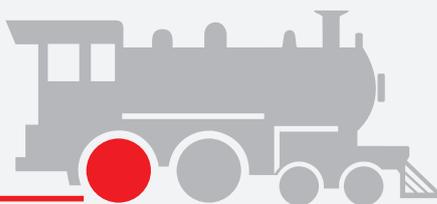


сетевое издание

НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ

ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ



ЕЖЕКВАРТАЛЬНОЕ СЕТЕВОЕ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ИЗДАНИЕ

В ВЫПУСКЕ

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Розенберг И.Н., Цветков В.Я.

«Многоцелевое управление на железнодорожном транспорте»

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ НА ТРАНСПОРТЕ

Козлов А.В.

«Транспортные кибер-физические системы как результат развития технологии интернета вещей»

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ НА ТРАНСПОРТЕ

Ознамец В.В.

«Применение спутниковых технологий для создания информационного транспортного пространства»

Андреева О. А.

«Трехмерное моделирование объектов транспортной инфраструктуры»

Булгаков С. В.

«Геотехнический мониторинг транспорта»

ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Озеров А.В., Лысиков М.Г., Ольшанский А.М.

«График движения поездов в составе адаптивной системы управления будущего»

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ И БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

Охотников А.Л.

«Алгоритм выбора оборудования для систем технического зрения на железнодорожном транспорте»

Коваленко Н.И.

«Технологические окна для путевых работ при минимизации приведенных затрат на ремонты и потерь перевозочного процесса»

№ 1

Март 2021



Стратегия развития железных дорог

Розенберг Игорь Наумович, Цветков Виктор Яковлевич

Многоцелевое управление на железнодорожном транспорте

3

Интеллектуальные системы и технологии на транспорте

Козлов Александр Вячеславович

Транспортные кибер-физические системы как результат развития технологии интернета вещей

11

Геоинформационные технологии и системы на транспорте

Ознамец Владимир Владимирович

Применение спутниковых технологий для создания информационного транспортного пространства

22

Андреева Ольга Александровна

Трехмерное моделирование объектов транспортной инфраструктуры

32

Булгаков Сергей Владимирович

Геотехнический мониторинг транспорта

42

Цифровые методы на железнодорожном транспорте

Озеров Алексей Валерьевич, Лысков Михаил Григорьевич,

Ольшанский Алексей Михайлович

График движения поездов в составе адаптивной системы управления будущего

50

Организация работ и безопасность движения на транспорте

Охотников Андрей Леонидович

Алгоритм выбора оборудования для систем технического зрения на железнодорожном транспорте

65

Коваленко Николай Иванович

Технологические окна для путевых работ при минимизации приведенных затрат на ремонты и потерь перевозочного процесса

75

УДК: 656, 004.89, 656.052

МНОГОЦЕЛЕВОЕ УПРАВЛЕНИЕ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

- Розенберг И.Н.** д.т.н., профессор, Научный руководитель, АО «НИИАС»,
E-mail: I.Rozenberg@vniias.ru, Москва, Россия
- Цветков В.Я.** д.т.н., профессор, зам. руководителя Центра, АО «НИИАС»,
E-mail: cvj2@mail.ru, Москва, Россия
- Аннотация.** В статье исследуются задачи многоцелевого управления на железнодорожном транспорте. Основой управления является информационная ситуация, при которой применяются пространственная информация и пространственные модели с использованием систем координатной поддержки, часто с использованием технологий спутниковой навигации (особый вид управления транспортом – космическое управление). Многоцелевое управление разделяют на два класса: централизованное (координационное) и децентрализованное (ситуационное). В статье раскрывается содержание двух классов и алгоритмы многоцелевого управления. Показано сходство многоцелевого управления с субсидиарным, описан механизм взаимодействия алгоритмов управления. Дана систематика зон, которые входят в информационную ситуацию, применяемую при управлении транспортом. Описан временной критерий многоцелевого управления. На основе временного критерия вводится понятие управляемости объекта.
- Ключевые слова:** транспорт, информационная ситуация, многоцелевое управление, координационное и ситуационное управление, алгоритмы управления.

MULTI-PURPOSE RAILWAY CONTROL

- Rosenberg I.N.** D.ofSci.(Tech), Professor, Scientific director, JSC «NIIAS»,
E-mail: I.Rozenberg@vniias.ru, Moscow, Russia
- Tsvetkov V.Ya.** D.ofSci.(Tech), Professor, deputy head of Center, JSC "NIIAS",
E-mail: cvj2@mail.ru, Moscow, Russia
- Annotation.** The article examines the tasks of multipurpose control in railway transport. The basis of control is the information situation, in which spatial information and spatial models are applied using coordinate support systems, often using satellite navigation technologies (a special type of transport control is space control). Multipurpose control is divided into two classes: centralized (coordination) and decentralized (situational). The article reveals the content of two classes and multipurpose control algorithms. The similarity of multipurpose control with subsidiary management is shown, the mechanism of interaction of control algorithms is described. A taxonomy of zones is given that are included in the information situation used in transport control. The time criterion for multipurpose control is described. Based on the time criterion, the concept of object controllability is introduced.
- Keywords:** transport, information situation, multipurpose control, information and situational control, algorithms.

Введение

Управление транспортом является многоаспектной технологией. По технологическим признакам оно прошло разные этапы: автономное, централизованное, сетцентрическое [1], автоматизированное, цифровое [2], интеллектуальное [3], кибер-физическое [4]. По признаку целеопределения его разделяют на одноцелевое и многоцелевое [5, 6], с фиксированным набором целей и с вариативным набором целей [7], с четким определением целей и с нечетким определением целей. По причинно-следственным связям реже в отношении транспорта используют понятия «жесткое» и «мягкое» [8] управление. Также редко применяют альтернативные понятия директивное (иерархическое) управление [9] и ситуационное управление [10]. Управление в сложной обстановке влечет усложнение методов управления.

Многоцелевое управление на железнодорожном транспорте [11-13] имеет ряд особенностей. Основная особенность многоцелевого управления на транспорте состоит в том, что для управления применяют пространственную информацию [14], пространственное управление [15], пространственные модели [16]. В силу это при многоцелевом управлении транспортом необходимо применять геоданные [17], пространственные модели и геоинформатику [18].

Геоданные и пространственные модели можно применять с использованием технологий спутниковой навигации. Это определяет особый вид управления транспортом – космическое управление [19]. При многоцелевом управлении на транспорте необходимо применение систем поддержки [20]. В первую очередь это системы координатной поддержки [21]. Еще одна особенность многоцелевого управления подвижными объектами состоит в использовании субсидиарных методов и недетерминированных алгоритмов [22].

Во многих случаях в сложных ситуациях при больших транспортных потоках применяют алгоритмы мультиагентных систем [23, 24]. Современное многоцелевое управление на железнодорожном транспорте характеризуется ростом скоростей, что ставит новые задачи управления. Интегральное управление также накладывает специфику на много целевое управление. Многоцелевое управление на железнодорожном транспорте опирается на интеллектуальные транспортные системы [25-27]. Одноцелевое управление является детерминированным, многоцелевое не детерминировано [28]. Одноцелевое управление управляет объектом на основе анализа его состояния. Многоцелевое управление управляет объектом на основе анализа ситуации [26] и состояния объекта в этой ситуации. это приводит к большому объему информации и данных при много целевом управлении. В целом современная задача многоцелевого управления является актуальной и не может быть сведен к простым задачам многоцелевого управления для простых ситуаций движения и низких скоростей.

Два класса многоцелевого управления на транспорте.

Многоцелевое управление можно разделить на два класса: централизованное (координационное) и децентрализованное (ситуационное). Координационное многоцелевое управление связано с управлением из единого центра (например, ситуационного) многими подвижными объектами (дискретное управление) или грузопотоками (потокоевое управление).

Управление на рис.1 является двойным. Оно осуществляет управление блоками движения при непосредственной связью с машинистом. Основное управление – это управление блоку участками. Сплошные линии на рис.1, показывающие связь центра управления движением с подвижными объектами, они реализуют жесткое директивное управление, которое опирается на план-график.

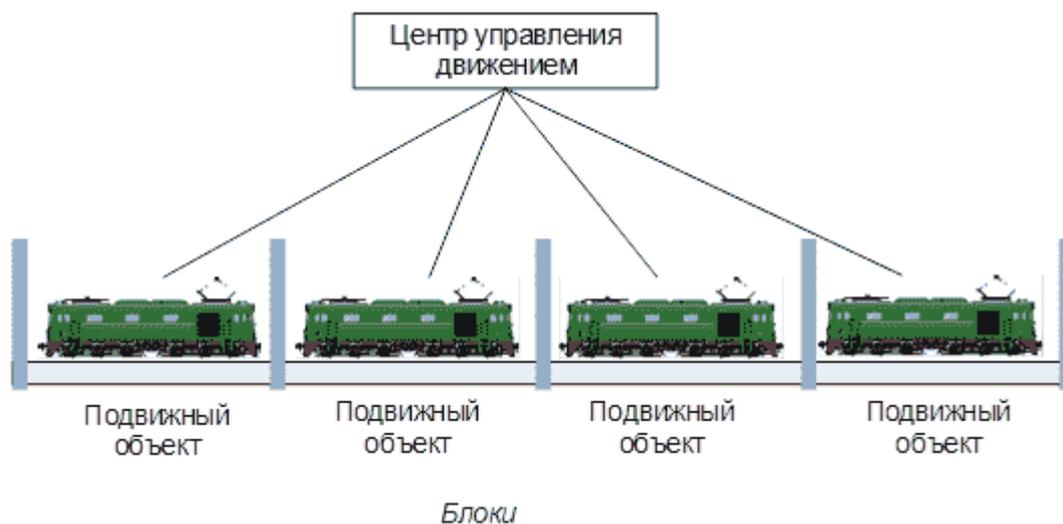


Рисунок 1. Многоцелевое координационное движение

Ситуационное многоцелевое управление связано с самоуправлением подвижного объекта в конкретной ситуации или в цепочке меняющихся ситуаций. Оно показано на рис.2, и управление в этом случае опирается на анализ ситуации и условий в этой ситуации.

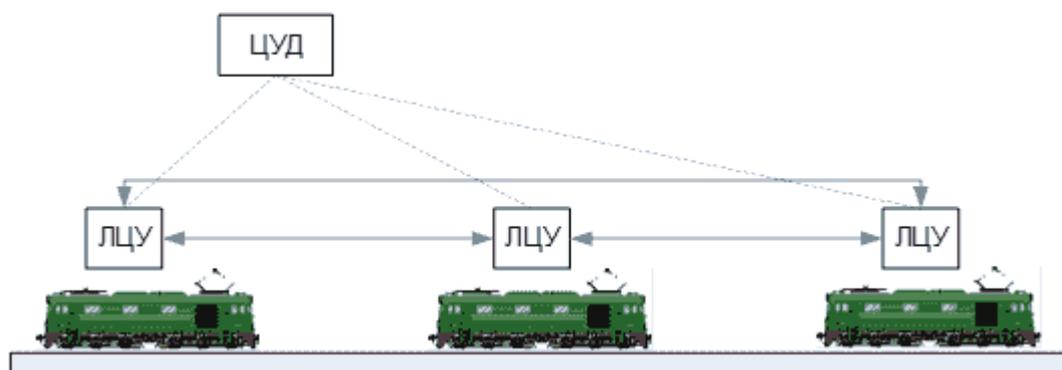


Рисунок 2. Ситуационное многоцелевое управление

Пунктирные линии на рис.2, показывающие связь центра управления движением (ЦУД) с подвижными объектами, и характеризуют мягкое или координирующее управление. Координирующее управление заключается в передаче информации на подвижный объект о ситуациях, происходящих в невидимой зоне.

Каждый подвижный объект в этом случае имеет локальный центр управления (ЛЦУ). Каждый ЛЦУ связан с другими ЛЦУ по принципу «каждый с каждым». Каждый ЛЦУ имеет встроенное вычислительное устройство, которое осуществляет поддержку управленческих решений. Наибольшее развитие это направление получило в теории и практике киберфизических систем и в моделях цифровой железной дороги. Современное многоцелевое управление решает задачи, которые человеческий интеллект не решает. Сложность этих задач не столько в больших объемах информации, сколько в большом числе связей в ситуации управления и в критических временах принятия решений, в которых надо анализировать множество альтернатив за время недоступное для человека

Алгоритмы и ситуации многоцелевого управления

Понятие алгоритма в настоящее время используется широко и, наряду с понятием вычислительный алгоритм, применяют термины алгоритм развития [30, 31], алгоритм управления и другие. В широком смысле алгоритм означает правило или устойчивую закономерность. Много целевое управления железнодорожным транспортом является как минимум двух алгоритмическим или с использование двух групп алгоритмов. Это в большой степени соответствует модели субсидиарного управления [32].

На рис.3 приведена упрощенная схема информационного взаимодействия двух групп алгоритмов. Первая группа - это алгоритмы достижения главной цели. Их описывает стратегический алгоритм управления. Вторая группа алгоритмов в многоцелевом управлении - это алгоритмы реакции на текущую ситуацию. Эта группа состоит из двух подгрупп: текущий стратегический алгоритм управления (ТССАУ); локальный алгоритм управления (ЛАУ). Функционирование локального алгоритма управления определяется текущей информационной ситуацией (включая пространственную ситуацию). Информационная ситуация является скользящей моделью, которая меняется и перемещается вместе с подвижным объектом.

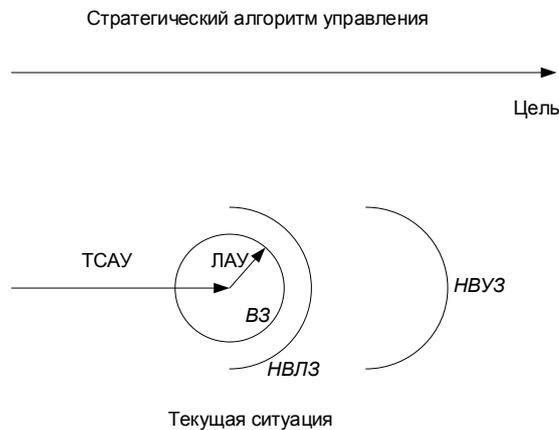


Рисунок 3. Алгоритмы многоцелевого управления.

На рис.3 подвижный объект находится на конце вектора ТСАУ. Информационная ситуация включает три зоны: зону прямой видимости (ВЗ); невидимую локальную зону (НВЛЗ), невидимую удаленную зону. Невидимая локальная зона с одной стороны примыкает к зоне видимости, с другой она примыкает к невидимой удаленной зоне (рис.4)



Рисунок 4. Видимая и невидимая (НвЗ) зоны при управлении транспортом

Важную роль для движения играют возможные препятствия. На рис.5 показан пример препятствий движению, которые вынуждают подключать алгоритмы второй группы для управления движением.



Рисунок 5. Пример препятствий движению, подключающих алгоритмы второй группы.

Одна из особенностей управления железнодорожным транспортом – учет геометрических размеров. Управление осуществляется не только с учетом плановых координат, но и по высоте для контроля габаритов сооружений и проходящих транспортных средств (рис.6). Чисто формально при строительстве и сдаче в эксплуатацию дороги все габариты придорожных сооружений должны соответствовать требованиям.



Рисунок 6. Контроль габаритов транспортного средства.

Говоря информационным языком, между габаритами придорожных сооружений и проходящими поездами должно быть информационное соответствие, и оно закладывается при сдаче дороги в эксплуатацию. Однако с течением времени возможно провисание, деформация и перекосы инженерных сооружений. Для контроля габаритов придорожных сооружений необходим мониторинг транспорта, который опирается на геомониторинг и геоинформационный мониторинг. Формирование управления происходит по формуле

$$AU = TCAU + JAU$$

При этом TCAU могут быть комплементарными [33], оппозиционным [34] или занимать промежуточное значение. Пример оппозиционности проявляется при аварийном торможении.

Временной критерий управления подвижными объектами.

При многоцелевом управлении существует важный параметр, который обуславливает переход от стратегического алгоритма к ситуационному или к локальному - это время допустимого управления. При многоцелевом управлении выделяют среду и подвижный объект. При этом существуют следующие факторы:

- 1 существенное воздействие внешней среды на подвижный объект;
- 2 изменение состояния подвижного объекта под внешним воздействием;
- 3 анализ состояния объекта ЛЦУ;
- 4 выявление изменения состояния объекта;
- 5 передача информации об изменении состояния;
- 6 формирования управляющего воздействия (ЛЦУ или ЦУП);
- 7 передача управляющего воздействия;
- 8 действие исполнительных механизмов;
- 9 изменение состояния подвижного объекта под воздействием управляющего воздействия;
- 10 оценка степени соответствия состояния объекта целевому состоянию;
- 11 информирование ЦУП о текущем состоянии.

Этим факторам соответствуют временные интервалы внешней среды.

$t_{в1}$ — время (среднее) воздействия внешней среды на подвижный объект;

$t_{в2}$ — время изменения состояния подвижного объекта под воздействием внешней среды;

Этим факторам соответствуют временные интервалы управления t_{1y} — t_{8y} .

Существенным называем воздействие внешней среды на подвижный объект, которое приводит к изменению его целевого состояния и отклоняет от цели. Несущественным является такое воздействие внешней среды, которое не приводит к отклонения от цели. Изменение состояния объекта может быть значимым или не значимым.

Подвижный объект в процессе управления характеризуется суммарным временным циклом управления или параметром «время управления изменения состояния» $t_{иyc}$. Этот параметр характеризует управляемость объекта. Объект является *управляемым*, если выполняется условие

$$t_{иyc} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8. \quad (1)$$

если

$$t_{иyc} < (t_{в1} + t_{в2}). \quad (2)$$

Объект является *управляемым*. При много целевом управлении в выражение (1) добавляется время выбора цели t_4^* . Если время $t_{иyc}$ больше, чем время изменения состояния объекта под воздействием внешней среды, то такой объект является не управляемым.

Выражение (1) характеризует централизованное управление (рис.1) и децентрализованное управление рис.2. для этих видов управления значение $t_{иyc}$ существенно различается. В работах [35, 36] доказано что при частом воздействии внешней среды централизованное управление должно заменяться субсидиарным управлением.

Заключение

Классические методы управления работают в стационарных условиях и не работают при существенных воздействиях на подвижный объект. При существенных воздействиях на подвижный объект приходится переходить к многоцелевому управлению, в отдельных случаях оно может быть недетерминированным.

Рост скоростных режимов и сложность транспортных потоков особенно в условиях мегаполиса мотивируют переход к многоцелевому управлению. Реализация этого управления показывает свою эффективность на моделях цифровой железной дороги. Возрастание сложности ситуаций требует привлечения для управления методов искусственного интеллекта или интеллектуальных мультиагентных систем

Список литературы

1. Тихонов А.Н., Иванников А.Д., Соловьёв И.В., Цветков В.Я., Кудж С.А. Концепция сетцентрического управления сложной организационно-технической системой- М.: Макс ПРЕСС, 2010.-136с.
2. Ожерельева Т. А. Цифровое управление // Славянский форум. -2020. – 3(29). -С.44-55.
3. Розенберг И.Н., Шайтура С.В. Интеллектуальное управление в сфере транспорта// Славянский форум. -2020. – 2(28). -С.94-102.
4. Цветков В.Я. Управление с применением киберфизических систем // Перспективы науки и образования. - 2017. - №3(27). - С.55-60.
5. Кужелев П.Д. Интеллектуальное многоцелевое управление // Государственный советник. – 2014. - №4. – С.65-68.
6. Tsvetkov V. Ya. Multipurpose Management// European Journal of Economic Studies. 2012. № 2 (2). p.140-143.
7. Козлов А.В. Субсидиарные и децентрализованные системы и алгоритмы // Образовательные ресурсы и технологии. – 2020. – № 2 (31). – С.69-76, doi: 10.21777/2500-2112-2020-2-69-76.
8. Ожерельева Т.А. Жесткое и «мягкое» управление// Славянский форум. -2018. – 1(19). – С.56-62.
9. Jin X. et al. Hierarchical microgrid energy management in an office building //Applied Energy. – 2017. – Т. 208. – С.480-494.
10. Охотников А.Л., Павловский А.А. Ситуационное семиотическое управление // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 3(15). – С.53-62.
- 11.Козлов А.В. Многоцелевое управление транспортом мегаполиса// Наука и технологии железных дорог. – 2018. Т.2. – 4(8). – С.40-47.
12. Дзюба Ю.В. Многоцелевое управление подвижными объектами // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 1(9). – С.53 -60.
13. Козлов А.В. Многоцелевое субсидиарное управление // Наука и технологии железных дорог. – 2019. Т.3.– 2(10). – С.17-28.
14. Бахарева Н.А. Информация в многоцелевом управлении // Славянский форум. -2020. – 4(30). -С.7-15.
15. Розенберг И.Н. Пространственное управление в сфере транспорта // Славянский форум, 2015. - 2(8) - С.268-274.

16. Tsvetkov V. Ya. Spatial Information Models // European researcher. 2013. №10-1(60). С.2386-2392.
17. Бахарева Н.А. Геоданные как инструмент управления // Государственный советник. – 2016. - №2. – С.23-27.
18. Савиных В. П., Цветков В. Я. Геоинформатика как система наук // Геодезия и картография. – 2013. - №4. - С.52-57.
19. Майоров А.А. Применение космических технологий для управления // Государственный советник. – 2014. - №3. – С.38-41.
20. Ожерельева Т. А. Системы поддержки принятия решений // Славянский форум, 2015. - 4(10) – С.252-259.
21. Розенберг И.Н. Цветков В. Я. Координатные системы в геоинформатике – МГУПС, 2009 -67с.
22. Абрамян М. Э., Мельников Б. Ф. Исследование задачи вершинной минимизации недетерминированных конечных автоматов с помощью метода ветвей и границ //Cloud of Science. – 2020. – Т. 7. – №. 2. – С.297-319.
23. Колесников В. И., Ковалев С. М., Иванченко В. Н. Интеллектуализация транспортных процессов на основе гибридных технологий и мультиагентных систем //Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2012. – №. 1. – С.107-113.
24. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Применение мультиагентных систем в интеллектуальных логистических системах. // Международный журнал экспериментального образования. – 2012. - №6. – С.107-109.
25. Коваленко Н.И. Извлечение знаний для интеллектуальных транспортных систем // Перспективы науки и образования- 2014. - №5. – С.45-52.
26. Цветков В.Я., Розенберг И.Н. Интеллектуальные транспортные системы - LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, Saarbrücken, 2012. - 297с.
27. Щенников А.Н. Интеллектуальные транспортные системы как специализированные системы // Наука и технологии железных дорог. – 2017. Т.1.– 4(4). – С.45-53.
28. Gritta M., Lampouras G., Iacobacci I. Conversation Graph: Data Augmentation, Training and Evaluation for Non-Deterministic Dialogue Management //arXiv preprint arXiv:2010. 15411. – 2020.
29. Лотоцкий В.Л. Информационная ситуация и информационная конструкция // Славянский форум. - 2017. -2(16). – С.39-44.
30. Моисеев Н. Алгоритмы развития. – М.: Наука, 1987, переиздана Litres, 2017.
31. Ахмедьянова Г. Ф., Пищухин А. М., Пищухина Т. А. Исследование алгоритмов управления абстрактным объектом //Фундаментальные исследования. – 2018. – №. 4. – С.34-38.
32. Козлов А.В. Субсидиарное и централизованное управление // Славянский форум. -2019. – 4(26). - С.49-58.
33. Богоутдинов Б.Б., Цветков В.Я. Применение модели комплементарных ресурсов в инвестиционной деятельности // Вестник Мордовского университета. - 2014. - Т. 24. № 4. – С.103-116.
34. Tsvetkov V. Ya. Opposition information analysis // European Journal of Technology and Design. – 2014. № 4(6). P.189-196.
35. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Критерии выбора субсидиарного управления // Государственный советник. – 2017. - №1. – С.10-15.
36. Логинова А.С. Оценка применимости субсидиарного управления // Актуальные проблемы современной науки. - 2015. - № 3. - С.297-301.

