917
Названия состояний:
Хорошее Среднее Плохое
Управляющие решения:
Наблюдать Профремонт Капремонт
Метод распознавания: minmax,bif,metr,prod?
prod
Пороги устойчивости для каждого компонента:
20 25 30
Тип графической визуализации: pie,column?
pie
файлы для хранения номеров по группам:
list1.txt list2.txt list3.txt
База для локализации создана и сохранена в hotdb.
```

В результате диалога формируется файл hotdb.txt, содержащий информацию для локализации сервисов.

На этапе моделирования активизируется бот iModeling. Прежде всего, он на основе данных hotdb корректирует программный код сервисов. Затем выводит в консоль сведения о компонентах и предлагает пользователю выбрать один из них. В режиме имитационного моделирования формируется вектор входных сигналов от датчиков и начинается их анализ. Результат выводится в консоли в форме текста и таблицы, а также в графическом виде (рис. 2).

Номера в списках list1.txt, list2.txt, list3.txt связаны с адресами объектов в базе данных города, поэтому список объектов для срочного ремонта и объем необходимых ресурсов определяются в самый кратчайший срок.

В данном случае система определила, что процент разрушенных зданий (34.0 %) превысил заданный экспертом порог (25 %) и приняла решение, что компонент ПРОМЫШЛЕННЫЙ неустойчив. Ресурсы для устранения последствий в

первую очередь необходимо направить по адресам, занесенным в файл list3.txt.

Аналогичным образом можно оценивать другие компоненты, расширять модель при строительстве новых компонентов и выполнять другие операции, позволяющие усилить устойчивость города.

### Заключение

В работе рассмотрены вопросы онтологического моделирования «умного» города и оценки его устойчивости при воздействии негативных факторов. Показано, что устойчивость города от воздействий стихийных бедствий и гетерогенных катастроф можно повысить, если фиксировать чрезвычайные ситуации на ранней стадии их возникновения и эффективно распределять ресурсы для устранения последствий. Предлагается рассматривать умный город и систему мониторинга как единое целое, начиная с этапа проектирования до окончания строительства. Описана микросервисная архитектура, позволяющая локализовать сервисы и синтезировать из них системы мониторинга без участия программистов. Возможность реализации предложенного подхода показана на примере решения прикладной задачи.

### Список цитированных источников

1. The Weight of Cities. Resource Requirements of Future Urbanization. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://www.resourcepanel.org/reports/weight-cities>. – Дата доступа : 16.12.2020.
2. Крупнейшие города мира. [Электронный ресурс] – Режим доступа : – [http://www.statdata.ru/largestcities\\_world](http://www.statdata.ru/largestcities_world). – Дата доступа : 13.01.2021.
3. Виссия, Х. Принятие решений в информационном обществе / Х. Виссия, В. В. Краснопрошин, А. Н. Вальвачев – СПб: ЛАНЬ, 2019. – 227 с.
4. The Global Risks Report 2018 // World Economic Forum, 2018. – 70 p.
5. Green, B. The Smart Enough City: Putting Technology in Its Place to Reclaim Our Urban Future /B.Green – The MIT Press, 2019. – 240 p.
6. Smart cities. European Commission. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://ec.europa.eu/info/eu-regional-and-urban-development/topics/cities-and-urban-development/city->

```
>>> %Run iModeling.py

Я - Бот-2. Начинаю сборку программы.
Сервисы локализованы.
Доступны 3 компонента:
1 - ГРАЖДАНСКИЙ
2 - ПРОМЫШЛЕННЫЙ
3 - ОБЩЕСТВЕННЫЙ
Какой компонент оценивать: 2
*****
УМНЫЙ ГОРОД
*****
КОМПОНЕНТ: ПРОМЫШЛЕННЫЙ
*****
Состояние Количество Решение Список *
*****
Хорошее 540 Наблюдать list1.txt
Среднее 530 Профремонт list2.txt
Плохое 550 Капремонт list3.txt
*****
Компонент включает: 1620 объектов.
Порог устойчивости: 25
Вывод: компонент не устойчив, разрушения 33.95
Дата и время: 2021-01-11 16:44:32
```

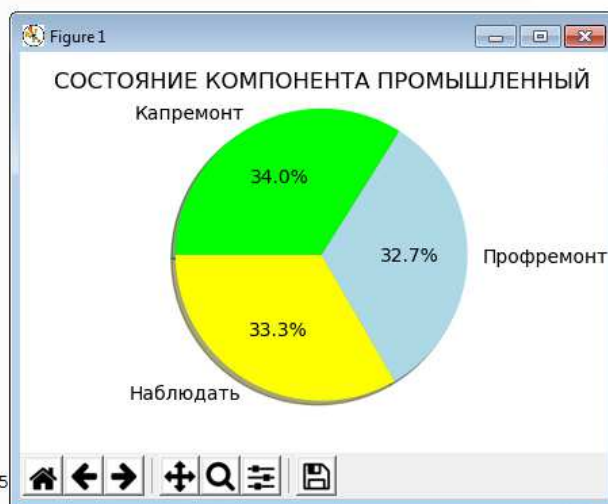


Рисунок 2 – Результат мониторинга компонента «умного» города

- initiatives/smart-cities\_en. – Дата доступа : 16.12.2020.