УДК: 656.07

ТРАНСПОРТНЫЕ КИБЕР-ФИЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ КАК РЕЗУЛЬТАТ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Козлов А. В. Зам. директора Физико-технологического института, Московский технологический университет (МИРЭА), E-mail: avkozlov82@bk.ru, Москва, Россия

Аннотация. Цель работы - исследование развития технологии Интернета вещей в транспортной сфере. Показано, что для функционирования технологии Интернета вещей необходимо информационное пространство, базирующееся на облачных вычислениях. Описаны информационные взаимодействия в информационном пространстве Интернета вещей типа M2M, M2P, P2P, B2B. Показано, что технология Интернета вещей выполняет только коммуникационные и информационные функции и непригодно для физического управления. Для физического управления применимы кибер-физические системы. Для управления транспортом применимы транспортные кибер-физические системы. Эти системы создают и используют кибер пространство в дополнение к информационному пространству Интернета-вещей. Описаны информационные взаимодействия в кибер пространстве типа V2V, CPCC, VCPS, VCC, V2I, VII. Показано различие между транспортными кибер-физическими системами и транспортным кибер-физическим управлением.

Ключевые слова: управление, транспорт, технология Интернета-вещей, транспортные кибер-физические системы, пространственная информация, геоданные

CYBER-PHYSICAL TRANSPORT SYSTEMS AS A RESULT OF THE DEVELOPMENT OF IoT TECHNOLOGY

Kozlov A. V. Deputy Director of the Physics - Technological Institute, Moscow Technological University (MIREA), E-mail: avkozlov82@bk.ru, Moscow, Russia

Annotation. The purpose of the article is to study the development of IoT technology in the transport sector. It is shown that the functioning of the Internet of Things technology requires an information space based on cloud computing. Describes information interactions in the information space of the Internet of Things such as M2M, M2P, P2P, B2B. It is shown that the technology of the Internet of Things performs only communication and information functions and is not suitable for physical control. For physical control, cyber-physical systems are applicable. Cyber-physical transport systems are applicable to transport control. These systems create and use cyber space in addition to the information space of the Internet of Things. Information interactions in cyber space of the V2V, CPCC, VCPS, VCC, V2I, VII types are described. The difference between transport cyber-physical systems and transport cyber-physical control is shown.

Keywords: management, transport, technology of the Internet of things, transport cyber-physical systems, spatial information, geodata.

Введение.

Появление и развитие Интернета-вещей (Internet of things - IoT) обусловлено новым этапом интеграции технических и технологических систем на базе информационно-коммуникационных технологий [1-4]. Эта технология эффективна в цифровой экономике и цифровом транспорте [5]. Технология Интернета-вещей использует новый уровень локальных сетевых технологий и программной инженерии. Интернет-вещей как систему относят к серии «умных» (smart) – систем [6]. Этот термин использовался еще в 90-е годы как разделитель между интеллектуальными технологиями и автоматизированными технологиями. Технология Интернета – вещей с чисто прагматических позиций есть инструмент решения ряда прикладных задач, включая задачи транспорта. Технология Интернета-вещей создает специальное информационное пространство и позволяет реализовывать облачные технологии в этом пространстве.

Создание современных транспортных систем выдвигает ряд требований технологического, организационного, технического характера. Современное управление транспортом связано с информационными, коммуникационными, интеллектуальными и когнитивными технологиями. Технология Интернета – вещей решает задачи информационного и коммуникационного обеспечения современного управления транспортом. Современное управление транспортом является интегрированными, поскольку авиационный, морской, автомобильный и железнодорожный транспорт тесно связаны друг с другом. Такая интегрированная транспортная система образуют гетерогенную физическую транспортную сеть с качественно разными компонентами. Такие гетерогенные транспортные сети дополняются общими системами коммуникаций, к числу которых относят Интернет-вещей и спутниковые системы [7]. Транспортная система является распределенной поэтому и ее управление организовано по распределенному принципу [9].

Развитие распределенных систем привело к появлению технологии Интернета- вещей, которая органически вписывается в распределенное управление транспортом. Однако, IoT решает задачи только информационного и коммуникационного характера. Для физического управления объектами транспорта потребовались новые системы, которые сначала назывались кибер-физическими системами (CPS) [9-12], а затем специализировались в транспортные кибер-физические системы (TCPS) [13-16]. Транспортные кибер-физические системы дополнились локальными вычислителями (TCPS) дискретные вычислительные компоненты позволяют контролировать и управлять физическими устройствами в режиме реального времени

Технология TCPS создает киберпространство и информационное поле в дополнении к информационному пространству, которое создает технология Интернета-вещей. Это существенно расширяет возможности управления транспортом и требует специального анализа. Этому посвящена настоящая работа.

Технология интернета вещей как сложная интегрированная система.

Информация и информационные потоки являются ресурсом функционирования Интернета-вещей. В силу этого управление с применением Интернета- вещей является информационным. Если связывать Интернет- вещей с информационным управлением, то следует говорить об «информационном поле» [17-19]. Если рассматривать Интернет- вещей с системных позиций, то в них можно выделить пять сложных систем: техническую, технологическую, организационную, вычислительную и коммуникационную. Эти системы интегрированы в единый комплекс Интернета вещей. Кроме того, при рассмотрении феномена Интернета вещей

необходимо использовать когнитивные факторы. Когнитивные факторы включают информационное когнитивное поле человека, создаваемое его интеллектом. Термин «поле» применяют для описания содержательных свойств пространства. Информационное поле может быть дискретным для дискретных процессов и систем. Примерами дискретного поля являются: семантическое поле, топологическое поле, терминологическое поле. Информационное поле характеризуется наличием информационных отношений [20-22] и информационных взаимодействий [23, 24]. С этих позиций технология Интернета вещей может характеризоваться информационными взаимодействиями, информационными моделями, информационными конструкциями и даже информационными ситуациями. Как технологическая система технология Интернета вещей может характеризоваться жизненным циклом, длительность которого определяется запасом ресурсов [25]. Взаимодействие Интернета вещей с информационным полем дает основание считать ее саморазвивающейся системой, для которой допустимы синергетические эффекты.

Структурно Интернет вещей – это коммуникационное взаимодействие физических устройств и технических средств (также называемых «встроенными устройствами» (embedded systems) [26], «подключенными устройствами» и «интеллектуальными устройствами»), зданий и других предметов, встроенных в электронику, программное обеспечение, датчики, исполнительные механизмы и сеть, которые позволяют этим объектам собирать и обмениваться данными [27].

«Вещами» в технологии условно называют встроенные технические устройства. Каждое техническое устройство идентифицируется с помощью информационно-вычислительной системы. При этом такой комплекс способен взаимодействовать с инфраструктурой Интернета. Еще одна особенность Интернета вещей в том, что она использует не любые устройства, а только мобильные умные устройства. К этим устройствам относят устройства, имеющие локальные вычислители. Эти локальные вычислительные устройства обладают способностью к объединению по аналогии с живыми системами. Мобильные умные устройства Интернета-вещей имеют скорость сетевого соединения на уровне 5G.

Важным сегментом Интернета-вещей являются устройства межмашинного взаимодействия (M2M)[28]. Большинство промышленных систем, использующих автоматического управления применяло замкнутые сети «устройство(вещь)-устройство (вещь)» Это делает их идеологически близкими Интернету-вещей. Они были ограничены рамками одного предприятия. Интернет-вещей дает возможность подключения этих сетей к Интернет, а через него к другим производственным сетям других промышленных объектов. Такими объектами могут быть и объекты транспорта. Эта возможность важна для железнодорожного транспорта, поскольку снимает территориальные ограничения.

Для Интернета-вещей существует проблема, связанная с информационными цифровыми потоками. Эти потоки рожают огромные объемы данных, которые приводят к проблеме больших данных. Большие данные делят на первичные и вторичные. Первичные данные требуют обработки с привлечением интеллектуальных методов и интеллектуальных систем.

Решения IoT созданы в первую очередь для транспорта. Коммуникации на транспорте существовали, существуют и играют важную роль. Соединение в единую систему частей подвижного состава обеспечивается умными мобильными устройствами. При этом возникает информационно вычислительная сеть состава. Глобальная сеть (не обязательно Интернет) объединяет диспетчерскую службу и сеть состава. Такое комплексирование возможно с

помощью Интернета-вещей. На рисунке 1 приведена обобщенная структура Интернета вещей.

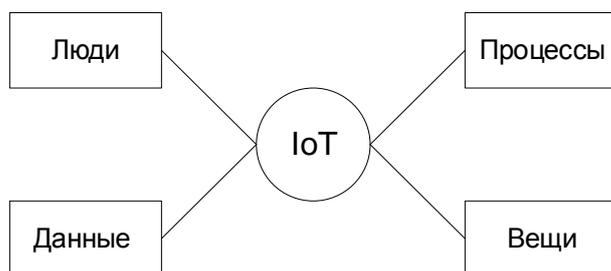


Рисунок 1. Обобщенная структура Интернета вещей

Технология Интернета-вещей включает в себя подмножества информационных взаимодействий M2M, M2P (Machine to Person), P2P (Person to Person) и B2B. Она является более общим по отношению к обычному интернету, предоставляя укрупненную платформу информационно-коммуникационного развития, а также цифрового экономического развития.

Для анализа особенностей Интернета-вещей необходимо выделить разные типы объектов: сложная технологическая система, технологическая система, технология. Технология Интернета вещей относится к сложной технологической системе [29]. Термин «сложная система» предполагает связь IoT с системным анализом и общей теорией систем [30]. Технология Интернета вещей является сетевой технологией, для которой важно семантическое окружение узла сети.

Лингвистически предметная сфера интернета-вещей определяется компонентами: «интернет» и «вещи». Область «интернет» хорошо известна и интуитивно понятна. Непривычный для русского языка термин «вещи» и его область требует рассмотрения. В Рекомендации Y.2060 даны такие интерпретации [31]:

Вещь (thing) -- применительно к IoT означает предмет физического мира (физические вещи) или информационного поля (виртуальные объекты), который может быть идентифицирован и интегрирован в сети.

Вещи обладают статической и динамической информацией. Физические «вещи» существуют в физическом поле и их можно физически измерить, привести в действие и объединить. Виртуальные вещи существуют в информационном поле, информационном пространстве или киберпространстве. Их можно моделировать, хранить, трансформировать. Примеры виртуальных вещей включают виртуальную реальность, дополненную реальность, смешанную реальность и программное обеспечение. Любая физическая вещь может быть трансформирована в киберпространство с помощью одной или более виртуальных вещей. В тоже время виртуальная вещь может существовать и без соответствующей ей физической вещи.

Устройство (device) [31] применительно к IoT означает элемент оборудования, который обладает обязательными возможностями связи и дополнительными возможностями измерения, срабатывания, а также ввода, хранения и обработки данных. На рис.2 показаны различные типы устройств и взаимосвязь между устройствами, виртуальными вещами и физическими вещами.

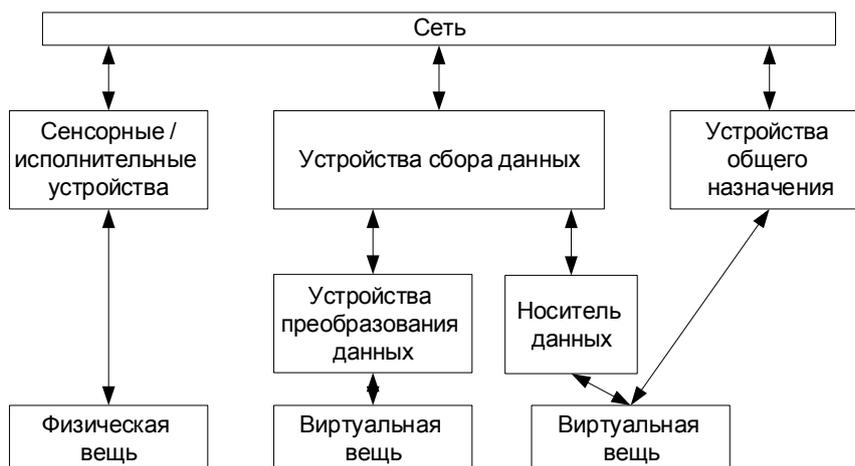


Рисунок 2. Типы устройств и их взаимосвязь с физическими вещами

Устройства подразделяются на категории: преобразования данных, сбора данных, сенсорных и исполнительных устройств, а также устройства общего назначения следующим образом. Сенсорные устройство подключены к физической вещи напрямую Устройство сбора через сеть соединено с сенсором. и непрямым образом соединяет эту физическую вещь с сетями связи; Устройством преобразования данных создает возможность построения виртуальной вещи. Виртуальная вещь является цифровым двойником физической вещи или служит вспомогательным инструментом анализа состояния физической вещи. Виртуальная вещь служит основой управления и воздействия на физическую вещь. Сенсоры, используемые для восприятия физической вещи, работают в радиочастотном, инфракрасном, оптическом и акустическом диапазонах.

Сенсорное устройство создает фактофиксирующие [32] модели данных. Оно измеряет параметры окружающей среды и ситуации, Устройство сбора данных может преобразовывать цифровые сигналы, поступающие от сенсоров или информационных сетей. Как правило, сенсорные и исполнительные устройства связаны в блоки. Они образуют локальные сети и обмениваются данными с помощью проводных или беспроводных каналов связи.

Устройство общего назначения обладает встроенными возможностями обработки и связи и может обмениваться данными с сетями связи с использованием проводных или беспроводных технологий. Устройства общего назначения включают оборудование и приборы, относящиеся к различным областям применения IoT, например, станки, сервоприводы, тормоза. Сети передают собранные данные приложениям и устройствам, а также передают команды или инструкции (прескриптивные модели) от приложений к устройствам. Сети связи должны предоставлять возможности надежной и эффективной передачи данных. Инфраструктура сети в IoT может быть сформирована с использованием существующих сетей, например, традиционных сетей на базе TCP/IP, и/или развивающихся сетей, таких как сети последующих поколений (СПП). В зарубежных источниках сети последующих поколений именуются как Next Generation Networks (NGN).

С технических позиций технологию Интернета вещей определяют как глобальную инфраструктуру [28]. Она обеспечивает возможность предоставления разнообразных сервисов путем соединения физических и виртуальных вещей или физических вещей и их цифровых двойников.

Благодаря уникальной идентификации в Интернет-вещей и встроенным вычислителям обеспечивается рациональное использование физических вещей. Информационное взаимодействие между вещами и с информационным полем является основным процессом. С системных позиций феномен Интернета вещей надо рассматривать как интегрированную сложную систему, которая обладает признаками системности [33] и сложности.

Кибер-физические системы (CPS) и транспортные кибер-физические системы (TCPS).

В случае, когда IoT дополняется сенсорами и управляемыми приводами, она становится основой более сложного класса систем - кибер- физических систем. Одним из средств развития Интернета-вещей в сфере транспорта стали кибер-физические системы (CPS) и развиваемые на их основе транспортные кибер-физические системы (ТКФС) или (TCPS). В транспортной кибер-физической системе дискретные вычислительные компоненты позволяют контролировать и управлять физическими устройствами в режиме реального времени.

Транспортная кибер-физическая систем использует распределенное управление и интеллектуальное управление. Ее можно трактовать как новую ступень развития интеллектуальных транспортных систем. В тоже время между ними существуют различия. В литературе акцентируют внимание на сходстве TCPS и IoT в конструктивном плане. Однако мало работ акцентирует внимание на том, что для функционирования TCPS необходимо киберпространство, а для функционирования IoT достаточно информационного пространства. Отсюда вытекает различие в собираемых данных и моделях взаимодействия виртуальных и физических вещей в этих системах.

Информационные взаимодействия M2M, M2P, P2P, B2B, характеризующие IoT в кибер пространстве TCPS дополняются взаимодействиями типа: V2V (Vehicular-to-Vehicular communications), CPCC (Cyber-Physical Cloud Computing) [34], VCPS (CPS Integration in VANETs), VCC (Vehicular Cloud Computing) [35], V2I (Vehicle Infrastructure) [36], VII (Vehicle Infrastructure Integration) [37] и другими. Определяющим в этих дополнительных информационных взаимодействиях является Vehicle (V) -характеристика движения. Кибер пространство TCPS характеризуется также системами VCN (Vehicular Cloud Networking) [38], ACPS (Авиационные кибер-физические системы).

Основное информационное взаимодействие V2V (Vehicular-to-Vehicular communications) основано на коммуникации между одиночными транспортными средствами на основе разнообразных датчиков, которые устанавливаются на каждом подвижном объекте. информационное взаимодействие V2V является обязательным при создании транспортного киберпространства для любых видов транспорта, включая железнодорожный. Это взаимодействие преобразует информацию отдельных транспортных средств в единое информационное пространство, а при подключении к технологии интернета вещей и создает основу кибер-физического пространства. Это взаимодействие происходит без вмешательства человека за счет датчиков, сенсоров и бортовых вычислительных устройств (рис.3).

Объединение бортовых вычислителей с помощью технологии IoT дает возможность создания технологии Cyber-Physical Cloud Computing [34] кибер-физических облачных вычислений. Она использует технологию облачных вычислений [39]. Для транспорта она стала возможной благодаря применению IoT в транспортных системах и модифицировалась в Vehicular Cloud Networking [38] - транспортную облачную сеть.

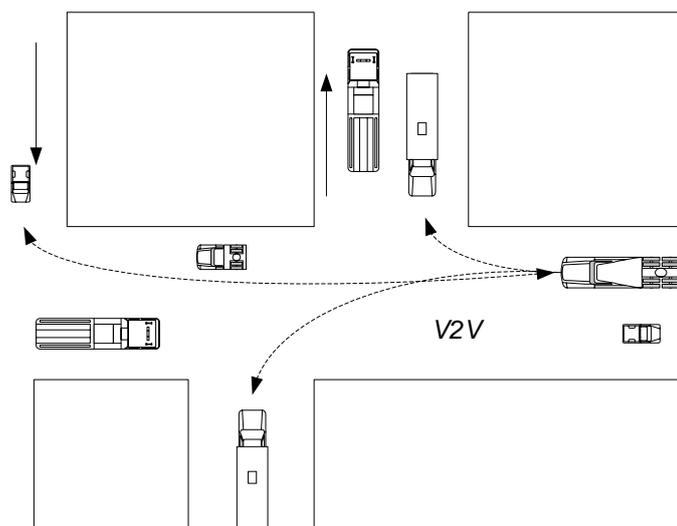


Рисунок 3. Схема информационного взаимодействия V2V

В сфере транспорта используют специальную сеть беспроводной мобильной связи *VANET*. Эта сеть дает возможность транспортным средствам обмениваться разнообразной информацией по беспроводной среде. Интеграция CPS в *VANET* привела к созданию новой технологии, которая получила обозначение *VCPS*. Такая технология позволила создать много приложений, которые помогают управлению транспортом и интенсификации перевозок. На рисунке 4 показана схема информационных взаимодействий в технологии *VCPS* [40].

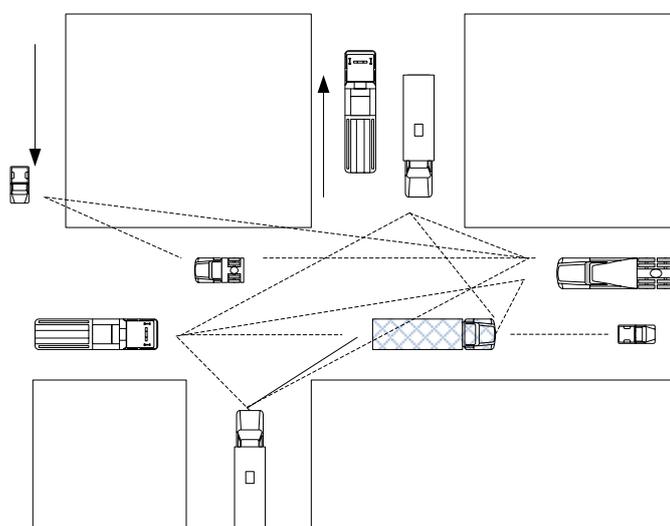


Рисунок 4. Схема информационных взаимодействий в технологии VCPS.

В отличие от *V2V* (рис.3), в которой имеет место взаимодействие «один -ко -многим», в технологии *VCPS* (рис.4) имеет место взаимодействие «многие -ко -многим». С позиций управления это означает что в технологии *V2V* применяют векторное управление (один объект и все остальные – компоненты вектора). В технологии *VCPS* применяют матричное управление (все объекты образуют матрицу отношений между собой).

В технологии *V2V* (рис.3) имеет место анализ информационной ситуации с позиции одного транспортного средства. Эта информация доступна только тому транспортному средству,

которое выполняет анализ. Эта технология требует небольших вычислительных ресурсов одного транспортного средства или одной кибер-физической системы.

В технологии VCPS (рис.4) имеет место анализ информационной ситуации с позиции всех транспортных средства. Эта информация идет в «облако» и в информационное пространство. Она доступна всем транспортным средствам в данной ситуации и доступна координирующему средству управления, службам контроля движения, службам безопасности и другим службам. Эта технология требует больших вычислительных ресурсов и объединения вычислителей транспортных средств или подключения к облаку специальной вычислительной системы или интеллектуальной транспортной системы.

На движение транспортного средства влияют не только подвижные объекты, но светофоры, состояние инфраструктуры. то есть стационарные объекты. Для учета этого фактора в кибер-физических системах используют приложение V2I. Эта аббревиатура обозначают информационное взаимодействие между транспортными средствами и инфраструктурой. Эта технология является аналогом V2V, но в отношении одного подвижного объекта и множества неподвижных.

Для того чтобы подчеркнуть различие между ИТС и ТКФС необходимо рассмотреть технологию ТКФС (Vehicle Infrastructure Integration – VII [37]), которая включает систему интеллектуального движения. Эта технология является распределенной, в то время как ИТС использует централизованное управление или сетевое управление [41].

Система интеллектуального движения (рис.5) основан не на использовании локального информационного пространства (как в ИТС), а на использовании облачного распределенного пространства (облако рис.5) или распределенного кибер пространства, в котором находятся реальные подвижные объекты. В облако собирается информация о состоянии каждого транспортного объекта (1. Рис.5): скорость, состояние тормозов, количество пассажиров и др.: информация о состоянии дорог (2 рис.5): информация о транспортном сервисе (3 рис.5, наличие горючего, стоимость услуг автосервиса); информация о состоянии трафика в реальном времени (4 рис.5) для поддержки работы наземной транспортной навигации; информация об условиях движения (5 рис.5) в первую очередь для диспетчерских служб): экологическое состояние по регионам и районам (6 рис.5); информация о безопасности движения и аварийных ситуациях (7 рис.5).



Рисунок 5. Система интеллектуального движения.

В облако входит информация о состоянии транзитный перевозок для пассажиров и логистических служб (8 рис.5). В облако входит справочная информация о геоданных на район движения и различные карты (9 рис.5). В облако входит информация о состоянии погоды и прогнозы ее изменения (10 рис.5). Эта информация доступна для пользователей, водителей и для служб управления движением и для транспортных кибер-физических систем, которые осуществляют в этой среде управление транспортом. По существу, такая система является интегрированной информационной системой

Интегрированная система интеллектуального движения является развитием технологий интеллектуальных транспортных систем, но является распределенной и обладает большей доступностью и, соответственно, большим числом пользователей. Она обладает более широким спектром моделирования и большим учетом окружающей среды и текущего состояния транспортного средства. Информация о текущем состоянии транспортного средства и о состоянии информационной ситуации поступает в облако только при использовании транспортной кибер-физической системы. Однако она становится доступно для других пользователей облака в соответствии с их статусом и регламентом.

Заключение

Высшим уровнем современного управления транспортом являются транспортные кибер-физические системы. Их возникновение стало возможным благодаря появлению технологии Интернета-вещей. Основой технологии интернета вещей являются информационные взаимодействия типа M2M, M2P, P2P, B2B. Для функционирования технологии Интернета-вещей необходимо информационное пространство, в котором эти взаимодействия становятся возможными. Однако, информационное пространство Интернета-вещей выполняет только коммуникационные функции. Для управления оно не пригодно. Для управления необходимо создание цифрового кибер пространства, в котором возможны дополнительные информационные взаимодействия: V2V, CPCC, VCPS, VCC, V2I, VII. ТКФС имеют вычислитель которые также могут объединяться в системы. Эта система является аналогом GRID, но работает синхронно, а объединенная вычислительная система ТКФС работает асинхронно. Необходимо отметить различие между ТКФС и транспортным кибер-физическим управлением (ТКФУ). ТКФУ является более общей технологией включающие разные ТКФС в единую (облачную) среду. Как перспективу следует отметить развитие туманных вычислений [42], которые также применимы в технологиях ТУФС и ТКФУ. ТКФУ использует пространственные методы анализа состояния объекта управления и эти же методы для принятия решений. Этот анализ обеспечивают геоданные. Поэтому неявно в ТКФУ используются геоданные и пространственные отношения для решения задач управления транспортом. Еще одним неявным фактором в ТКФУ является пространственная логика [43], которая служит анализом пространственных ситуаций и ситуаций движения. В области беспилотного управления [44, 45] также возникает необходимость применения пространственной логики. Недостатком современного ТКФУ является то, что оно является цифровым и слабо визуализовано, что затрудняет его анализ человеком. Поэтому проблема разработки специальных визуальных моделей для ТКФУ является насущной задачей.

Список литературы

1. Елсуков П.Ю. Технология Интернета вещей как сложная система // Славянский форум. - 2019. – 2(24). - С.100-106.

2. Козлов А. В. Интернет вещей как субсидиарная система // Государственный советник. – 2019. - №1(25). – С.10-16.
3. Дешко И.П., Кряженков К.Г., Цветков В.Я. Устройства, модели и архитектуры Интернета вещей: Учебное пособие. – М.: МАКС Пресс, 2017. – 88 с.
4. Черняк Л. Интернет вещей: новые вызовы и новые технологии //Открытые системы. – 2013. – №. 04. – С.14-18.
5. V. Ya. Tsvetkov, S.V. Shaytura, K.V. Ordov. Digital management railway // Advances in Economics, Business and Management Research, volume 105. 1st International Scientific and Practical Conference on Digital Economy (ISCDE 2019), p.181- 185.
6. Зеленин Д. В., Логинов Е. Л. Новая парадигма управления экономикой: переход к “умным сетям” различного управленческого назначения //Экономические науки. – 2010. – Т. 70. – №. 9. – С.156-161.
7. Розенберг И. Н., Цветков В. Я., Романов И. А. Управление железной дорогой на основе спутниковых технологий // Государственный советник. – 2013. - №4. – с.43-50
8. Цветков В. Я. Распределенное управление// Современные технологии управления. -2017. - №4(76). С.9-14.
9. Alguliyev R., Imamverdiyev Y., Sukhostat L. Cyber-physical systems and their security issues //Computers in Industry. – 2018. – Т. 100. – С.212-223.
10. Xu L. D., Duan L. Big data for cyber physical systems in industry 4.0: a survey //Enterprise Information Systems. – 2019. – Т. 13. – №. 2. – С.148-169.
11. Цветков В.Я. Кибер физические системы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 6-1. – С.64-65.
12. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Киберфизические системы в управлении транспортом // Мир транспорта. - 2018. Т. 16. № 2 (75). - С.138-145.
13. Козлов А.В. Субсидиарность транспортных кибер-физических систем // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 2(14). – С.34-44.
14. Лёвин Б.А., Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Транспортные кибер-физические системы // Наука и технологии железных дорог. – 2017. Т.1. 3(4). – С.3-15.
15. Li Y. et al. Nonlane-discipline-based car-following model for electric vehicles in transportation-cyber-physical systems //IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2017. – Т. 19. – №. 1. – С.38-47.
16. Han M., Duan Z., Li Y. Privacy issues for transportation cyber physical systems //Secure and Trustworthy Transportation Cyber-Physical Systems. – Springer, Singapore, 2017. – С.67-86.
17. Tsvetkov V. Ya. Information Space, Information Field, Information Environment // European researcher. 2014. № 8-1(80). p.1416-1422.
18. Мордвинов В. А. Синергетика в информационном поле// Перспективы науки и образования. - 2015. -№3. - С.25-31.
19. Morrill R. L., Pitts F. R. Marriage, migration, and the mean information field: A study in uniqueness and generality //Annals of the association of American Geographers. – 1967. – V. 57. – №. 2. – p.401-422
20. Кудж С.А. Отношения в информационном поле // Перспективы науки и образования. - 2017. - №2(26). - С.17-22.
21. V. Ya. Tsvetkov. Information Relations // Modeling of Artificial Intelligence, 2015, Vol.(8), Is. 4. – p.252-260.

22. Дышленко С.Г. Информационные тринитарные отношения // Славянский форум. -2018. – 2(20). - С.15-20.
23. Елсуков П.Ю. Информационные взаимодействия // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. - 2019. - № 1. – С.64-71.
24. Tsvetkov V. Ya. Information interaction//European researcher.2013.№ 11-1 (62). С. 2573-2577.
25. V. Ya. Tsvetkov, Resource Method of Information System Life Cycle Estimation // European Journal of Technology and Design. - 2014. № 2 (4). p.86-91.
26. Lee, E.A., Seshia, S.A.: Introduction to Embedded Systems - A Cyber-Physical Systems Approach. LeeSeshia.org, 2011.
27. Brown, Eric (13 September 2016)."Who Needs the Internet of Things?" Linux.com
28. Цветков В. Я. Интернет вещей как глобальная инфраструктура для информационного общества // Современные технологии управления. 2017. - №6 (78). С.3
29. Буравцев А.В. Сложные технологические системы// Славянский форум. - 2017. -4(18). – С.14-19.
30. Mitchell, M., & Newman, M. (2002). Complex systems theory and evolution. Encyclopedia of Evolution, 1-5.
31. International Telecommunication Union, Overview of the Internet of things, Recommendation ITU-T Y.2060, June 2012.
32. Цветков В.Я. Фактофиксирующие и интерпретирующие модели // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. - №9-3. – С.487.
33. Болбаков Р.Г. К вопросу о системной информации // Российский технологический журнал. - 2014 - № 3 (4) - С.38-50.
34. Simmon E. et al. A vision of cyber-physical cloud computing for smart networked systems. – Gaithersburg, Maryland : US Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, 2013.
35. Gerla M. Vehicular cloud computing //2012 The 11th annual mediterranean ad hoc networking workshop (Med-Hoc-Net). – IEEE, 2012. – С.152-155.
36. He W. et al. Overview of V2V and V2I Wireless Communication for Cooperative Vehicle Infrastructure Systems //2019 IEEE 4th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC). – IEEE, 2019. – Т. 1. – С.127-134.
37. Ma Y. et al. Real-time highway traffic condition assessment framework using vehicle–infrastructure integration (VII) with artificial intelligence (AI) //IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2009. – Т. 10. – №. 4. – С. 615-627.
38. Lee E. et al. Vehicular cloud networking: architecture and design principles //IEEE Communications Magazine. – 2014. – Т. 52. – №. 2. – С.148-155.
39. Дешко И.П., Кряженков К.Г., Розенберг И.Н., Цветков В.Я., Чехарин Е.Е. Облачные платформы и сервисы. – М.: МАКС Пресс, 2016. – 80с.
40. Cao Y. et al. A trajectory-driven opportunistic routing protocol for VCPS //IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. – 2018. – Т. 54. – №. 6. – С.2628-2642.
41. Кудж С.А., Цветков В.Я. Сетевое управление и кибер-физические системы // Образовательные ресурсы и технологии – 2017. -2 (19). – с.86-92.
42. Mukherjee M., Shu L., Wang D. Survey of fog computing: Fundamental, network applications, and research challenges //IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2018. – Т. 20. – №. 3. – С.1826-1857.
43. Kudzh S. F., Tsvetkov V.Ya. Spatial logic concepts // Revista inclusions. Volumen 7. Número Especial / Julio – Septiembre. 2020 pp. 837-849.
44. Позняк И.И., Полянская А.С, Поклонская А.В, Шевченко И.А Перспективные проекты беспилотного транспорта // Славянский форум. -2019. – 2(24). - С.224-227.
45. Андреева О.А. Беспилотное субсидиарное управление // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 3(15). – С.44-52.

УДК: 528.02; 528.06

ПРИМЕНЕНИЕ СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ТРАНСПОРТНОГО ПРОСТРАНСТВА

Ознамец В. В. к.т.н., профессор, зав. кафедрой, Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), E-mail: voznam@bk.ru, Москва, Россия

Аннотация. В статье исследуется применение спутниковых технологий для создания информационного транспортного пространства. Описаны принципы, основные режимы и методы проведения спутниковых измерений. Обсуждается точность абсолютных и относительных спутниковых измерений. Вводится термин «информационное спутниковое транспортное пространство». Описаны рекомендации и особенности установки базовых станций для информационного транспортного пространства. Показано, что геоинформационное пространство включает информационное транспортное пространство.

Ключевые слова: транспорт, управление, спутниковые технологии, информационное транспортное пространство, абсолютные и относительные измерения.

APPLICATION OF SATELLITE TECHNOLOGIES TO CREATE AN INFORMATION TRANSPORT SPACE

Oznamets V. V. PhD, Professor, Head of the chair, Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAIK), E-mail: voznam@bk.ru, Moscow, Russia

Annotation. The article explores the use of satellite technologies to create an information transport space. The principles, basic modes and methods of satellite measurements are described. The accuracy of absolute and relative satellite measurements is discussed. The term "information satellite transport space" is introduced. Recommendations and features of the installation of base stations for information transport space are described. It is shown that the geo-information space includes the information transport space.

Keywords: transport, control, satellite technologies, information transport space, absolute and relative measurements.

Введение.

Понятие информационное транспортное пространство существует достаточно давно, и оно трансформируется в соответствии с развитием технических средств и вычислительных методов. Информационное транспортное пространство (ИТП) используется для управления [1, 2], мониторинга [3-5], и развития транспортной инфраструктуры [6], для выполнения работ по мобильному лазерному сканированию [7] и др. ИТП является средством поддержки интеллектуальных транспортных систем [8-10], интеллектуальных логистических систем [11-13], транспортных киберфизических систем [14-17]. Информационное транспортное пространство является основой создания цифровой железной дороги [18-21] и автономного поезда [22], а также основой контроля высокоскоростного движения [23]. Для информационного транспортного пространства необходима координатная поддержка [24-27], и одним из основных видов поддержки ИТП являются спутниковые технологии [28, 29].

Основные принципы спутниковых измерений

Развитие космической и спутниковой геодезии привело к новым технологическим решениям координирования на земной поверхности. Этот метод принято называть спутниковым методом определения пространственных координат на земной поверхности. Основой определения координат является система связанных спутников на околоземных орбитах и наземные приемники, которые фиксируют сигналы разных спутников. Используют российскую систему, которая называется ГЛОНАСС. Второй базовой системой является система, разработанная в Соединенных Штатах Америки, которая называется NAVSTAR GPS. Обобщенное название таких систем включая китайскую BeiDou и обще европейскую Galileo звучит как ГНСС.

Первоначально ГЛОНАСС и GPS были ориентированы на военное применение. В упрощенном варианте, с меньшей точностью, их сделали системами открытого доступа для решение прикладных гражданских задач. Можно говорить о «военной» точности и «гражданской» точности систем ГНСС. Погрешность ГЛОНАСС для решения гражданских задач составляет 3-5 метров в абсолютном режиме. Само название абсолютный режим не является точным и путает неискушенного пользователя. Не случайно при этом используют термин «псевдодальности». Более точно следует говорить об удаленных космических измерениях (порядок 20 000 км) и близких наземных измерениях (2 -20 км)

Метод, который называют «абсолютным» или «удаленным» основан на измерении дальности от спутника до приемника по частоте радиосигнала от спутника. По одному расстоянию от спутника до приемника определить координаты точки на земной поверхности нельзя. Если таких спутника 4, то приемник находится на вершине тетраэдра. Формально достаточно 3 спутников, но в этом случае необходимо решить квадратное уравнение, которое имеет два корня. Для устранения второго решения используют четвертый спутник и это приводит к однозначному определению координат точки, в которой расположен спутниковый приемник [30]. Кроме того, что удаленные спутниковые измерения обладают невысокой точностью, они имеют еще ряд недостатков, таких как радиопрозрачность, состояние ионосферы, влияние помех наземных передатчиков и устройств и прочее. Погрешность 3-5 метров исключает применение данного метода для геодезических работ, включая контроль транспортной инфраструктуры и контроль подвижных объектов.

Метод близких наземных измерений основан на методе относительных измерений. их метрологии известно, что относительные измерения более точны. Для относительных измерений нужно использовать эталон или точку отсчета. Такая точка отсчета создается приемником, который фиксируется и не меняет своего местоположения. Его условно называют «базовая станция». Реже применяют название «опорная станция», имея в виду, что измерения осуществляют относительно точки, на которой данная станция установлена. При необходимости измерения на большие расстояния, что типично для транспорта, опорные станции (более 2) устанавливают вдоль трассы

Кроме базовой станции используют второй приемник, который называют мобильной станцией (МС). Его устанавливают в определяемой точке (рис.1).

Таким образом, в относительных измерениях используют опорную или базовую станцию (БС) и ровер (rover) – подвижный приемник [31]. Подвижный приемник позволяет проводить подвижные или мобильные измерения. Применяют три режима работ при относительных измерениях: static, kinematic, fast static. Все три режима различаются временем фиксации сигналов от спутников, и это время служит основой определения координат.

Режим static чаще применяют при установке БС и начальном контроле. Продолжительность измерений в этом режиме от 0.5 до 1 часа.



Рисунок 1. Расположение базовой станции и подвижного приемника

Режим fast static называют также rapid static. Он является привлекательным методом съемки с помощью GPS. Он сочетает высокую точность и короткие периоды наблюдения. Это важно для задач, в которых необходима избыточность наблюдений, например, в кадастре В [32] описывается эксперимент и соответствующий анализ данных, нацеленный на оценку метода быстрой статики GPS в производственной среде. Оценка демонстрирует диапазон применения метода: время занятия, диапазон, надежность и точность. С этой целью была проведена быстрая статическая съемка по геодезическим маркерам, использовавшимся в качестве «наземной точки». В эксперименте использовались базы различной длины от 3,8 км до 75 км. Данные были собраны с использованием двухчастотных приемников. В результате обработки данных были получены одночастотные и двухчастотные решения для трех сеансов различной продолжительности: 5, 10 и 15 минут. Результаты были проанализированы с точки зрения точности и повторяемости. Анализ показывает, что решения, содержащие только L1, надежны только для очень коротких исходных условий. Тот же анализ результатов показывает, что двухчастотное решение надежно для базовых линий до 15 км. Практически нет разницы между решениями из трех сеансов.

Позиционирование в реальном времени (Real-time kinematic - RTK) [32] - это метод спутниковой навигации, используемый для получения пространственных данных о местоположении, получаемых от спутниковых систем позиционирования. Он использует измерения фазы сигнала в несущей волне в дополнение к информационному содержанию сигнала и опирается на одной базовой станции или интерполированное виртуальную станцию, чтобы обеспечить корректировки в режиме реального времени, обеспечивая до сантиметра - уровень точности. Он находит применение в землеустройстве, гидрографической съемке и в навигации беспилотных летательных аппаратов.

Первым этапом является определение положения БС. Базовая станция устанавливается на пункт, который является точкой отсчета измерений. Она является основой относительных измерений, поэтому должна измеряться с высокой точностью. Поэтому ее определяют с

пунктов ГГС. Их выбирают как можно ближе к области измерений при помощи БС. В свою очередь, для определения координат БС используют все пункты ГГС в зоне видимости. При этом выполняют следующие условия: не менее 5 пунктов являются высотными, не менее 4 пунктов являются плановыми. Эти условия создают возможность приведения спутниковых измерений в систему планового- высотного обоснования. На рис.2 дана схема развития сети для определения БС.

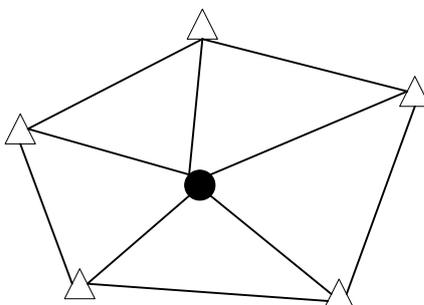


Рисунок 2. Схема развития сети для определения БС (из Ознамец В.В., Кравчук И.М., УМП Спутниковые системы и технологии позиционирования, МИИГАиК, 2020 г.)

На рис.2 кругом выделена - базовая станция; треугольником - пункты ГГС. Расположения БС не является произвольным, а должно удовлетворять определенным требованиям. Существует понятие «хорошее» положение БС. Расположение считают хорошим, если оно отвечает требованиям:

- прямая «видимость» спутников;
- отсутствие препятствий между БС и МС;
- отсутствие в зоне наблюдений отражающих поверхностей, которые создают радио эхо;
- установка МС и БС должна выбираться в стороне от различных вибрационных технических средств, включая транспорт;
- в зоне наблюдений не должны располагаться радары наземного наблюдения или – радиоволновые излучатели.

Базовая станция может быть установлена на пункте с известными координатами, либо, что бывает чаще, на пункте координаты которого измеряют (рис.2). Главным при выборе положения БС являются условия «хорошего» расположение, описанные выше.

Часто базовые точки располагают на крышах зданий при условии устойчивости крыш и станций. Более основательная установка БС обычно производится на каменных стенах зданий (рис.3. В этом случае в качестве базовой точки используют антенны спутникового приёмника, при этом возможны промежуточные работы по расчету точки привязки к сети, которая не обязательно совпадает с антенной. Такой точкой может быть точка крепления антенны к стене (рис.3).

Точность измерения или установки БС определяет точность дальнейших измерений. В силу этого при установке БС выбирают режим static.

Как правило на пунктах ГГС, участвующих в определении координат БС интервал спутниковых наблюдений должен составлять не менее 60 минут. Этот режим применяют также при решении задач, требующих повышенной точности. Этот режим применяют в условиях плохой радиопрозрачности, например, в условиях плотной городской застройки или в залесённой местности.

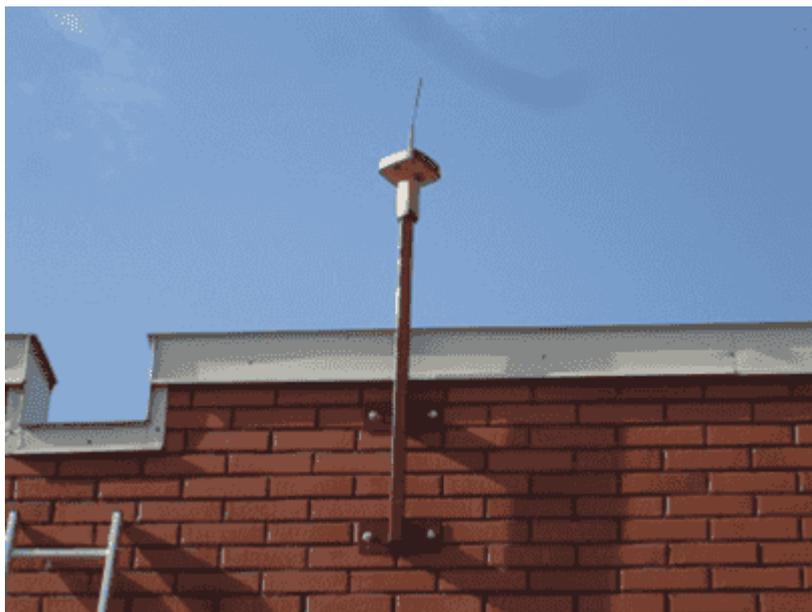


Рисунок 3. Вариант расположения базовой станции (см. рис.1)

Увеличение времени наблюдений влечет повышение точности измерения координат до определенного предела. Увеличение времени наблюдений влечет снижение влияния случайных радиопомех и факторов ионосферы.