7. Kourtit, K. Smart cities in perspective – a comparative European study by means of self-organizing maps / K. Kourtit, P. Nijkamp, D. Arribas // *Innovation: The European Journal of Social Science Research*. – 2012. – № 25(2). – С. 229–246.
  8. Du, R. The Senseable City: A Survey on the Deployment and Management for Smart City Monitoring / R. Du [et al.] // *IEEE Communications Surveys* – 2019. – Vol. 21 (2). – P. 1–38.
  9. Komninos, N. Smart city ontologies: Improving the effectiveness of smart city applications / N. Komninos [et al.] // *Journal of Smart Cities* – 2015. – Vol. 1. – P. 1–16.
  10. Anthopoulos, L. A Unified Smart City Model (USCM) for Smart City Conceptualization and Benchmarking / L. Anthopoulos, M. Janssen, V. Weerakkody // *International Journal of Electronic Government Research* – 2016. – № 12(2). – P. 77–93.
  11. Kirwan, C. Smart Cities and Artificial Intelligence / C. Kirwan, F. Zhiyong – Elsevier, 2020. – 284 p.
  12. Joo, Y. Smart Cities in Asia: Governing Development in the Era of Hyper-Connectivity / Y. Joo, T. Tan – Edward Edgar Pub, 2020. – 208 p.
  13. Leite, F. BIM for Design Coordination: A Virtual Design and Construction Guide for Designers, General Contractors, and MEP Subcontractors / F. Leite – Wiley, 2019. – 192 p.
  14. Colding, J. Wicked Problems of Smart Cities / J. Colding, S. Barthel, P. Sorqvist // *Smart Cities* – 2019. – № 2(4). – P. 512–521.
  15. Zadeh, L. Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Systems / L. Zadeh, G. Klir, B. Yuan. – World Scientific Pub. Co. Inc., 1996. – 840 p.
  16. Newman, S. Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems / S. Newman. – O'Reilly Media, 2015. – 280 p.
  17. Batish, R. Voicebot and Chatbot Design / R. Batish – Packt Publishing, 2018. – 296 p.
  4. The Global Risks Report 2018 // *World Economic Forum*, 2018. – 70 p.
  5. Green, B. The Smart Enough City: Putting Technology in Its Place to Reclaim Our Urban Future / B. Green – The MIT Press, 2019. – 240 p.
  6. Smart cities. European Commission. [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa : [https://ec.europa.eu/info/eu-regional-and-urban-development/topics/cities-and-urban-development/city-initiatives/smart-cities\\_en](https://ec.europa.eu/info/eu-regional-and-urban-development/topics/cities-and-urban-development/city-initiatives/smart-cities_en). – Data dostupa : 16.12.2020.
  7. Kourtit, K. Smart cities in perspective – a comparative European study by means of self-organizing maps / K. Kourtit, P. Nijkamp, D. Arribas // *Innovation: The European Journal of Social Science Research*. – 2012. – № 25(2). – С. 229–246.
  8. Du, R. The Senseable City: A Survey on the Deployment and Management for Smart City Monitoring / R. Du [et al.] // *IEEE Communications Surveys* – 2019. – Vol. 21 (2). – P. 1–38.
  9. Komninos, N. Smart city ontologies: Improving the effectiveness of smart city applications / N. Komninos [et al.] // *Journal of Smart Cities* – 2015. – Vol. 1. – P. 1–16.
  10. Anthopoulos, L. A Unified Smart City Model (USCM) for Smart City Conceptualization and Benchmarking / L. Anthopoulos, M. Janssen, V. Weerakkody // *International Journal of Electronic Government Research* – 2016. – № 12(2). – P. 77–93.
  11. Kirwan, C. Smart Cities and Artificial Intelligence / C. Kirwan, F. Zhiyong – Elsevier, 2020. – 284 p.
  12. Joo, Y. Smart Cities in Asia: Governing Development in the Era of Hyper-Connectivity / Y. Joo, T. Tan – Edward Edgar Pub, 2020. – 208 p.
  13. Leite, F. BIM for Design Coordination: A Virtual Design and Construction Guide for Designers, General Contractors, and MEP Subcontractors / F. Leite – Wiley, 2019. – 192 p.
  14. Colding, J. Wicked Problems of Smart Cities / J. Colding, S. Barthel, P. Sorqvist // *Smart Cities* – 2019. – № 2(4). – P. 512–521.
  15. Zadeh, L. Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Systems / L. Zadeh, G. Klir, B. Yuan. – World Scientific Pub. Co. Inc., 1996. – 840 p.
  16. Newman, S. Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems / S. Newman. – O'Reilly Media, 2015. – 280 p.
  17. Batish, R. Voicebot and Chatbot Design / R. Batish – Packt Publishing, 2018. – 296 p.
- References**
1. The Weight of Cities. Resource Requirements of Future Urbanization. [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa : <http://www.resourcepanel.org/reports/weight-cities>. – Data dostupa : 16.12.2020.
  2. Krupnejshie goroda mira. [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa : – [http://www.statdata.ru/largestcities\\_world](http://www.statdata.ru/largestcities_world). – Data dostupa : 13.01.2021.
  3. Vissiya, H. Prinyatie reshenij v informacionnom obshchestve / H. Vissiya, V. V. Krasnoproshin, A. N. Val'vachev – SPb: LAN', 2019. – 227 s.

Материал поступил в редакцию 15.01.2021