Естественно, что режим *static* использует не менее двух приёмников, каждый из которых видит «созвездие» четырёх общих спутников. Следует подчеркнуть, что созвездие спутников должно быть общим для БС и МС. Порядок работы на БС соответствует требованиям инструкции работы со спутниковыми приемниками.

По завершению измерений м МС и БС проводят вычислительную обработку данных с отбраковкой несчетных наблюдений и уравниванием.

При многих видах измерений применяют контроль с использованием либо независимых измерений, либо повторных измерений, либо дублирующих измерений (рис.4). На рис.4 большие круги обозначают базовые станции. Малые обозначают опорные станции. Пунктирные окружности показывают области измерения базисных станций.

На рис.4 показаны три области, в которых выполняется контроль разного типа. Пересечение областей измерения базисных станций представляет собой зону дублирующих измерений (ДИ), левый прямоугольник на рис.4 показывает зону повторных измерений (ПИ). Правый прямоугольник на рис.4 показывает зону независимых измерений (НИ) относительно пункта ГГС.

Контроль особенно важен для режимов кинематика и быстрая статика. Для этих режимов существенным является влияние случайных помех, искажающих координатные измерения. На результат измерений и главное на точность измерений для этих режимов существенно влияют: прозрачность ионосферы; расположение созвездия искусственных спутников близко к прямой или к треугольнику; кратковременные радиопомехи, кратковременное радиоэхо.

В процессе спутниковых измерений, после цикла работ возникает задача преобразования координат [33] Она обусловлена многими причинами, главная из которых работа в местной

системе координат. Кроме того, возникает необходимость сопоставления измерений с другими измерениями, выполненными в других системах координат, в частности, для контроля измерений. Ряд программ преобразования координат встроен в программное обеспечение постобработки спутниковых наблюдений. В других случаях преобразование координат должен осуществлять пользователь.

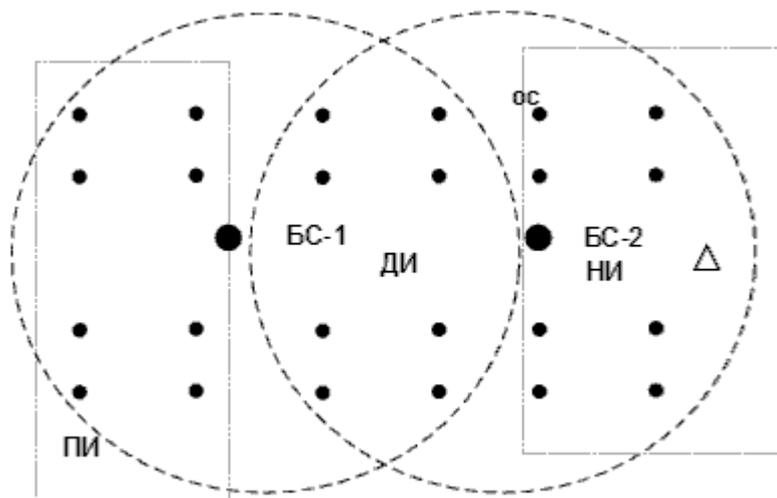


Рисунок 4. Схема наблюдений с контролем.

Преобразование координат может быть использовано как метод контроля при независимых измерениях. Например, наблюдатель вынужден менять регион работ и соответственно опорные пункты. Нет общего и универсального ключа преобразования координат для разных регионов. Местные координатные системы также могут различаться, например, для строителей и на транспорте. В силу этого они имеют дополнительное название, например МТСК – местная транспортная система координат.

Одной из важных проблем при проведении спутниковых измерений является методика закладки геодезических пунктов. Она реализуется на основе имеющихся нормативных документов. Следует отметить, что принята практика в городских условиях закладывать центры на капитальных сооружениях и зданиях. Не рекомендуется закладывать геодезические пункты на зданиях или сооружениях, которые расположены на расстоянии менее 50 м от железной дороги. К сожалению, это условие часто игнорируется.

Топографическая съёмка с использованием спутниковых технологий.

Топографическая съёмка с применением спутниковых технологий - это технологический процесс сбора информации о местоположении каждой точки местности путем измерения и вычисления приращений координат относительно БС

Топографическая или топографическая съёмка поверхности показывает высоту, глубину, размер и расположение любых искусственных или природных объектов на данном участке земли, а также изменения или контуры высот по всему участку. В то время как при съёмке границ основное внимание уделяется горизонтальным измерениям границ, при топографической съёмке измеряют плановые и высотные координаты.

Топографические съёмки создавались сериями, чтобы служить основой для более крупных топографических карт. Эти крупномасштабные съёмки предназначались для выявления возвышенностей и форм рельефа, не перечисленных на традиционных картах и съёмках. Первая

серия топографических карт всей страны известна как *Carte géométrique de la France* (1789 г.). Затем топографические съемки использовались в военных целях и в строительстве инфраструктуры. В 1980-х годах базы данных начали заменять печатные топографические карты. Создатели баз данных объединили информацию из этих топографических карт с другими источниками, чтобы создать то, что к середине 90-х годов стало удобным для пользователя ресурсами, которые мы теперь узнаем, когда получаем доступ к картам в Интернете. В наши дни топографические карты по-прежнему служат своей цели: помогают в географическом планировании, исследованиях в области наук о Земле и строительстве

Для проведения топографической съемки используются устройство глобальной системы позиционирования (GPS) геодезического качества, теодолитные станции (total station theodolite - TST) устройства электронного измерения расстояния (electronic distance measurement - EDM) для определения местоположения объектов, показанных на плане. Топографическая съемка показывает существующие объекты, границы владений и изолинии, обозначающие рельеф местности

При формировании полосы отвода при строительстве железных дорог необходимо проводить различные исследования, в том числе топографические. Проекты железных дорог не могут быть успешно реализованными, если высота и особенности земельного участка не учитываются в их планах развития, Топографические исследования с использованием спутниковых измерений незаменимы при формировании полосы отвода, поскольку предоставляемые ими данные могут существенно изменить планы строительства. Топографические исследования с информационной точки зрения устраняют информационную неопределенность

Атрибутивная информация может быть интегрирована в топографические исследования, что помогает проектной группе учитывать необходимые и актуальные ограничения объекта строительства. Это может включать участки участка через особенно разнообразные градиентные разрезы, высоту пятен окружающей земли и особенности участка, то есть соседние объекты для оценки обзора, информацию о подземных коммуникациях (из радиолокационного отслеживания и интеграции данных записей коммунальных служб). Топографические исследования с применением спутниковых технологий имеют множество практических применений

Внедрение спутниковых технологий в топографические исследования изменило организационные и технические принципы полевых и камеральных работ. Особенность этих технологий в следующем:

1. При использовании традиционных наземных геодезических методов неизбежно возникала потребность обеспечения прямой видимости между смежными определяемыми пунктами, что, в свою очередь, приводило к необходимости выбора пунктов на командных высотах местности, доступ к которым был далеко не всегда удобным, а также к строительству дорогостоящих геодезических наружных сигналов. Но даже при выполнении этих требований максимальное удаление между смежными пунктами ограничивалось, в лучшем случае, расстояниями в несколько десятков километров.

Современная спутниковая технология открыла возможность проведения высокоточных геодезических измерений при отсутствии прямой видимости между пунктами, в результате чего отпадает необходимость постройки наружных сигналов и выбора пунктов на возвышениях. При этом длина измеряемых базисных линий столь жестко не лимитируется, и может достигать

тысячи и более километров.

2. При выполнении большинства геодезических измерений традиционными методами требуется не только прямая, но и оптическая видимость между пунктами, следствием чего является необходимость выбора хороших условий видимости и соответствующего времени суток, наличия растительности, что снижает производительность полевых работ. Спутниковые методы определения местоположения являются, по существу, всепогодными, в результате чего измерения можно производить при любой погоде, в любое время суток и в любое время года. При этом производительность труда полевых бригад резко возрастает, не требуется прорубать визирки.

3. Геодезические измерения, базирующиеся на традиционных методах, приходится производить в высокодинамичных неустойчивых приземных слоях атмосферы. В результате этого внешние условия оказываются, во многих случаях, основным источником ошибок, ограничивающим предельную точность геодезических измерений, сокращая тем самым круг задач, решаемых геодезическими методами. При использовании спутниковых технологий влияние атмосферы удаётся уменьшить в десятки раз, что позволяет повысить предельную точность измерений на один — два порядка.

4. Подавляющее большинство традиционных геодезических методов приспособлено для выполнения измерений в статике, т.е. между неподвижными пунктами, что негативно сказывается на развитии динамических методов, ориентированных на выполнение геодезических измерений в движении (морская геодезия, аэрофотосъемка и др.).

5. При изучении различного рода деформаций, возникающих в земной коре, крупных инженерных сооружениях и на других объектах, появляется необходимость выполнения достаточно частых (а иногда и непрерывных во времени) измерений. Традиционные геодезические методы плохо приспособлены к организации таких мониторинговых измерений на объектах больших размеров. Что касается спутниковой аппаратуры потребителя, то она без особых затруднений позволяет производить такие измерения.

6. Развиваемые в течение многих лет геодезические методы были ориентированы на раздельное создание плановых и высотных сетей, что обусловлено недостаточной универсальностью традиционных методов, не позволяющих одновременно и с необходимой точностью определять все три координаты пунктов. Спутниковые технологии открывают такую возможность, в результате чего целесообразность раздельного построения плановых и высотных сетей становится, в большинстве случаев, необоснованной.

7. Традиционно используемые методы геодезических измерений характеризуются сравнительно низким уровнем автоматизации, что не только снижает производительность труда, но и приводит, в отдельных случаях, к появлению дополнительных ошибок измерений, обусловленных субъективными факторами. При спутниковых измерениях роль наблюдателя резко уменьшается, так как практически весь процесс измерений и последующих вычислений полностью автоматизирован.

Заключение.

Термин информационное транспортное пространство является относительно новым и используется в разных контекстах. В данной работе рассматривается информационное спутниковое транспортное пространство. Организация информационного транспортного пространства является основой развития высокоскоростного транспорта. Спутниковые технологии являются основой поддержки ИТП. Информационное спутниковое транспортное

пространство является подмножеством геоинформационного пространства [34, 35]. Однако и спутниковые методы не универсальны. Отметим следующие недостатки методов ГНСС:

1. Проблема преобразования координат в локальную геодезическую систему, а геодезических высот - в систему нормальных высот.

2. Зависимость от препятствий и радиопомех. Спутниковые методы невозможно применять под землёй.

3. Точность определения высот в 2-5 раз уступает точности определения плановых координат.

4. Высокая стоимость оборудования, сложное программное обеспечение

В тоже время оперативность и простота работы делают данный метод основным при решении задач координирования пространственных объектов.

Список литературы

1. Розенберг И. Н., Цветков В. Я. Распределенное управление на транспорте // Наука и технологии железных дорог. – 2018. Т.2.– 3(7). – С.3-16.

2. Ознамец В.В. Информационное управляющее транспортное пространство // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 4(16). – С.43-50.

3. Розенберг И. Н. Геоинформационный мониторинг транспортных объектов // Науки о Земле. - 2012.- №3. - С.20-25.

4. Цветков В.Я. Геоинформационный геотехнический мониторинг // Науки о Земле. - 2012. - №4. - С.054-058.

5. Охотников А. Л. Геоинформационный мониторинг транспортных объектов // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 3(3). – С.35-47.

6. Лёвин Б.А. Комплексный мониторинг транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. – 2017. Т.1.– 1(1). – С.14-21.

7. Андреева О. А. Применение мобильного лазерного сканирования для мониторинга объектов транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 3(11). – С.61-74.

8. Цветков В.Я., Розенберг И.Н. Интеллектуальные транспортные системы - LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, Saarbrücken, Germany, 2012. - 297с.

9. Sumalee A., Ho H. W. Smarter and more connected: Future intelligent transportation system //Iatss Research. – 2018. – Т. 42. – №. 2. – С.67-71.

10. Kaffash S., Nguyen A. T., Zhu J. Big data algorithms and applications in intelligent transportation system: A review and bibliometric analysis //International Journal of Production Economics. – 2021. – Т. 231. – С.107868.

11. Цветков В.Я. Интеллектуализация транспортной логистики // Железнодорожный транспорт. -2011. - №4. – С.38-40.

12. Sun L. et al. Flexible vehicle scheduling optimization with uncertainty in intelligent logistic systems //Sensors and Materials. – 2019. – Т. 31. – №. 6. – С.2131-2142.

13. Kovalský M., Mičieta B. Support planning and optimization of intelligent logistics systems //Procedia engineering. – 2017. – Т. 192. – С.451-456.

14. Liu Y. et al. Review on cyber-physical systems //IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica. – 2017. – Т. 4. – №. 1. – С.27-40.

15. Цветков В.Я. Управление с применением кибер-физических систем // Перспективы науки

и образования. - 2017. - №3(27). - С.55-60.

16. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Киберфизические системы в управлении транспортом // Мир транспорта. - 2018. Т. 16. № 2 (75). - С.138-145.

17. Лёвин Б.А., Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Транспортные кибер-физические системы // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 3(3). – С.3-15.

18. Буравцев А. В. Цифровая железная дорога как сложная организационно-техническая система // Наука и технологии железных дорог. – 2018. Т.2.– 1(5). – С.69-79.

19. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Цифровая железная дорога: принципы и технологии // Мир транспорта. - 2018. - Т. 16. - №3 (76). - С.50-61.

20. Zhuravleva N. A., Gulyi I. M., Polyanychko M. A. Mathematical description and modelling of transportation of cargoes on the base digital railway //Environment. Technologies. Resources. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. – 2019. – Т. 2. – С.175-179.

21. V. Ya. Tsvetkov, S.V. Shaytura, K.V. Ordov. Digital management railway // Advances in Economics, Business and Management Research, volume 105. 1st International Scientific and Practical Conference on Digital Economy (ISCDE 2019), P.181- 185.

22. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Тенденции развития автономного поезда // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 2(14). – С.3-12.

23. Розенберг Е. Н., Батраев В. В. Интеллектуальная система управления и обеспечения безопасности движения на ВСМ //Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО РЖД. – 2017. – №. 1. – С.10-22.

24. Розенберг И.Н. Цветков В.Я. Координатные системы в геоинформатике – МГУПС, 2009 - 67с.

25. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Среда поддержки интеллектуальных систем // Транспорт Российской Федерации. - 2011. -№ 6. - С.6-8.

26. Шайтура С. В. Проблемы координатного обеспечения цифровой железной дороги // Наука и технологии железных дорог. – 2018. Т.2.– 1(5). – С.62-68.

27. Дзюба Ю. В Координатная среда цифровой железной дороги // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 2(6). – С.43-53.

28. Вылегжанин А. Н., Сатдинов А. И. Применение спутниковых технологий в интересах функционирования железных дорог //Иновационная железная дорога. Новейшие и перспективные системы обеспечения движения поездов. – 2020. – С.85-92.

29. Розенберг И. Н., Цветков В. Я., Романов И. А. Управление железной дорогой на основе спутниковых технологий // Государственный советник. – 2013. - №4. – С.43-50.

30. ГОСТ Р 55536- 2013 Глобальные навигационные спутниковые системы. Методы и технологии выполнения геодезических работ. Общие требования к фундаментальным геодезическим параметрам. Москва, Стандартинформ, 2013.

31. ГОСТ Р 53864-2010. Глобальная навигационная спутниковая система. Сети геодезические спутниковые. Термины и определения. Москва, Стандартинформ, 2011.

32. Quan Y. et al. Convolutional neural network based multipath detection method for static and kinematic GPS high precision positioning //Remote Sensing. – 2018. – Т. 10. – №. 12. – С.2052.

33. ГОСТ 32453— 2017. Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. Москва, Стандартинформ, 2017.

34. Бучкин В.А. Геоинформационное пространство в транспортной сфере // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 2(14). – С.34-44.

35. Матчин В.Т. Интегрированное геоинформационное пространство // Славянский форум. - 2018. – 3(21). - С.21-27.

УДК: 528.9; 004.94

ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Андреева О.А. Аспирант, МИИГАиК, E-mail: andreeva_olga@inbox.ru, Москва, Россия

Аннотация. В статье описаны основные задачи трехмерного моделирования транспортной инфраструктуры. Описано значение информационных единиц в трехмерном моделировании. Введено новое понятие трехмерные информационные единицы. Показано различие между абстрактными информационными единицами и реальными информационными единицами. Показано значение визуального моделирования в трехмерном пространственном моделировании. Показано различие между объектным и ситуационным трехмерным моделированием. Доказано, что трехмерное моделирование объектов транспортной инфраструктуры является ситуационным. Трехмерное моделирование является неотъемлемой технологией современного управления транспортом.

Ключевые слова: транспорт, пространственная информация, трехмерное моделирование, пространственное моделирование, информационные единицы, визуальное моделирование.

3D MODELING OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE OBJECTS

Andreeva O.A. Graduate student, MIIGAiK, E-mail: andreeva_olga@inbox.ru, Moscow, Russia

Annotation. In article are described the main tasks of 3D modeling of transport infrastructure. The meaning of information units in three-dimensional modeling is described. A new concept of three-dimensional information units has been introduced. The difference between abstract information items and real information items is shown. The value of visual modeling in three-dimensional spatial modeling is shown. The difference between object and situational three-dimensional modeling is shown. It is proved that three-dimensional modeling of transport infrastructure objects is situational. 3D modeling is an integral technology in modern transport management.

Keywords: transport, spatial information, three-dimensional modeling, spatial modeling, information units, visual modeling.

Введение.

Трехмерное пространственное моделирование представляет собой развивающееся направление [1, 2]. Оно является разновидностью моделирования и относится к классу информационного моделирования [3, 4] и к классу пространственного трехмерного моделирования [5]. Трехмерное моделирование объектов транспортной инфраструктуры является технологией, которую применяют при необходимости решения задач, для которых плановой информации недостаточно. Например, строительство тоннелей [6], прокладка трассы

железных дорог [7], строительство мостов, расчет габаритов объектов по высоте и другие задачи. Следует отметить, что цифровое пространственное моделирование большей частью является трехмерным и эти понятия часто употребляют как синонимы. Трехмерное пространственно моделирование объектов транспортной инфраструктуры реализуется с помощью разных технологий: геоинформационных, САПР [8], математического моделирования, технологий мобильного лазерного сканирования (МЛС) [9]. Во всех случаях оно включает комплекс более частных технологий.

Трехмерное моделирование чаще всего основано на геоинформационных технологиях [10] как на интегрирующей основе. Геоинформационное моделирование порождает геоинформационное проектирование [11]. Особенность трехмерного моделирования в геоинформатике в том, что оно является также ситуационным [12, 13]. Трехмерное моделирование в САПР и при математическом пространственном моделировании является объектным. Трехмерное моделирование в МЛС также является ситуационным [9].

Объединяющим фактором при трехмерном моделировании объектов транспортной инфраструктуры является инфологическое моделирование [14, 15]. Трехмерное моделирование применяет информационные модели: модели объектов, модели рельефа, модели поверхности, модели информационных конструкций [16], модели процессов [17], модели информационных ситуаций [18]. При сложных конструкциях применяют когнитивное моделирование [19]. Особенностью трехмерного моделирования является то, что в силу многообразия пространственных ситуаций с объектами транспортной инфраструктуры возникают проблемы, которые нельзя решить стереотипным моделированием.

Принципы трехмерного моделирования

Трехмерное пространственное моделирование с позиций информатики представляет собой информационное конструирование [20] реального объекта в пространстве параметров. Трехмерное пространственное моделирование ставит ряд проблем, требующих решения:

- 1) создание координатного пространства [21];
- 2) моделирование поверхностей [22];
- 3) моделирование дискретных точечных или проволочных объектов;
- 4) моделирование трехмерных изображений [23].

Перечисленные проблемы в совокупности образуют комплексную проблему трехмерного пространственного моделирования. Ее решение в принципе невозможно без применения методологии трехмерного геоинформационного моделирования. Трехмерное моделирование объектов транспортной инфраструктуры опирается на применение геознаний [24] и пространственных знаний [25]. Расширение функциональных возможностей трехмерного моделирования основе геознаний означает переход от ГИС к интеллектуальным ГИС [26], основанных на применении агентов моделирования и создание предпосылок для качественных изменений в геоинформационном трехмерном моделировании и трехмерном пространственном моделировании. При декомпозиции трехмерного моделирования на отдельные задачи получается схема, приведенная на рис.1. Основной задачей является координатное обеспечение. Создание координатных систем и организация связи между ними [27] есть задача координатного обеспечения.

Геометрическое моделирование определяет точность пространственных построений. Следующий уровень точечного моделирования включает семантическое и когнитивное моделирование. Геометрический уровень вычисляет координаты точек, а точечный уровень

объединяет точки, принадлежащие: одному объекту, одной поверхности, одной линии.

Следующий уровень, о котором мало говорится это уровень пространственной логики [28, 29] и пространственного логического моделирования. Этот уровень использует семантику, но главное в нем пространственное логическое моделирование. Оно состоит в логическом анализе пространственных отношений, которые входят в информационную пространственную ситуацию [30]. Еще раз следует отметить, что моделирование объектов транспортной инфраструктуры является ситуационным, а не объектным. Моделируется не один объект, а совокупность объектов в данной ситуации. Это характерно для подвижных объектов, для которых характерно изменение окружающей ситуации. Для подвижных объектов трехмерное моделирование является динамическим.

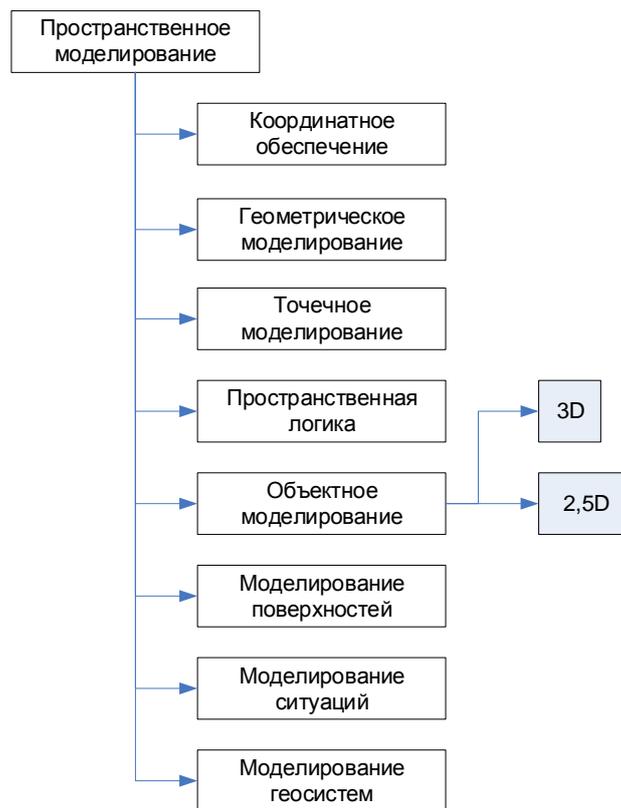


Рисунок 1. Декомпозиция трехмерного моделирования

В пространственном моделировании важную роль играет моделирование поверхностей. Пространственное моделирование включает моделирование ситуаций и моделирование геосистем. Для конструирования моделей объектов и ситуаций применяют теоретико-множественные отношения: объединения, вычитания, пересечения, отрицания, определяемые соответственно как

$$\begin{aligned}
 (C = A \cup B) &\equiv (\forall x: (x \in C) \wedge (x \in A \vee x \in B)); \\
 (C = A - B) &\equiv (\forall x: (x \in C) \wedge (x \in A \wedge x \notin B)); \\
 (C = A \cap B) &\equiv (\forall x: (x \in C) \wedge (x \in A \wedge x \in B)); \\
 (C = -A) &\equiv (\forall x: (x \in C \wedge x \notin A)).
 \end{aligned}$$

В этих выражения множество C – результирующее множество, участвующее в моделировании. A и B – исходные множества, которые служат основой моделирования. Перечисленные операции над пространственными объектами являются «массовыми» и применимы к точечным, линейным и ареальным объектам. Они формируют информационную пространственную конструкцию, но не формируют поверхность,

Применение онтологий при трехмерном моделировании

Для трехмерного моделирования необходимо представление геознаний в виде онтологий [31] и пространственных онтологий [32]. Под онтологией понимают явное описание объектов и ситуаций в виде понятий и связей между ними. Иногда говорят о концептуализации, что реже имеет отношение к прикладным онтологиям. Онтологии имеют специфику в каждой области. Существуют пространственные онтологии и геоинформационные онтология. Формально описание онтологии имеет вид:

$$O = \langle T, D, Ru \rangle, \quad (1)$$

В выражении (1) T - понятия, организованные в виде тезауруса, D - их определения, RU правил вывода.

Мета-моделирование [33] приводит к понятию мета- онтологии. Мета-онтологии (МО) [34] описывают наиболее общие понятия, которые не зависят от предметных областей. Соответственно, онтология предметной области OSR есть описание предметной области и применяется для того, чтобы уточнить понятия, определённые в мета-онтологии. При дальнейшей детализации приходим к онтологии конкретной задачи. Онтология конкретной задачи (ОТ) определяет терминологическую базу, относящуюся к задаче или проблеме. Специфическими являются сетевые онтологии (НО). Они используются для описания конечных результатов действий, выполняемых объектами определенного класса или категории предметной области или задачи.

Тезаурус содержит перечень всех терминов, используемых для репрезентации. С формальной точки зрения тезаурус представляет собой описание

$$T = \langle t, k, d \rangle, \quad (2)$$

В выражении (2) t - термин, k – категория термина, d – деривация термина. Элементы тезауруса подразделяются на категории: сущности; свойства, процессы, качества, количества, названия единиц измерения. D подразделяются на категории: значения качественных свойств; значения количественных свойств, семантические значения. Можно говорить о тезаурусе значений TD .

$$TD = \langle vqu, vqv, vsem \rangle, \quad (3)$$

В выражении (3) vqu – качественные значения, vqv – количественные значения, $vsem$ – семантические значения. RU правил вывода включают.

$$RU = \langle sint, rder, rrel \rangle, \quad (4)$$

В выражении (4) Sint - синтаксис, rder - правила деривации, rrel - правила отношений. Использование единого для всех предметных областей перечня понятий и принципа онтологий решает проблему моделирования для различных информационных систем, ГИС и САПР.

Информационные единицы и визуальное моделирование при трехмерном моделировании

Дна из особенностей трехмерного моделирования объектов транспортной инфраструктуры состоит в необходимости визуального представления трехмерных объектов и визуального моделирования. Визуальное моделирование чаще всего заключается в выборе точке наблюдения и рассмотрения пространственной ситуации с этой точки. Визуальное моделирование, как технология качественного анализа, позволяет решать комплексные задачи, которые не решаются технологиями количественного анализа. Технология визуального моделирования эффективна только для сложных ситуаций и геосистем. Выделяют два типа создания трехмерных моделей на практике. Трехмерные модели создают на основе картографической основы: по планам городов, топографическим картам или обзорным картам. Трехмерные модели создают по цифровым трехмерным моделям.

Трехмерные модели в визуальной форме чаще всего применяют для визуального анализа взаимного расположения объектов транспортной инфраструктуры с учетом особенностей рельефа (рис.2). В этом случае говорят о трехмерной сцене. Трехмерная сцена является аналогом фотоснимка, но построенная по модели точки наблюдения и видимым зонам с этой точки наблюдения.



Рисунок 2. Визуализация трехмерной модели в виде сцены.

На рис.2 изображен фрагмент стационарной инфраструктуры. Трехмерные модели жилых или не жилых помещений позволяют описывать объемный вид интерьера и создаются на основе поэтажных планов. Трехмерные модели, которые создают по тематическим картам, могут дополняться статистической или тематической информацией, удобной для анализа при поддержке принятия решений.

Для построения трехмерной модели объектов инфраструктуры используют информационный комплекс, включающий: планово-высотные координаты объектов, модель рельефа, библиотеку трехмерных информационных единиц [35], цифровые фотоснимки, семантику объектов и ситуаций.

Для того, чтобы трехмерная модель выглядела реалистично поверхность объекта покрывают текстурой. Текстура представляет собой гомогенное растровое покрытие поверхностей объекта. Ее удобно хранить в тайловой форме. Формирование текстур первично выполняется по

цифровым фотографиям, а затем по библиотекам текстур. При фотографировании больших объектов инфраструктуры можно выделить на поверхности объекта повторяемые части и делать фотографии этих частей. Затем, как принято в САПР повторяющиеся части формирую в виде блоков и хранят объект в виде совокупности блоков и структуры между ними. Такой способ хранения существенно (на два порядка) сокращает объем памяти для хранения модели. Но главное, он упрощает работу при модернизации блоков.

Для упрощения моделирования применяют трехмерные информационные единицы (ТИЕ). Информационные единицы создают лингвистическое обеспечение Информационные единицы используются в САПР, где характеризуются точкой привязки, масштабом и ориентацией. Блоки можно рассматривать как составную информационную единицу. В теории САПР информационные единицы называют графическими примитивами. Размер информационной единицы (ТИЕ) задают по фактическим параметрами при создании модели. Он обычно задан в семантике объекта. В таком случае необходимо задать способ масштабирования ТИЕ. Ширина и длина ТИЕ могут меняться пропорционально изменению высоты, а могут и оставаться неизменными.

Трехмерные информационные единицы подразделяют на абстрактные и реальные [36]. Абстрактные представляют собой элементарные немасштабные геометрические фигуры. Они показаны на рис.3.

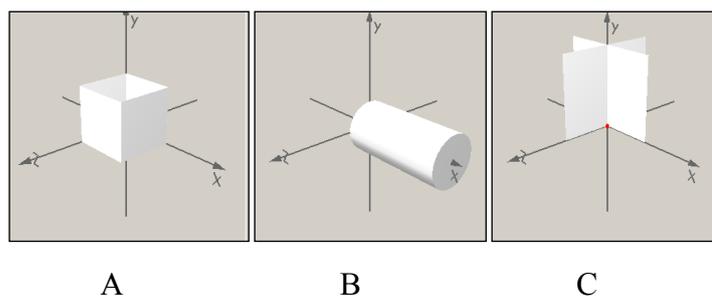


Рисунок 3. Абстрактные трехмерные информационные единицы

В процессе моделирования абстрактные ТИЕ детализируются. Масштабируются и дополняются другими информационными единицами. При необходимости их покрывают текстурой. На рис.4 приведена пространственная модель фрагмента инфраструктуры, полученная развитием модели единицы на рис.3А.

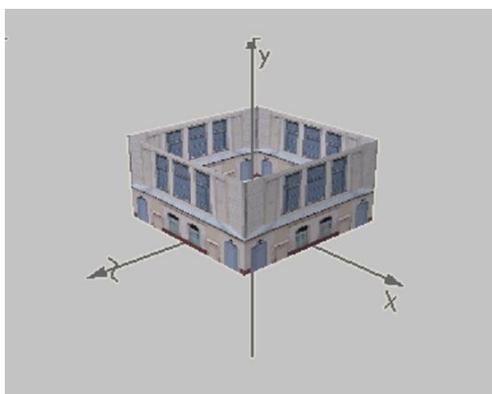


Рисунок 4. Модель фрагмента инфраструктуры.

Трехмерное моделирование позволяет изучать эффект анаморфотности, который имеет место при наблюдении или съемки с подвижных объектов. К числу которых относится и железнодорожный транспорт. Эффект анаморфотности состоит из изменения масштабов по направлению вдоль движения и перпендикулярно движению. На рис.5 приведена модель объекта в натуральную величину.



Рисунок 5. Трехмерная модель объекта в естественных размерах

На рис.6 приведена модель этого же объекта при наблюдении с движущегося средства со скоростью 100 км/час с расстояния 30м. эффект анаморфотности зависит от скорости подвижного объекта и от расстояния до объекта. Чем меньше расстояние и чем выше скорость, тем сильнее эффект анаморфотности.



Рисунок 6. Анаморфотная модель объекта

Реальные ТИЕ представляют собой пространственные немасштабные копии элементов транспортной инфраструктуры. Их масштаб и ориентация формируются по данным пространственной информационной ситуации, которая моделируется в процессе исследования. С позиций САПР реальные ТИЕ эквивалентны блокам.

Основной информационный принцип построения ТИЕ состоит в формировании ТИЕ как составной информационной единицы [35] из простых информационных единиц. Трехмерные информационные единицы хранятся в специальной 3D-библиотеке. Это означает что они должны быть систематизированы и классифицированы перед помещением в библиотеку. Также анализируется целесообразность создания новой ТИЕ или модификации старых. Пример реальных трехмерных информационных единиц транспортной инфраструктуры приведен на рис. 7.

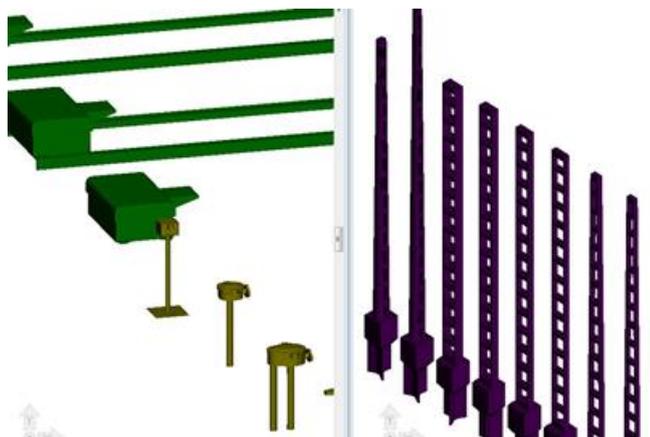


Рисунок 7. Реальные трехмерные информационные единицы объектов транспортной инфраструктуры.

Реальные ТИЕ имеют тематическую специфику и всегда относятся к определенной предметной области в то время как абстрактные ТИЕ специфики не имеют и применимы в любой области.

Совокупность абстрактных и реальных ТИЕ, цифровых моделей и текстур позволяет решать главную задачу трехмерного моделирования объектов транспортной инфраструктуры. Эта комплексная модель приведена на рис.8.

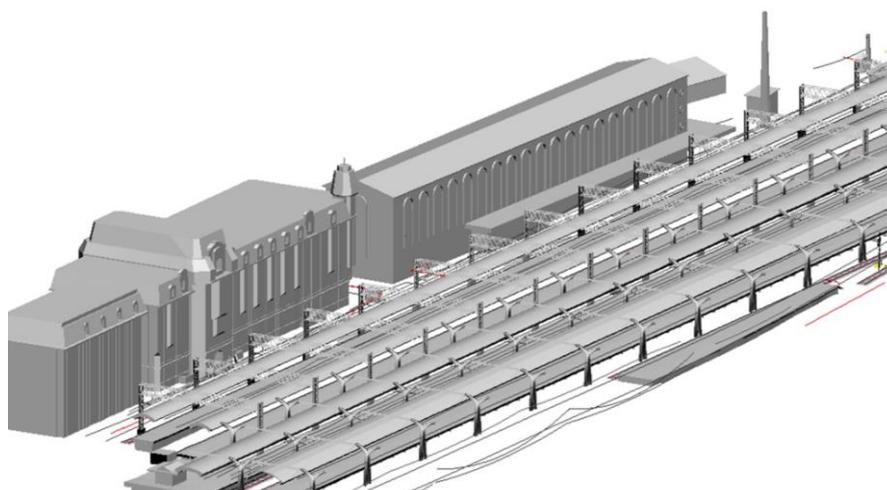


Рисунок 8. Трехмерная модель информационной ситуации станции Санкт-Петербург-Главный-Московский

Такая модель (рис.8) в визуальном представлении позволяет решать задачи принятия решений, которые формальными средствами выполнить нельзя. Трехмерное моделирование является неотъемлемой технологией современного управления транспортом.

Заключение

Построение трехмерной модели решает задачи моделирования трехмерных объектов и трехмерных ситуаций. Трехмерное моделирование объектов транспортной инфраструктуры отличается от других видов моделирования, но оно их дополняет и объединяет. Трехмерное моделирование является средствами количественного качественного анализа. Большинство других технологий моделирования используют количественный анализ. Особенностью трехмерного моделирования является необходимость использования предварительного кодирования. В тоже время качественный анализ снижает нагрузку на ЛПР. Трехмерное моделирование в технологиях МЛС является основным и без него результаты МЛС получить невозможно. Трехмерное моделирование помогает решать задачи поддержки управления цифровой железной дорогой и задачи интегрального управления железной дорогой.

Список литературы

1. Shah S. A. A., Bennamoun M., Boussaid F. Keypoints-based surface representation for 3D modeling and 3D object recognition //Pattern Recognition. – 2017. – Т. 64. – С.29-38.
2. Dedov D. L. et al. Design and development of adaptive simulators using 3D modeling //International Journal of Applied Engineering Research. – 2017. – Т. 12. – №. 20. – С.10415-10422.
3. Цветков В.Я. Модели в информационных технологиях. - М.: Макс Пресс, 2006 – 104с.
4. Цветков В.Я. Информационное моделирование при социологических исследованиях // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013.-№4. – С.87-90.
5. Андреева О.А. Пространственное моделирование объектов транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 2(14). – С.57-69.
6. Куприянов А. О. Цифровое моделирование при подземных геодезических работах // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. - №4 (12). – С.57-65.
7. Куприянов А.О. Цифровое моделирование при проектировании и мониторинге трасс // Наука и технологии железных дорог. – 2017. Т.1. – 1(1). – С.70-81.
8. Каган П. Б., Гудков П. К. Информационное моделирование зданий и традиционное проектирование с применением САПР //Вестник Белгородского государственного технологического университета им. ВГ Шухова. – 2017. – №. 9.
9. Андреева О. А., Цветков В.В. Цифровое моделирование с применением мобильного лазерного сканирования // Науки о Земле. – 2019. - №2. – С.4-12.
10. Андреева О.А., Цветков В.Я., Ознамец В.В. Геоинформационное массовое моделирование // Информация и космос. 2020. - №2. – С.106-112.
11. Андреева О.А. Геоинформационное проектирование объектов транспортной инфраструктуры// Науки о Земле. – 2020. - №1. – С.91-99.
12. Бучкин В.А., Потапов А.С. Геоинформационное ситуационное моделирование // Славянский форум. -2020. – 2(28). - С.210-228.
13. Савиных В.П. Пространственное ситуационное моделирование // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2018. № 1. С.92-104.
14. Раев В.К. Инфологические модели как инструмент исследования // Славянский форум. -

2020. – 3(29). - С.56-66.

15. Куприянов А. А. Инфолингвистическое моделирование информационного взаимодействия автоматизированных систем // Автоматизация процессов управления. – 2010. – №. 1. – С.69-77.

16. Tsvetkov V. Ya. Information Constructions // European Journal of Technology and Design. - 2014. № 3(5). - p.147-152.

17. Раев В.К. Процессуальные и дескриптивные информационные модели // Славянский форум. -2018. – 3(21). - С.28-32.

18. Цветков В.Я. Модель информационной ситуации // Перспективы науки и образования. - 2017. - №3(27). - С.13-19.

19. Palminteri S., Wyart V., Koechlin E. The importance of falsification in computational cognitive modeling // Trends in cognitive sciences. – 2017. – Т. 21. – №. 6. – С.425-433.

20. Дешко И.П. Информационное конструирование: Монография.–М.:МАКС Пресс,2016. – 64с.

21. Розенберг И.Н. Цветков В.Я. Координатные системы в геоинформатике–МГУПС,2009-67с.

22. Куц В. В. и др. Моделирование производящих поверхностей торцевых фрез с конструктивной осевой подачей для обработки валов с равноосным контуром // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2018. – Т. 22. – №. 4. – С.24-31.

23. Ядгаров Н. Д. Моделирование трехмерных геометрических фигур при помощи пакета 3DS MAX // Вестник науки и образования. – 2020. – №. 21-2 (99).

24. Савиных В.П. Геознание. - М.: МАКС Пресс, 2016. - 132с.

25. Цветков В.Я. Формирование пространственных знаний: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2015. – 68с.

26. Chen W., Li Y. GIS-based evaluation of landslide susceptibility using hybrid computational intelligence models // Catena. – 2020. – Т. 195. – С. 104777.

27. Максимова М.В. Преобразования координат при инженерно-геодезических изысканиях // Инженерные изыскания. - 2013. - № 2. - С. 18-21.

28. Цветков В.Я. Пространственная логика в образовании и науке // Образовательные ресурсы и технологии. – 2019. – № 2 (27). – С. 92-102.

29. Цветков В.Я. Пространственная логика в геоинформатике // Вектор ГеоНаук. 2020. Т. 3. № 2. С. 91-100.

30. Павлов А.И. Пространственная информационная ситуация // Славянский форум, 2016. - 4(14). – С.198-203.

31. Розенберг И.Н. Онтологический подход в геоинформатике // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. - №5 (17). – С.86-95.

32. Цветков В. Я. Пространственные онтологии // Славянский форум, 2016. -4(14). – С.275-281.

33. Tsvetkov V.Ya., Shaitura S.V., Minitaeva A.M., Feoktistova V.M., Kozhaev Yu.P., Belyu L.P. Metamodelling in the information field // Amazonia Investiga. 2020. Т. 9. № 25. С.395-402.

34. Aguilar J., Jerez M., Rodríguez T. CAMeOnto: Context awareness meta ontology modeling // Applied computing and informatics. – 2018. – Т. 14. – №. 2. – С. 202-213.

35. Tsvetkov V. Ya. Information Units as the Elements of Complex Models // Nanotechnology Research and Practice. - 2014, № 1(1), p.57-64.

36. Андреева О. А. Информационные единицы в моделировании транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. – 2020. – 1(13). – С.57-68.

УДК: 625.3

ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ТРАНСПОРТА

Булгаков С.В. к.т.н., доцент, Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), E-mail: bul@bk.ru, Москва, Россия

Аннотация. В статье исследуется геотехнический мониторинг транспорта обеспечения железной дороги, вводится новое понятие геотехнической системы. Показано, что железная дорога является геотехнической системой, рассматриваются два типа геотехнических систем: локальные и распределенные. Определение геометрических параметров является основной задачей геотехнического мониторинга. Описана модель геотехнического мониторинга, рассмотрены основные направления его реализации. Исследован космический геотехнический мониторинг. Показано, что технологической основой геотехнического мониторинга является геоинформационный мониторинг и геоинформационное моделирование. Описано значение геоданных в геотехническом мониторинге.

Ключевые слова: транспорт, железная дорога, мониторинг, геотехнический мониторинг, цифровое моделирование, транспортная инфраструктура.

GEOTECHNICAL MONITORING OF TRANSPORT

Bulgakov S. V. PhD, Assoc.Professor, Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK), E-mail: bul@bk.ru, Moscow, Russia

Annotation. The article examines the geotechnical monitoring of the railway supply transport, introduces a new concept of the geotechnical system. It is shown that the railway is a geotechnical system; two types of geotechnical systems are considered: local and distributed. Determination of geometric parameters is the main task of geotechnical monitoring. A model of geotechnical monitoring is described, the main directions of its implementation are considered. Space geotechnical monitoring is investigated. It is shown that the technological basis of geotechnical monitoring is geoinformation monitoring and geoinformation modeling. The importance of geodata in geotechnical monitoring is described.

Keywords: transport, railway, monitoring, geotechnical monitoring, digital modeling, transport infrastructure.

Введение.

Геотехнический мониторинг [1, 2] лингвистически и технологически связан с понятием «геотехническая система» (ГТС) [3-5]. В аспекте цифровизации многие понятия геотехнической системы не отвечают современным требованиям информационных методов обработки и преобразования информации. Поэтому необходимо ввести новое понятие геотехнической системы, которое не противоречит уже введенным, а дополняет их.

Первые определения геотехнической системы вводились географами и экологами, которые далеки от информатики и транспортной инфраструктуры. Определение, даваемое в БСЭ, имеет ярко выраженный географический характер. В настоящее время любое определение из словаря или энциклопедии воспринимается примитивными отечественными программами «проверки на плагиат» как заимствование, не взирая на ссылку. Поэтому не будем его повторять, чтобы

избежать обвинений в плагиате, а обсудим его ключевые признаки. В этом определении ГТС относят к «географическому классу систем». При этом приравнивают технические объекты и ландшафты. Следует согласиться с тем, что ГИС относят к открытым системам. И тут же связывают ГТС с экологическим мониторингом. С этим нельзя согласиться, так как кроме экологического мониторинга существуют другие, такие как геоэкологический, геоинформационный, космический, геотехнический и другие. В словаре по географии геотехническая система трактуется как «совокупность природных объектов и технических сооружений», «находящихся в тесном взаимодействии». Это определение не содержит системных признаков или признаков системы. В словаре «Экология человека» [6] ГТС определяется как «совокупность природных объектов и технических сооружений». В общем случае совокупность и система относятся к разным категориям. Совокупность часто противопоставляют системе как слабо структурированный и слабо систематизированный объект по сравнению с системой. Во многих определениях ГТС рассматривают как особый «географический класс» природно-технических систем.

В данной работе используем системный подход и будем рассматривать ГТС как сложную систему и в первую очередь как класс антропогенных систем. Определим геотехническую систему как сложную открытую природно-техническую системы, интегрирующую природные и технические компоненты в единое целое, способную к развитию и деградации, для развития которой имеют значение природные и антропогенные факторы. Отсюда геотехнический мониторинг будем рассматривать как метод системного исследования в первую очередь сложной системы и во вторую некой совокупности.

Содержание геотехнического мониторинга.

В узком смысле слова геотехнический мониторинг – это мониторинг геотехнических систем. Железная дорога - это геотехническая система [7], поэтому к ней применим геотехнический мониторинг. В широком смысле слова геотехнический мониторинг – это пространственный мониторинг, интегрирующий технологии и методы других видов мониторинга. В широком смысле геотехнический мониторинг – это разновидность геомониторинга [8-11]. На рис.1 представлена Общая схема геотехнического мониторинга безотносительно к предметной области. Объектом мониторинга является геотехническая система. Геотехнический мониторинг как технология включает четыре части: измерение (наблюдение и фиксация), обработка измерений, анализ, прогноз. Управление (первичная и вторичная), анализ (качественный и количественный), прогноз.

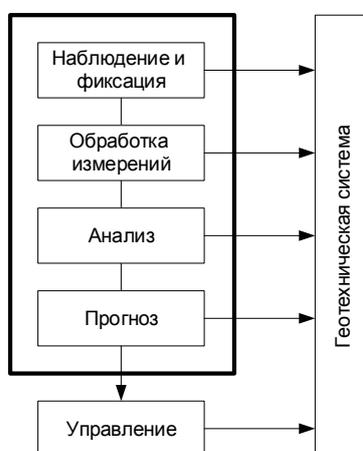


Рисунок 1. Общая схема геотехнического мониторинга

Результаты геотехнического мониторинга используют для управления или принятия решений. Геотехнический мониторинг решает задачи измерения и контроля геометрических параметров сооружений и взаимного положения их элементов.

Для геотехнического мониторинга как разновидности геомониторинга ключевой характеристикой является поле мониторинга, в котором находятся разные объекты мониторинга. В частных случаях выделяют часть поля мониторинга, которая наиболее существенно влияет на состояние определенного объекта мониторинга. Эту локальную часть поля называют информационной ситуацией [12, 13]. Информационная ситуация помогает концентрировать исследование и понять поведение объекта мониторинга [14].

При геотехническом мониторинге в качестве ключевых показателей выделяют методы мониторинга и технологии мониторинга. При геотехническом мониторинге часто используют модель процессов на объекте или объекта мониторинга. Модель объекта мониторинга часто имеет вид цифровой модели. При геотехническом мониторинге используют информационные технологии и геоинформационные технологии.

Технологической основой геотехнического мониторинга является геоинформационный мониторинг [14-17]. Геоинформатика [18] интегрирует разные технологии и данные и это свойство имеет геоинформационный мониторинг. При геотехническом мониторинге применяют разные геоинформационные и информационные модели: информационную модель объекта, модель ситуации; информационную модель явления, информационную модель процесса, информационную модель состояния, модель информационного взаимодействия; информационные единицы и так далее. Мониторинг на этой основе служит инструментом: наблюдений, контроля, прогнозирования и пространственного анализа, и он используется для управления объектами мониторинга.

Особенности геотехнического мониторинга транспорта.

Геотехнический мониторинг железных дорог решает множество задач, связанных со строительством и эксплуатацией [19] железных дорог. Развитие железных дорог мотивирует развитие методов и технологий геотехнического мониторинга. Геотехнический мониторинг железных дорог является комплексным и может реализовываться с применением разных технологий. На рис.2 дана схема комплексного [20] геотехнического мониторинга транспорта. На схеме выделены четыре основных технологии. Существуют и другие, например, технологии мобильного лазерного сканирования.

Особенностью комплексного геотехнического мониторинга транспорта является то, что интеграционной основой и технологической основой мониторинга является геоинформационный мониторинг. Это обусловлено рядом преимуществ геоинформационного мониторинга. Первое преимущество состоит в том, что геоинформационный мониторинг использует геоданные. Они систематизированы, по существу представляют собой не данные, а систему данных. Соответственно геоданные являются системным информационным ресурсом и инструментом управления транспортом. Кроме того, применение геоинформационного моделирования [21] в геотехническом мониторинге позволяет строить и использовать цифровые карты и цифровые модели [22]. Другим преимуществом геоинформационного мониторинга является то, что он еще построен на интеграции технологий. Он интегрирует технологии и их данные. Это позволяет обрабатывать данные, полученные разными методами и приборами в единой системе.

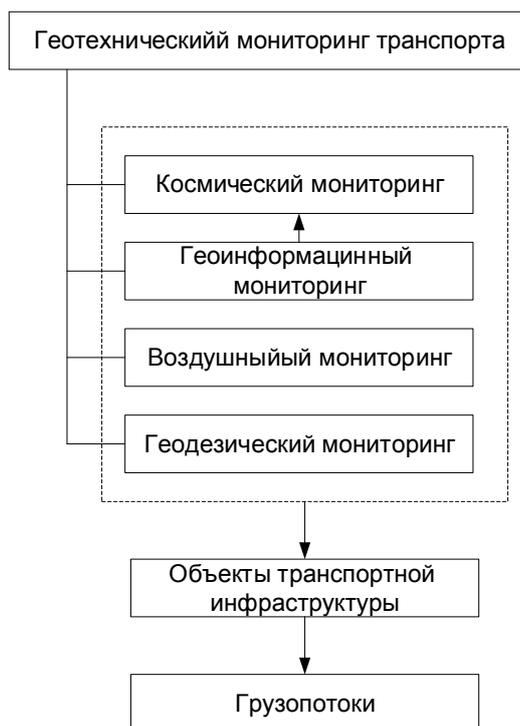


Рисунок 2. Схема комплексного геотехнического мониторинга транспорта

Геотехнический мониторинг железных дорог связан с измерением разных объектов транспортной инфраструктуры. На рисунке 3 приведен пример поля геотехнического мониторинга для объектов транспортной инфраструктуры и показаны информационные ситуации как часть поля мониторинга.

На рис.3 показаны две информационные ситуации. Ситуация А связана с геотехническим мониторингом аэропорта. Ситуация Б связана с геотехническим мониторингом общественного транспорта. Принципиальное различие в том, что в первом случае мониторинг осуществляется за стационарным объектом, который локализован в пространстве. Во втором случае мониторинг осуществляется за распределенной системой объектов, которые перемещаются в пространстве. Это дает основание разделять геотехнический мониторинг на локализованный и распределенный.

Общественный транспорт является геотехнической системой. Но под многие определения экологов и географов он не попадает, поскольку не имеет четких границ и является в первую очередь антропогенной, а не природной системой. Но геотехнический мониторинг к такой системе применим.

Широта задач геотехнического мониторинга [23] обуславливает различные требования к точности и диапазону измерений объектов железнодорожного транспорта. В одних случаях необходимо точное измерение габаритов и придорожных строений. В других достаточно индикации: находится поезд на блок участке или отсутствует? Прошел поезд участок или не прошел?

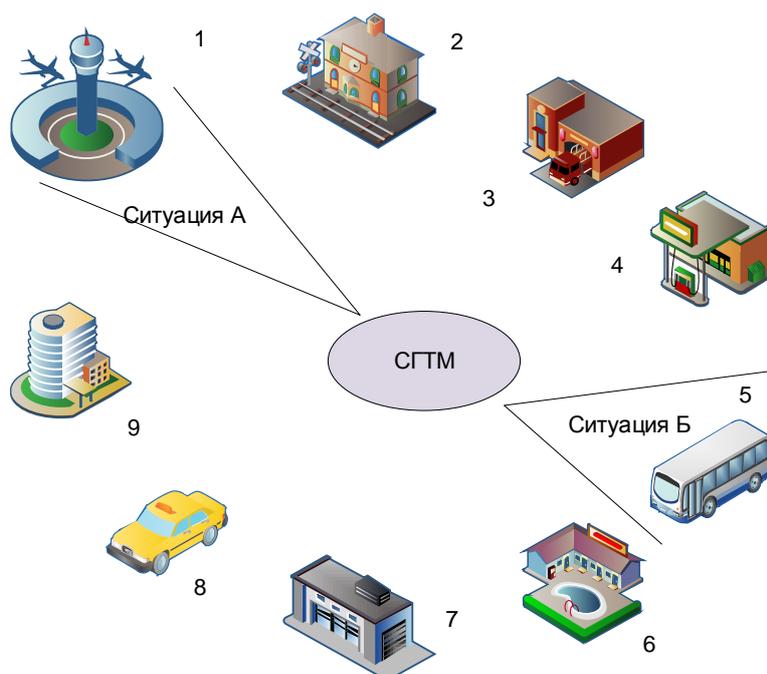


Рисунок 3. Поле геотехнического мониторинга для объектов транспортной инфраструктуры. Цифрами выделены отдельные объекты, связанные с разными информационными ситуациями мониторинга: 1- аэропорт; 2- вокзал; 3- пожарное депо; 4-автозаправочная станция; общественный транспорт; 6- мотель; 7 – склад; 8 – легковой транспорт; 9 – инженерные сооружения.

Необходимо разделять понятия точность мониторинга и погрешность измерений приборов [24]. Точность мониторинга - это итоговая статистически величина, характеризующая результат обработки и локации объекта мониторинга. Погрешность информационно-измерительного прибора – физическая величина, которая характеризует прибор или метод.

Космический геотехнический мониторинг

Космические методы широко применяют на транспорте [25, 26]. Поэтому их и применяют для геотехнического мониторинга. На рис.4 приведена укрупненная схема космического геотехнического мониторинга. Вся информация накапливается в «облаке» [27], которое доступно для объекта и диспетчерских служб. Облачные технологии накопления информации и обработки информации широко применяют в разных прикладных областях включая транспорт. Широко применяют космический геотехнический для контроля транспортной инфраструктуры. Этот метод важен в больших городах и мегаполисах [28].

Космический геотехнический мониторинг, в отличие от наземных видов мониторинга, требует поддержки разными технологиями и системами. Это дает возможность дифференцировать космический геотехнический мониторинг: мониторинг с наземной поддержкой; космический геотехнический мониторинг с воздушной поддержкой (включая БПЛА); комплексны; космический геотехнический мониторинг без поддержки

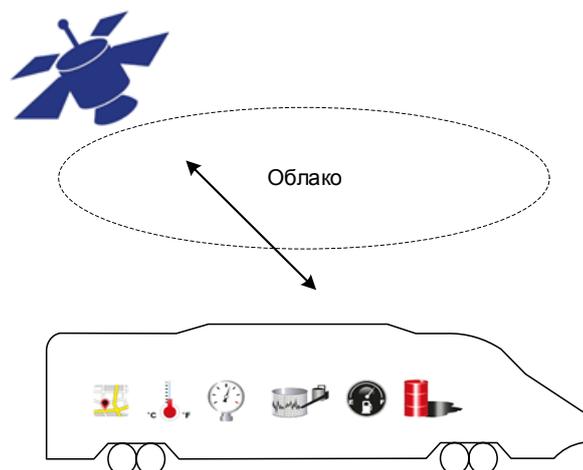


Рисунок 4. Схема космического геотехнического мониторинга

Контроль расхода топлива – одна из типичных функций космического геотехнического мониторинга транспорта. Примером может служить система «АвтоТрекер» [29], использующая технологию GPS. Датчик расхода топлива (рис.4) устанавливается на борт транспортного средства (дизельный тепловоз или железнодорожная цистерна). На объекте он собирает информацию об объеме жидкости в баке и передает её в бортовой информационно-вычислительный узел. Бортовой информационно-вычислительный узел передает информацию на спутник и тот формирует ее в облаке, делает доступным для анализа соответствующим службам. Датчик в системе «АвтоТрекер» является беспроводным, это позволяет размещать его в топливных баках любых размеров. Он определяет место, время события, дату слива топлива. Эти данные поступают либо в облако, либо в наземную мобильную службу.

Применение космического геотехнического мониторинга позволяет строить цифровые модели объектов транспортной инфраструктуры [30]. Модель транспортной инфраструктуры может быть представлена в виде карты. Трехмерной карты или в виде трехмерной цифровой модели. Это подчеркивает важность визуального моделирования, которое в геотехническом мониторинге, включая космический, пока развивается слабо.

Цифровая модель, получаемая при геотехническом мониторинге, является трехмерной, поэтому она предпочтительнее карт с точки зрения точности. Однако карты обладают важным свойством масштабной сопоставимости, которым не обладают цифровые модели. Космический геотехнический мониторинг обладает свойством глобальности. Он позволяет контролировать транспортное средство по всей поверхности земного шара. Космический геотехнический мониторинг является мощным средством контроля интермодальных перевозок. В этом он имеет преимущество перед наземными локальными видами геотехнического мониторинга объектов транспорта. Космический геотехнический мониторинг решает много задач: контроль состояния дорожной трассы, перевозка топлива, контроль эксплуатации вагонного парка, перевозка особо важных или опасных грузов

Заключение.

Геотехнические объекты и системы на железных дорогах подвержены воздействию динамических нагрузок, что влияет на геометрические параметры верхнего строения пути. Поэтому геотехнический мониторинг является необходимым условием функционирования

железных дорог. Для современного геотехнического мониторинга характерно увеличение объемов данных, применяемых при обработке и анализе [31]. Это мотивирует использовать программное обеспечение, которое применяют при обработке «больших данных».

Анализ показывает, что современные тенденции развития геотехнического мониторинга содержат несколько направлений. Самым важным является направление цифровых [32] методов анализа и обработки. Другое направление связано с применением интегрированных информационно-измерительных средств. Третье направление связано с визуальным моделированием. Четвертое направление связано с применением методов дополненной и смешанной реальности. Пятое направление связано с применением мобильного лазерного сканирования и воздушного лазерного сканирования на объектах ЖТ [33].

Таким образом, современный геотехнический мониторинг железных дорог находится в части интенсивного развития как в части технологического обеспечения, так и в области программного обеспечения.

Список литературы

1. Верещагин А. Ю., Николенко С. Д., Сазонова С. А. Программа геотехнического мониторинга объектов, входящих в зону влияния строительства // Моделирование систем и процессов. – 2019. – Т. 12. – №. 4. – С.4-9.
2. Цветков В.Я. Геоинформационный геотехнический мониторинг // Науки о Земле. - 2012.- №4. С.054-058.
3. Kaplunov D., Rylnikova M., Radchenko D. The new wave of technological innovations for sustainable development of geotechnical systems // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2018. – Т. 56. – С. 04002.
4. Gudehus G., Touplikiotis A. On the stability of geotechnical systems and its fractal progressive loss // Acta Geotechnica. – 2018. – Т. 13. – №. 2. – С.317-328.
5. Цветков В.Я. Изучение геотехнических систем методами геоинформатики // Науки о Земле. - 2012. №3 - С.017-019.
6. Экология человека. Словарь-справочник. Под общей редакцией академика РАНН Н.А. Агаджаняна. - М.: "КРУК", 1997. - 208с.
7. Цветков В.Я., Кужелев П.Д. Железная дорога как геотехническая система // Успехи современного естествознания. –2009. – №4. – С.52.
8. Маркелов В.М., Цветков В. Я. Геомониторинг// Славянский форум, 2015. - 2(8) - С.177-184.
9. Елсуков П. Ю. Развитие геомониторинга// Славянский форум. -2020. – 4(30). -С.55-65.
10. Mel'nikov N. N. et al. Integrated Multi-Level Geomonitoring of Natural-and-Technical Objects in the Mining Industry // Journal of Mining Science. – 2018. – Т. 54. – №. 4. – С.535-540.
11. Knoll I. A., Sharapov A. A., Solovieva T. A. Methods of geomonitoring of technogenic objects to determine fast-flowing deformation processes using robotics // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2020. – Т. 1661. – №. 1. – С.012115.
12. Бучкин В.А. Геоинформационное ситуационное моделирование железнодорожного пути // Науки о Земле. – 2018. - №4. – С.43-52.
13. Цветков В.Я. Модель информационной ситуации // Перспективы науки и образования. - 2017. - №3(27). - С.13-19.

14. Охотников А. Л. Геоинформационный мониторинг транспортных объектов // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 3(3). – С.35-47.
15. Кужелев П.Д. Геоинформационный мониторинг на железнодорожном транспорте // Науки о Земле. – 2014. - № 3. - С.83-90.
16. Цветков В.Я. Геоинформационный мониторинг //Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2005.- №5. - С.151 -155.
17. Затыгалова В. В. Геоинформационный подход при мониторинге загрязнения моря по данным дистанционного зондирования Земли из космоса // Науки о Земле. - 2012.- 2- С.80-85.
18. Савиных В. П., Цветков В. Я. Геоинформатика как система наук // Геодезия и картография. – 2013. - №4. - С.52-57.
19. Справочник по железнодорожному строительству / под ред. Б. А. Лёвина. – М.: Трансжелдориздат, 1958. – 736с.
20. Лёвин Б.А. Комплексный мониторинг транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. – 2017. Т.1.– 1(1). – С.14-21.
21. Булгаков С.В. Геоинформационное моделирование и информационное взаимодействие // Конструкторское бюро. -2018.- 2(133)- С.47-53.
22. Цветков В.Я. Цифровые карты и цифровые модели // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2000. - №2. - С.147-155.
23. Дышленко С.Г. Пространственные задачи определения координат объектов железнодорожного транспорта // Наука и технологии железных дорог. - 2017. -2(2). – С.31-38.
24. Самратов У. Д., Сакович Л. А., Кривдин Д. Г. О точности определения геометрических параметров железнодорожного пути с помощью АПК // Геопрофи. – 2007. – №. 6. – С.28-32.
25. Цветков В.Я. Анализ применения космического мониторинга // Перспективы науки и образования. - 2015. - №3. - С.48-55.
26. Бондур В.Г., Лёвин Б.А., Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Космический мониторинг транспортных объектов. Учебное пособие. - М.: МГУПС (МИИТ), 2015. – 72с.
27. Varghese B., Buyya R. Next generation cloud computing: New trends and research directions //Future Generation Computer Systems. – 2018. – Т. 79. – С.849-861.
28. Козлов А.В. Многоцелевое управление транспортом мегаполиса// Наука и технологии железных дорог. – 2018. Т.2. – 4(8). – С.40-47.
29. Сатовский Б. Система " Автотрекер": возможности и эффективность // Логистика. – 2008. – №. 4. – С.24-25.
30. Господинов С.Г. Цифровое пространственное моделирование // Науки о Земле. – 2019. - №3. – С.4-15.
31. Данилов К.В., Капустин Н.И. Технологии Big Data в железнодорожной отрасли инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 4(4). – С.25-33.
32. Куприянов А.О. Цифровое моделирование при проектировании и мониторинге трасс // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 1(1). – С.70-81.
33. Андреева О. А. Применение мобильного лазерного сканирования для мониторинга объектов транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 3(11). – С.61-74.

УДК: 001.895; 629.066; 656.029; 656.3

ГРАФИК ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ В СОСТАВЕ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БУДУЩЕГО

- Озеров А.В.** Начальник Международного управления, АО «НИИАС», E-mail: A.Ozerov@vniias.ru, Москва, Россия
- Лысиков М.Г.** Начальник Управления разработки организации движения и общих проектных решений, АО «НИИАС», E-mail: M.Lysikov@vniias.ru, Москва, Россия
- Ольшанский А.М.** К.т.н., начальник отдела, АО «НИИАС», E-mail: A.Olshansky@vniias.ru, Москва, Россия
- Аннотация.** Описаны возможности разработки и построения графика движения поездов на основе применения комплексного подхода и методов Data Science, включая Big Data, на всех этапах жизненного цикла графика. Вводится понятие жизненный цикл графика, осуществляется первичная экстраполяция методов Big Data на этапах жизненного цикла графика. Формулируются основные направления развития исследований и стадии перехода к построению графика движения на основе Big Data.
- Ключевые слова:** Транспорт, график движения поездов, методы Data Science, Big Data, методы машинного обучения.

TIMETABLE AS PART OF NEXT-GENERATION ADAPTIVE MANAGEMENT SYSTEM

- Ozerov A.V.** Head of International Department, JSC NIIAS, E-mail: A.Ozerov@vniias.ru, Moscow, Russia
- Lysikov M.G.** Head of Train Management Development Department and General Engineering Solutions, JSC NIIAS, E-mail: M.Lysikov@vniias.ru, Moscow, Russia
- Olshansky A.M.** PhD, Head of Advanced Developments Division, JSC NIIAS, E-mail: A.Olshansky@vniias.ru, Moscow, Russia
- Abstract.** This paper addresses the possibilities of application of an integrated approach to the timetable development and construction based on Data Science methods, including Big Data, at all timetable lifecycle stages. The paper introduces the term of a “timetable lifecycle” and describes timetable factors with a primary extrapolation of Big Data methods to the timetable lifecycle stages. The paper outlines key trends of scientific research and stages of transition to the Big Data based timetable management.
- Keywords:** Transport, train timetable, Data Science, Big Data, machine learning methods.

Введение

График Движения Поездов (ГДП) – это и инструмент, и индикатор работы железнодорожного транспорта, и его разработка - это сложная интеллектуальная задача, которая никогда не утрачивает своей актуальности. С одной стороны, ГДП позволяет эффективно планировать работу железных дорог, начиная с перевозки пассажиров и доставки грузов по маршрутам, и заканчивая планированием ремонта железнодорожной инфраструктуры. С другой стороны, точность соблюдения графика движения является показателем

эффективности работы железных дорог. При этом на построение ГДП влияют разнонаправленные требования – например, максимальная эффективность с точки зрения объема перевозок пассажиров и грузов, и в то же время максимальная точность и устойчивость движения поездов.

Координируя работу всех подразделений железнодорожного транспорта, график движения позволяет осуществлять своевременную перевозку грузов и пассажиров при одновременном выполнении требований безопасности движения, наилучшего использования подвижного состава, обеспечения ритмичности работы станций, участков при наилучшем использовании их пропускной и перерабатывающей способности. На основе графика определяются показатели использования подвижного состава, согласовывается деятельность дорог с грузоотправителями и получателями, а также с другими видами транспорта.

Исторически ГДП формировался вручную, да и в наше время автоматизация построения ГДП не является повсеместным явлением в мире. При этом необходимо, прояснить, в чем должна и может состоять автоматизация ГДП, поскольку ГДП складывается из нескольких аспектов. И это особенно актуально, когда рассматриваются возможности использования при построении ГДП методов и алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ).

ГДП, которым оперирует любая железная дорога, практически никогда не создается с нуля, так как уже существует некий исторически сложившийся график движения поездов. В основе этого графика лежат параметры, определенные на основе нормативно-справочной информации (НСИ) об инфраструктуре и подвижном составе, потребных объемах перевозимых пассажиров и грузов. Разумеется, помимо используемых методов расчетов графика, большое значение тут имеет полнота, достоверность и актуальность НСИ и иной исходной информации. Данный график является бумажным, каждый раз актуализируется под задачи текущего дня, и, как правило, для него рассматривают задачу автоматизации ГДП.

В действительности, это только первая и самая простая задача, и существует целый ряд других аспектов, в которых может рассматриваться возможность для автоматизации, включая выявление конфликтов и последующую корректировку ГДП с использованием средств имитационного и иного моделирования. При последовательной формализации всех аспектов ГДП с последующей их автоматизацией можно в целом говорить о переходе к управлению графиком движения поездов, который в расширительном толковании представляется как цифровая динамическая система.

Построение графика движения поездов считается сложной задачей, в первую очередь, из-за его комплексности, связанной с размерами железнодорожной сети и взаимозависимостью движения поездов. Организация управления ГДП отличается в разных странах. В некоторых случаях железнодорожный оператор и диспетчер принадлежат к одной и той же компании, в то время как в некоторых европейских странах железнодорожный рынок частично или полностью регулируется отдельными органами, отвечающими за инфраструктуру и управление движением, а приватизированные или конкурирующие операторы эксплуатируют железнодорожную сеть, конкурируя за нитки графиков.

Очевидно, что построение ГДП включает не один этап разработки и представляет собой набор многофакторных и многокритериальных задач. В условиях глобальной цифровизации и перехода к новым парадигмам управления с использованием средств автоматизации и ИИ фактически следует говорить о необходимости разработки комплексного управления ГДП на всех этапах его Жизненного Цикла (далее - ЖЦ).

В данной статье описываются некоторые результаты исследования, проведенного в 2020 году силами специалистов АО «НИИАС» по заказу Международного союза железных дорог в рамках проекта «Big Data based Timetable Management (BDTM)» («Управление графиком движения поездов на основе методов Big Data») [1]. Отчет на английском языке опубликован на сайте МСЖД, а результаты проекта были представлены в рамках международных мероприятий МСЖД, включая Цифровую конференцию МСЖД, состоявшуюся 11 декабря 2020 года [2]. В работе впервые в литературе введено понятие «жизненный цикл ГДП», описаны и классифицированы факторы ГДП, проведен анализ практики работы с ГДП, сделан обзор наиболее распространенных методов работы с Big Data и сформирована предварительная информационная модель ГДП (на основе Mind Map), составленная с точки зрения перехода к гибкому формированию исходной информации. Предложены некоторые методы и примеры написания конкретных функций, позволяющих рассчитать в дальнейшем актуальные значения параметров ГДП.

Понятие График движение поездов

Как показывает анализ англоязычной литературы, не существует стандартизированной терминологии в данной области. Более того, в принципе понятие ГДП является аксиоматическим и нигде специально не оговаривается ни как сущность, ни как распорядительный документ, ни как комплекс взаимоувязанных элементов, при этом все исследования и работы сосредоточены на инструментах и алгоритмах создания и корректировки ГДП.

Так, к примеру, [3] предлагают формализацию расписания движения поездов в виде ориентированного графа, узлы которого – события отправления и прибытия всех поездов. Такая структура с точки зрения эксплуатации железных дорог выглядит несколько необычно, однако она способствует построению эффективных систем хранения и обработки данных с помощью иерархий и может быть положена в основу построения информационных моделей. В Великобритании расписание – это часть среднесрочного процесса планирования, создание осуществимого графика для каждого поезда с учетом доступности инфраструктуры, с учетом путей, узлов, платформ, систем сигнализации [4]. Такая трактовка ближе к традиционному пониманию ГДП, принятому в мире, в том числе в России. В [5] также описывается множество подходов, при этом само расписание дается как базовое понятие, аналогичное точке в геометрии, т.е. без определения.

В англоязычной литературе можно встретить разнородные термины, связанные с понятием «график движения поездов», но относящиеся к разным семантическим категориям, которые в целом можно разделить на те, которые подразумевают нечто статичное типа регулирующего печатного расписания, т.е. документа (например, «published, established, original timetable») или в русском обиходе – нормативный ГДП) или результат (например, «train graphs» или в русском обиходе – ГИД), и те, которые означают нечто динамическое, т.е. процесс (например, «timetable adjustment or correction, rescheduling») или «корректировка или перерасчет графика»). Зачастую понятия “timetable” и “schedule” используются взаимозаменяемо, что еще больше добавляет путаницы.

В связи с этим целесообразна стандартизация понятия и определения ГДП как некоей сущности, без чего довольно сложно будет осуществить переход к адаптивному управлению на железнодорожном транспорте.

Концепция Жизненного цикла ГДП с экстраполяцией методов Data Science

Цель настоящей статьи – сформулировать основные этапы перехода к новым принципам разработки и реализации расписаний на железнодорожном транспорте и выявить основные проблемные зоны, а также обозначить возможные шаги по их устранению.

Насколько нам известно, в литературе нет упоминаний и тем более формализации понятия жизненного цикла (ЖЦ) применительно к ГДП. Полагаем, что такое понятие целесообразно ввести в обиход в связи со сказанным выше.

В результате проведенного исследования отечественных и зарубежных источников, анализа практики эксплуатационной работы и применения системного подхода авторами было сформулировано следующее определение графика движения поездов: график движения поездов – совокупность расписаний поездов по заданному полигону, изменение которого происходит в соответствии с жизненным циклом.

ГДП рассматривается как результат выполнения своего жизненного цикла (рис.1).

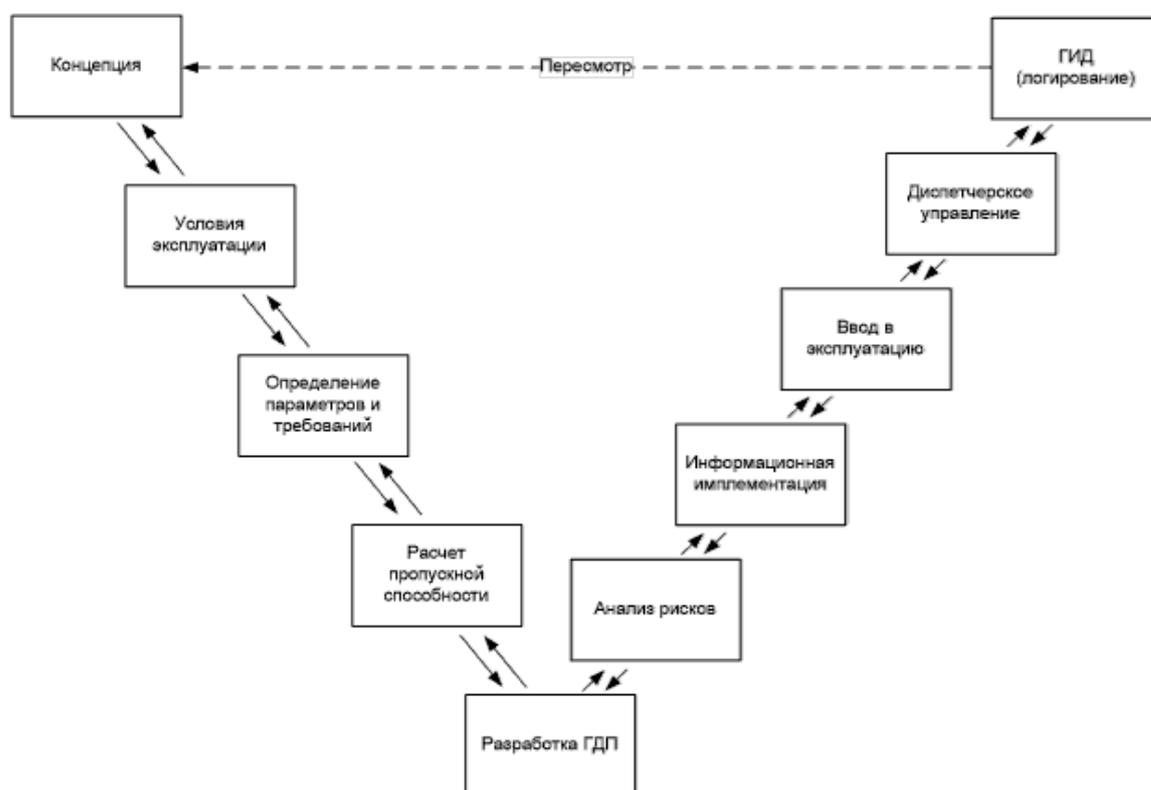


Рисунок 1. Схема нормального жизненного цикла ГДП

На первом этапе построения графика движения поездов разрабатывается концепция. Она определяет основные принципы организации движения поездов и эксплуатационной работы на участке в зависимости от уровня технических решений на сети железных дорог, экономической ситуации, целевых задач развития экономики и т.п. Примером концептуальных решений могут являться переход от паровой тяги к тепловозной в 1956 году в СССР, всеобщая электрификация, начало развития сети высокоскоростных поездов во Франции в 1981 году, тактовое движение поездов и т.п.

После разработки концепции определяются условия эксплуатации, которые устанавливают основные положения и порядок работы железных дорог, роли работников железнодорожного транспорта, основные размеры, нормы содержания важнейших сооружений, устройств и

подвижного состава, а также требования, предъявляемые к ним, систему организации движения поездов, принципы и виды сигнализации. На этапах разработки концепции и выработки условий эксплуатации применение алгоритмов и приемов машинного обучения не происходит, очерчиваются лишь генеральные решения.

На следующем этапе происходит определение параметров и требований. Он включает предварительную работу по подготовке исходных данных, необходимых для разработки ГДП

Далее происходит расчет (оценка) наличной пропускной способности, который по существу является технической паспортизацией железнодорожных направлений. После сбора всех необходимых данных начинается разработка ГДП, которая базируется на использовании определенных нормативов – элементов графика. К ним относятся: времена хода по перегонам поездов всех категорий, времена на разгон и замедление, станционные и межпоездные интервалы, нормы на выполнение технических операций, продолжительность технологических стоянок.

При этом требуется учесть ранее разработанные решения, найти элементы, отклоняющиеся от традиционно принятых методических рекомендаций по построению ГДП, ввести ряд меняющихся индексов (например, приоритет поезда), оптимизировать уровень заполнения пропускной способности (максимизировать конверсию ГДП), уточнить параметры ниток графика по мере приближения конкретного графика к текущему отсчету времени. Для этих целей можно и целесообразно применять методы и алгоритмы Big Data.

Технология Big Data является одной из наиболее передовых и получающих все большее распространение методик анализа данных. Кардинальное изменение состоит в скорости обработки данных и возможности обмена большим объемом данных, однако основное отличие от других технологий состоит в принципе работы. Фактически, в то время как традиционные способы обработки и анализа данных основывались на описательных статистических данных, технология Big Data использует индуктивную статистику. Отличие существенно, так как с помощью описательных статистических данных анализируются только выборочные данные, тогда как с помощью индуктивной статистики используется общая совокупность данных для того, чтобы вывести нужные выборочные данные.

Big Data имеет огромный потенциал относительно извлечения информации из различных наборов данных, которые могут быть несовместимыми и неструктурированными, однако данная технология не может спрогнозировать возникновение будущих событий без связанных с ними данных.

В транспортной отрасли Big Data используется для обеспечения и совершенствования качества предоставляемых услуг и технического обслуживания транспорта, на общественном легкорельсовом транспорте в большей степени для управления качеством обслуживания, а в железнодорожной отрасли – в основном в области прогнозирования отказов.

Так, к примеру, железные дороги Германии (DB) активно используют диагностическую платформу DIANA компании infraView для диагностики и анализа компонентов инфраструктуры железных дорог Германии. Это – платформа IoT («Интернета вещей»), использующая методы и алгоритмы Data Science (Big Data) и предиктивной аналитики. Подробные платформы разрабатываются и внедряются на железных дорогах во всех развитых европейских странах.

Итальянский оператор пассажирских поездов Trenitalia использует динамическую систему управления техническим обслуживанием (DMMS) на платформе SAP. Сотни датчиков,

установленных на подвижном составе, собирают данные в режиме реального времени (от тормозных систем до систем управления дверьми) и каждые десять минут загружают их в облако SAP, а затем обрабатываются с использованием методов машинного обучения и интеллектуальной аналитики SAP HANA на основе прогностических моделей [6].

Швейцарская система Rail Control System (RCS) выполняет целый ряд функций оперативного управления движением поездов с помощью современных математических методов и алгоритмов, включая автоматическую корректировку и перестроение ГДП. В последние годы система RCS широко внедряется как на сети железных дорог Швейцарии (SBB), так и других европейских стран, и оказывает серьезную конкуренцию таким широко известным интеллектуальным системам управления, как ICONIS (Integrated Control and Information System) французской компании Alstom, ARAMIS французской компании Thales, DaVinci испанской компании Indra. Как показывает анализ программ инновационного развития ЕС, следующим этапом эволюции данных систем, очевидно, станет, наряду с переходом к беспилотному вождению поездов, предиктивная формализация оперативного режима движения поездов, то есть переход к полноценному предиктивному управлению оперативной эксплуатационной работой.

Использование принципов BDTM в составлении расписаний неизменно должно привести и к изменению работы внутренних блоков любой железнодорожной компании, а именно:

1. Адаптивная работа с расписанием меняет степень использования инфраструктуры. Применительно к практике управления железнодорожными компаниями, помимо конверсии расписаний, возможен гибридный синтез инфраструктурных имитационных моделей с BDTM-подходами. Это приводит к переходу на новую платформу планирования и управления инфраструктурными мощностями (путями станций и перегонов, локомотивным парком, ремонтными и обслуживающими мощностями, энергетикой на транспорте и т.п.);

2. Добавление блока анализа транспортной и технической безопасности (а именно, предотвращение угроз и отказов, выявляемых и предсказываемых с помощью методов Data Science) позволяет повысить устойчивость железнодорожной инфраструктуры;

3. Использование данных мониторинга персонала, гибкое планирование работы станций и узлов приведет к сокращению непроизводительных потерь, росту производительности труда. В итоге, это может стать важным звеном при переходе к комплексной производственно-экономической модели транспортной системы, которая может быть полезна как для логистов и программистов, так и для лиц, принимающих решения в области финансов и экономики на объектах железнодорожного транспорта различного иерархического уровня.

В связи с вышесказанным, применение технологии Big Data и методов Data Science применительно к транспортной сфере и регионам позволит повысить спрос на внутренние перемещения, привлечь новых и удержать вновь поступивших клиентов, сформировать мультипликативный эффект в региональной экономике за счет оптимизации логистических цепочек, повысить эффективность капиталовложений в развитие инфраструктурных мощностей за счет повышения адресности инвестиционных программ.

Исследования показали, что в качестве инструментов при разработке расписаний могут быть применены следующие методы и подходы (рис. 2):

1. Искусственные нейронные сети (конкретный вид сети и особенности алгоритма обучения будут рассматриваться для конкретных задач прогнозирования и управления в дальнейших исследованиях);

2. Эволюционные методы;
3. Корреляционный, регрессионный, дисперсионный анализ;
4. Дерево решений.

Для классификации входящей информации и эксплуатационных событий могут использоваться как вспомогательные:

1. Логистическая регрессия;
2. Метод опорных векторов;
3. Методы кластеризации (различными алгоритмами);
4. Байесовские регрессии.



Рисунок 2. Методы Data Science для разработки ГДП

С учетом факторов, которые действуют на различные аспекты ГДП, разрабатывается информационная модель, которая представляет собой набор связанных таблиц с различным уровнем абстракции, а также формализованное описание основных функций. Разработанный прототип информационной модели требует в дальнейшем конкретизации протоколов и форматов обмена данными между различными приложениями и участниками процесса.

В настоящее время известен формат данных RailML, представляющий собой развитие XML-формата для железнодорожного транспорта, а также разработанной Международным союзом железных дорог модели данных RailTopoModel (RTM) [7]. RTM – системная модель для описания топологических данных железной дорожной инфраструктуры, разработанная для текущих и будущих приложений и потребностей различных информационных систем на

транспорте.

Поскольку RTM охватывает жизненный цикл инфраструктуры и некоторых эксплуатационных вопросов и написана на языке UML, который отличается универсальностью, то можно предположить, что описание разработанного жизненного цикла ГДП может быть интегрировано в описание модели работы железных дорог на языках RailML/UML. При необходимости для ГДП может быть создан отдельный класс данных на основе принципов и с использованием базовых понятий RTM.

Помимо вопроса формата передачи данных, применение методов Big Data и разработанная информационная модель в последующем потребуют выбора программной имплементации алгоритмов. Существует два пути такой имплементации:

1. Написание отдельного приложения (прикладного ПО) с функциями анализа данных;
2. Использование одного из существующих фреймворков.

Первый вариант имеет преимущества, так как можно прописать все нюансы формализации ГДП и его элементов, варианты использования методов, но оптимизация кода в этом случае будет одной из проблем. Это преимущество является достаточно весомым. По времени такая разработка также будет затратной, кроме того, написание такого ПО в разных странах и разными командами приведет к определенным различиям в версииности, интерфейсе, приведет к шероховатостям в синхронизации.

Этих недостатков почти лишены актуальные фреймворки, которые в настоящее время представлены на рынке и активно используются в интернет-пространстве. Например, это могут быть Apache Cassandra или HBase, которые очень похожи в своих преимуществах для работы с Big Data. Они отказоустойчивы, масштабируемы, имеют гибкую модель данных и высокую скорость обработки информации. Но, несмотря на общие свойства и области прикладного использования, иногда необходимо выбирать между этими двумя системами. Для этого важно учитывать контекст их применения и специфические характеристики каждой СУБД.

HBase работает поверх Apache Hadoop, храня данные в HDFS и используя службу Zookeeper для координации работ между сервисами, управления их конфигурациями и синхронизацией. Поэтому при наличии существующей Hadoop-инфраструктуры целесообразно сделать выбор в пользу Apache HBase. Однако, с учетом специфики распределения данных по узлам кластера для работы HBase необходимо иметь достаточное количество региональных серверов.

Благодаря своим архитектурным особенностям (блочный кэш HDFS, Bloom-фильтры и собственная система индексов), эта NoSQL-СУБД считается более подходящей для произвольного доступа к данным в виде множества согласованных операций чтения. Кроме того, она позволяет работать с большими данными как в поточном, так и в пакетном режиме, в т. ч. используя преимущества вычислительной модели MapReduce.

Описанные приемы и компоненты в рамках той или иной выбранной IT-инфраструктуры требуют разработки сбалансированной системы метрик, характеризующей интенсивность использования того или иного компонента, понимая, что ряд процессов по разработке и использованию ГДП будет происходить в реальном времени, а для некоторых событий будут наблюдаться запаздывания.

Именно поэтому следует рекомендовать доработку стандартных решений на основе правильного отображения сущностей рассматриваемой предметной области.

Существует еще целый ряд инструментов, который требует рассмотрения, оценки и сопоставительного анализа при выборе платформы для имплементации алгоритмов Big Data

для работы с ГДП. Это большая и достаточно сложная тема, требующая своего рассмотрения и обсуждения в рамках экспертной группы разработчиков, которых необходимо привлекать к формированию требований для разработки международного железнодорожного решения. И тут крайне важны вопросы независимости от информационной инфраструктуры и обеспечение интероперабельности платформенных решений с поддержанием единых интерфейсов и форматов передачи данных. Кроме того, должны быть предусмотрены механизмы верификации результатов работы алгоритмов Big Data и обеспечения защиты хранящихся и передаваемых данных при использовании облачных платформ. На рис. 3 приведена общая схема инструментов Big Data на основе инфраструктуры Hadoop.

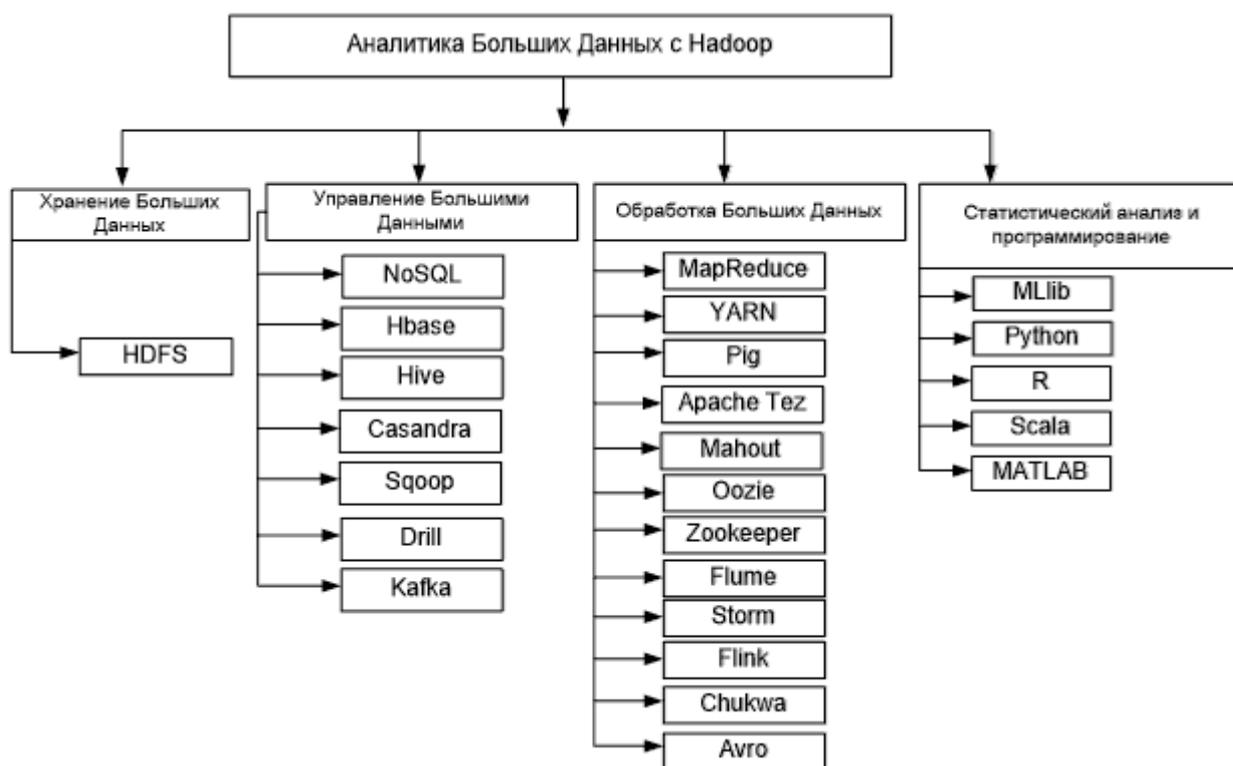


Рисунок 3. Общая схема работы с данными с использованием экосистемы Hadoop

Разработанный ГДП должен обеспечивать выполнение плана перевозок пассажиров и грузов, безопасность движения поездов, наиболее эффективное использование пропускной и провозной способности станций, возможность производства работ по текущему содержанию пути. Именно поэтому после разработки ГДП производится анализ всех рисков, включая все виды конфликтов. На этапе анализа методы машинного обучения, в частности, классификация графиков, ситуаций, показателей, также будут применяться.

Кроме того, при анализе рисков и нейросетевых решений в области ГДП следует предусмотреть вариант проверки полученных решений на условия соблюдения безопасности движения, возможно, с использованием техники верификации программного кода [8]. Идея такой проверки заключается в том, чтобы определить, к какому из неблагоприятных событий может привести следование по тому или иному решению с помощью темпоральной логики и теории графов и при программировании устройств и систем жестко отсеять данные сценарии, несмотря на их возможную субоптимальность с точки зрения машинного обучения.

На следующем этапе происходит информационная имплементация, которая включает выгрузку разработанного ГДП в автоматизированные системы, доведение до конечных пользователей в рамках заданных АСУ, а также собственно процесс настройки и подготовки информационных систем, проектирование и обустройство аппаратно-программной инфраструктуры для работы с графиком, для анализа его выполнения и т.п.

После этого актуальный ГДП появляется на рабочих местах оперативных работников и вводится в эксплуатацию.

Такое представление ГДП является новым в части основы формализации ключевых этапов его разработки и сопровождения, оно синхронизировано с общими принципами развития технических систем и может быть трансформировано в дальнейшем в универсальный стандарт, на основе которого будет осуществлен переход к адаптивному управлению транспортом на принципах data science.

О практической реализации адаптивного подхода на основе Big Data

В ходе исследований было установлено, что в современных условиях изменяющегося рынка и при действии на перевозочный процесс разноплановых и в разной степени формализуемых факторов, график движения поездов должен рассматриваться как единый технологический документ, объединяющий в единую логистическую цепочку перевозчиков, клиентов и третьих лиц, а также позволяющий планировать работу инфраструктуры.

Построение релевантного ГДП, который, с одной стороны, был бы устойчивым к действию различных помех, а с другой – в достаточно высокой степени гибким и учитывающим нюансы спроса, является сложной научно-практической задачей в силу различных исторических традиций на железных дорогах мира, различного уровня технической оснащенности, уровня автоматизации и информатизации перевозочного процесса.

Директивные методы планирования, которые до сих пор составляют основу построения графика, в сочетании с преемственностью графика год к году, приводят к неготовности железных дорог отвечать на новые вызовы времени и в итоге глобально снижают конкурентоспособность железных дорог. Устранить эти риски, повысить степень использования инфраструктуры, перейти от реактивной к проактивной модели управления можно за счет внедрения гибкого индикативного управления с элементами предиктивной аналитики. Первым этапом в таком переходе выступает перевод построения расписаний на принципы обращения с Data Science.

Под Data Science в узком смысле понимаются методы, которые позволяют работать с большими объемами разноплановой информации и извлекать скрытые взаимосвязи, в том числе содержащиеся в огромных массивах информации, порождаемой процессом планирования, составления расписаний и его реализацией на транспорте (Big Data).

Такие данные для ГДП должны быть разделены на долгосрочные, среднесрочные и оперативные, причем для каждой группы необходимо отрабатывать подходящие методы и алгоритмы. Как показали исследования основных часто встречающихся методов анализа данных, для составления расписаний и прогнозирования исходных данных для таких расписаний лучше всего подходят регрессионные методы, искусственные нейронные сети, методы эволюционного поиска, а также алгоритмы классификации. Однако детальная разработка алгоритмов для конкретных задач на транспорте – сфера открытая и нуждающаяся в дополнительных исследованиях.

Исторически автоматизация железных дорог началась позже и протекает тяжелее, чем в

других отраслях. Поэтому вопрос перехода на адаптивное управление с учетом системной наследственности и консерватизма железнодорожного транспорта требует организации постоянно действующей рабочей группы на международном уровне кросс-отраслевых экспертов, в функции которой входила бы выработка единой правовой и технической политики по обеспечению перехода на новые принципы управления.

Очевидно, что данная формализация должна опираться на концепцию жизненного цикла ГДП. Данный подход позволяет описать модель процесса разработки ГДП инвариантно относительно типа ГДП, периода времени и не рассматривать взаимодействия между участниками перевозочного процесса до тех пор, пока не будет построена концептуальная модель и принципиальная схема перехода.

Переход к гибкому управлению расписанием также потребует изменения показателей эффективности работы транспорта, повышению роли взаимных расчетов между подразделениями с применением финансовых отношений. Также потребуются изменение ментальной парадигмы персонала и проведение обучения персонала работе на новых принципах для всех уровней оперативного и стратегического управления. Такие действия могут обеспечить до 50% успеха.

Проведенная работа может лечь в основу дальнейших прикладных научных исследований в области адаптации методов и алгоритмов Big Data к условиям железнодорожного транспорта, включая, возможно, и разработку требований к аппаратной части. Кроме того, необходимо правильно выбрать систему хранения и администрирования данных при работе с методами Data Science.

Первым этапом практической апробации методов Data Science для задач адаптивного управления ГДП может быть создание стенда, который бы представлял из себя цифровой двойник выбранного пилотного участка инфраструктуры тестовой железной дороги с поступлением и обновлением реальных данных о движении поездов. Базируясь на аккумулированных в цифровом двойнике данных НСИ и эксплуатационной работы, потребуется построить прототипы программных решений на конкретных методах/алгоритмах для отработки реальных задач адаптивного управления как ГДП, так и оперативной эксплуатационной работой.

Параллельно с этим, очевидно, потребуется создание информационной модели и разработка единой онтологии, на которой должна базироваться такая модель (упрощенная модель в виде Mind Map представлена в отчете проекта BDTM). Следует отметить принципиальное значение создания в будущем единой онтологии ввиду разнородности существующих информационных систем, возрастания требований интероперабельности и единообразия информационного пространства в процессе цифровой трансформации. К примеру, в странах ЕС такая работа в настоящее время ведется в рамках проекта Linx4Rail масштабной программы инновационного развития железнодорожной отрасли ЕС Shift2Rail. Проект фактически является кросс-секторальным проектом, затрагивающим все сегменты железнодорожного транспортного комплекса, направленным на создание общего отраслевого метаязыка с единым словарем и онтологией и разработку единой модели данных, принимаемой всеми участниками железнодорожной отрасли. Проект анализирует и использует для решения своих задач результаты и решения целого ряда научно-исследовательских проектов и отраслевых инициатив ЕС, реализуемых или реализованных как в рамках Shift2Rail, так и в рамках других инициатив, в том числе МСЖД. Разрабатываемая в проекте онтология будет базироваться на

широко используемой Концептуальной модели данных (CDM) Shift2Rail, которая будет представлять собой стандарт взаимодействия между существующими и новыми системами [9]. Данная работа также крайне важна для развития технологии создания и применения «цифровых двойников» и ВМ на железнодорожном транспорте.

Второй этап включает тестирование разработанных инструментов и непосредственный переход к управлению ГДП на основе Big Data на конкретном инфраструктурном проекте. Указанный виртуальный стенд мог бы включать в себя набор аппаратных и программных средств соответствующей мощности и интенсивности (ПО с открытым кодом, серверы хранения информации или возможность пользоваться одним из ЦОД тестовой железной дороги, ЭВМ высокой производительности класса «портативный суперкомпьютер»).

Реализация такого проекта потребует использования оперативного доступа к информационным ресурсам тестовой железной дороги. Следует особо проработать интерфейс и структуру баз данных, формат файлов для обмена информацией между данными приложениями и условно называемой «программой BDTM». Наиболее простой и наименее затратный по времени и ресурсам пилотный вариант для демонстрации возможностей Big Data – использование готовой современной платформы имитационного моделирования движения поездов, обладающей возможностями макро-, мезо- и микромоделирования и имеющей базу данных реализованных проектов. Например, в странах ЕС широко используется открытая платформа Opentrack, поддерживающая формат RailML. Указанным критериям также соответствует линейка инструментов моделирования итальянской компании TrenoLab [10].

На основе платформы представляется возможным в достаточно короткие сроки реализовать блок работы с Big Data и продемонстрировать его работу, используя данные уже реализованного проекта моделирования на одном из тестовых участков железных дорог, с проведением сравнительного анализа результатов с ранее полученными результатами традиционных методов моделирования. Для этих задач может использоваться аренда внешних мощностей – с обезличиванием массивов данных и последующей их передачей на внешние ресурсы для обработки, вычислений и хранения.

Для обеспечения защиты данных при выборе архитектуры системы для последующего внедрения на железной дороге может быть целесообразным создание собственного программно-аппаратного комплекса. С учетом потребностей ОАО «РЖД» на рис. 4 предложен вариант тестовой архитектуры системы адаптивного управления ГДП на основе методов Big Data.

Система, основное приложение которой обозначено как BDTM А, вырабатывает оперативные управляющие решения и/или динамически обновляет информацию в базах данных НСИ (нормативно-справочной информации), представленных в виде конкретных АСУ ОАО «РЖД».

Оценим некоторые технические характеристики подобной системы. Для построения системы требуется горячее хранилище данных из внешних систем, функционирующее в режиме CASH. С учетом данных о примерно 2000 составах в сутки и средней длине состава в 71 вагон, принимая максимум 100 полей на каждый вагон непосредственно ($V=2K*71*100*4=56$ М), оценим объем информации, с учетом резервов (под новые события, под возможное увеличение разреза анализа и пр.) как 1GB в сутки. Емкость БД исходной информации, для работы основного приложения 3, оцениваем исходя из необходимости накопления и обработки 365 дней по 1GB, для обеспечения хранения, в итоге получаем 365 GB. Для надежности хранения

данных и функционирования системы необходима тройная репликация базы данных (как в ОАО «РЖД»), соответственно, эффективные объемы хранения составят 3 по 365 GB.

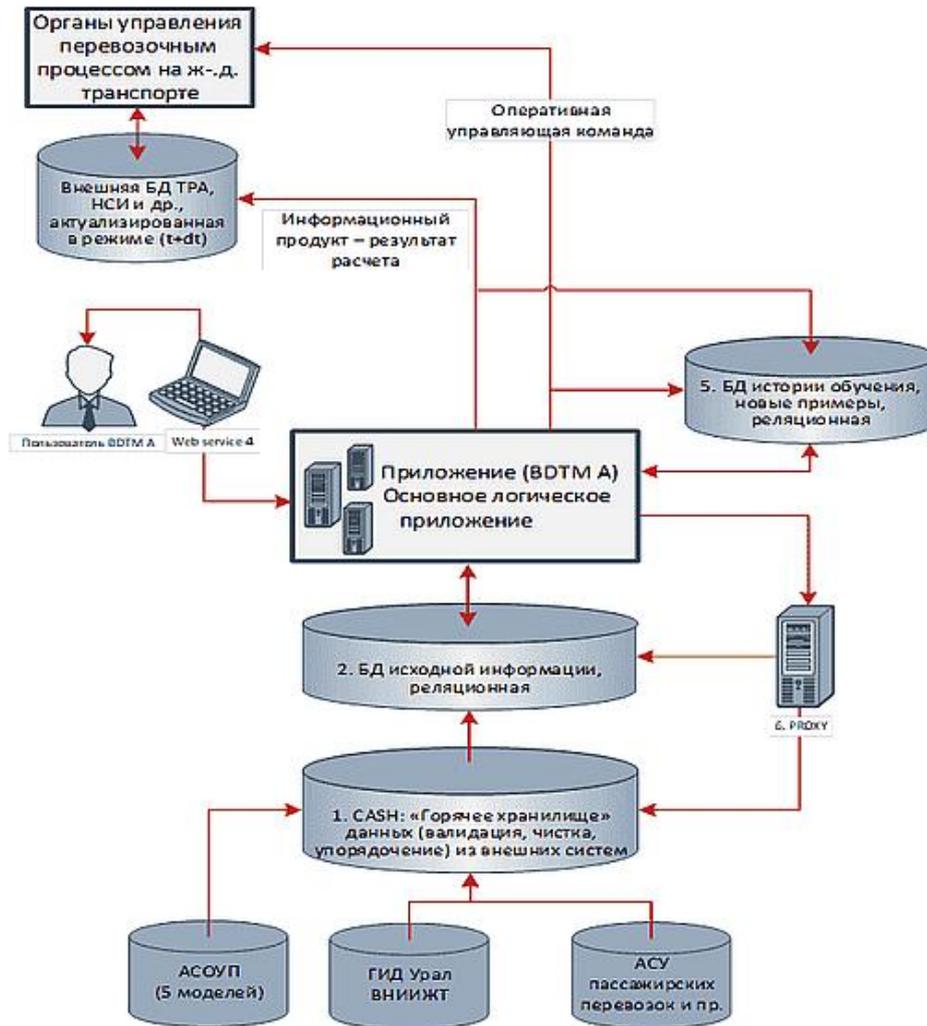


Рисунок 4. Архитектура системы BDTM

Для оценки объема основного приложения исходим из необходимости обновления ГДП 1 раз в 10 минут, итого в сутки – 144 обновления. Расчет, производимый на базе искусственной нейросети участка в 1000 км, составляет в настоящее время около 20-30 минут на ЭВМ типа 16GB RAM i5 4 cores (обычная рабочая станция). Нам же необходимо обеспечить расчет не менее, чем за 1 минуту, что составляет ускорение в 30 раз.

Для общения пользователя и основного приложения 3 потребуется стандартный Web-сервер; также потребуется стандартный Проху-сервер для работы с хранилищами. При оценке объема БД для хранения исторических данных (для дальнейшего обучения) предполагаем хранение 5 периодов последних обновлений, для 20 параметров в прогнозе, итого получаем $V_{сут} = 2K * 144 / 5 * 20 * 4 = 24MB/сут.$ (с учетом репликаций). Таким образом, первоначальные вложения в техническую часть являются вполне посильными для большинства компаний, специализирующихся на подобного рода решениях.

Для работы с иными конфигурациями информационных транспортных систем представленная архитектура может быть масштабирована и скорректирована.

Заключение

Проведенное исследование позволяет сформулировать следующие рекомендации по разработке международного железнодорожного решения (International Railway Solution, IRS) МСЖД по переходу к управлению ГДП на основе принципов Data Science. Предполагаемый IRS в области управления ГДП на основе Big Data должен включать в себя, по меньшей мере, следующие разделы:

1. Стандартизация терминологии и понятий жизненного цикла ГДП с конкретизацией этапов, к которым могут быть применены рекомендованные авторами методы;
2. Создание формализованного описания параметров ГДП и факторов, влияющих на них;
3. Описание требований к базам данных и инструментам для хранения информации (с тем чтобы обеспечить переход на адаптивный и управляемый с помощью современных подходов ГДП);
4. Описание требований к аппаратному и программному (включая математическую и алгоритмическую составляющую) обеспечению для внедрения методов Data Science для конкретных показателей ГДП;
5. Требования к информационной имплементации ГДП, работающего на новой основе;
6. Требования к проверке безопасности получаемых решений в области ГДП;
7. Основные инструктивные материалы для персонала по эксплуатации и сопровождению работы с ГДП на адаптивных принципах;
8. Требования к формализации модели данных для сквозного планирования и формирования графика между всеми участниками процесса;
9. Требования к идентификации формализованного информационного описания параметров ГДП и факторов, влияющих на график.

При разработке стандарта также целесообразно разработать требования к единому формату данных и протоколу обмена между владельцами инфраструктуры и внешними/внутренними участниками, а также общий план (дорожную карту) перехода к управлению ГДП на основе Big Data, учитывающий уровень технического и технологического развития железных дорог. В IRS должна быть предусмотрена возможность апгрейда протокола обмена данными с учетом современных разработок и введения в него новых признаков, относящихся к ГДП и связанных с методами Data Science, используя, к примеру, классификацию параметров и факторов ГДП (Mind Map), предложенную в исследовании. Особое значение при этом будет также иметь аспект межгосударственного обмена информацией, необходимого для управления ГДП на основе адаптивных принципов при трансграничном сообщении.

Таким образом, в настоящей работе проведен анализ текущего положения в области перехода эксплуатационной работы на железнодорожном транспорте к адаптивному управлению на основе принципов анализа данных и применения самообучающихся систем и сформулированы основные проблемы, требующие дальнейших исследований.

Список литературы

1. UIC Research Project. Big Data based Timetable Management (BDTM), 2020. P. 79.
2. <https://uic.org/events/uic-digital-conference-2020>
3. Müller-Hannemann, M., Schnee, M., Weihe, K. Getting Train Timetables into the Main Storage. Electronic Notes in Theoretical Computer Science. V. 66 No. 6 (2002). P. 11-12.

4. Lu, M. Evaluation of railway performance through quality of service. PhD theses, UK, Birmingham, 2016, 190p.

5. D’Ariano, F. Improving real-time train dispatching: models, algorithms and applications, PhD theses, Netherlands-Italy, 2008, 240p.

6. Озеров А.В., Ольшанский А.М., Куроптева А.П. Предиктивная аналитика на основе Data Science на железнодорожном транспорте // Наука и техника железных дорог. 2020 – №4 – С.63-76.

7. RailTopoModel – Railway infrastructure topological model. International Railway Solution, IRS 30100. International Union of Railways (UIC) – Paris, 2016.

8. Карпов Ю.Г., Шошмина И.В., Беляев А.Б. Верификация параллельных и распределенных программных систем [Электронный ресурс] / URL: http://is.ifmo.ru/present/2012/20120218_model_che%D1%81king_karpov_lecture01.pdf.

9. https://projects.shift2rail.org/s2r_ipx_n.aspx?p=LINX4RAIL.

10. Розенберг Е.Н., Лысиков М.Г., Озеров А.В., Ольшанский А.М. О переходе к предиктивному управлению транспортными системами с использованием Big Data // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. 2018. № 1 (41). С.32-37.

УДК: 334.71: 656: 338.245

АЛГОРИТМ ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Охотников А.Л. Руководитель Центра, АО «НИИАС», E-mail: a.ohotnikov@vniias.ru, Москва, Россия

Аннотация. В статье рассматривается алгоритм для выбора оборудования, применяемого в системах технического зрения (СТЗ) на железнодорожном транспорте для различных видов тягового подвижного состава (ТПС). Анализ альтернативных решений предлагается проводить из таких датчиков как видеокамеры, лидары, тепловизоры. В статье определены основные параметры датчиков, по которым осуществляется выбор наилучшего решения с учетом целей и задач каждого типа ТПС. Для сравнения альтернатив и расчета функции полезности для каждого датчика на сопоставимых условиях используется нормализация рассматриваемых параметров и расчет функции полезности с учетом веса показателя. Помимо часто используемых функций минимизации и максимизации для учета целевых задач ТПС введена функция расчета близкого к целевому значению критерия (Targ). Приведены основные выводы работы алгоритма с расчетом экономической выгоды при решении задач выбора и проведения испытаний СТЗ локомотива (электропоезда).

Ключевые слова: транспорт, системы технического зрения, автоматическое управление, лидар, тепловизор, функция полезности, критерии выбора, многокритериальные задачи.

ALGORITHM OF THE SELECTION OF COMPONENTS FOR TECHNICAL VISION SYSTEMS ON RAILWAY TRANSPORT

Okhotnikov A.L. Head of the Center, JSC «NIIAS», E-mail: a.ohotnikov@vniias.ru, Moscow, Russia

Annotation. The article describes the algorithm for selecting equipment used in technical vision systems (TVS) in railway transport for various types of traction rolling stock (TRS). The analysis of alternative solutions is proposed to be carried out from such sensors as video cameras, lidars, thermal imagers. The article defines the main parameters of sensors, which are used to select the best solution, taking into account the goals and objectives of each type of TPS. To compare alternatives and calculate the utility function for each sensor under comparable conditions, the normalization of the parameters under consideration and the calculation of the utility function taking into account the weight of the indicator are used. In addition to the frequently used minimization and maximization functions, a function for calculating the criterion close to the target value (Targ) is introduced to account for the TRS targets. The main conclusions of the algorithm with the calculation of economic benefits in solving the problems of selecting and testing the TVS of a locomotive (electric train) are presented.

Keywords: transport, technical vision systems, automatic control, lidar, thermal imager, utility function, selection criteria, multi-criterial tasks.

Введение

Для управления сложной технической системой, такой как современный транспорт, необходимо применять разнообразные датчики для сканирования окружающего пространства перед движущимся транспортным средством и для определения объектов-препятствий на его пути. В эпоху высоких скоростей и сложных вычислений для принятия управленческого решения важно минимизировать время выбора этого решения. Для решения такой задачи все чаще стали применять системы технического (машинного) зрения. В состав таких систем входят как аппаратные, так и программные средства. Одной из задач при проектировании и конструировании систем технического зрения (СТЗ) для каждого конкретного решения и условий их применения стоит выбор этих средств. Натурные испытания всех возможных вариантов подразумевают большие финансовые и трудовые затраты, поэтому необходимы методы и решения, с помощью которых возможно моделирование как работы различных вариантов таких систем, так и сравнение многочисленных характеристик большого количества датчиков (сенсоров), применяемых для автоматизации управления движением поездов.

Постановка задачи

Задача выбора наилучшего решения при выборе оборудования для СТЗ может быть решена с помощью: применения сценарного анализа (синтеза) [1], метода ориентированных графов [2], и/или оценки критериев, которые отражают основные характеристики этого оборудования [3]. Критериями оценки альтернатив, или просто критериями, будем называть показатели привлекательности (непривлекательности) возможных альтернатив в случае выбора наилучшего решения, в частности, для поддержки принятия решения лицом, принимающим это решение (ЛПР). Оценка критериев служит основой для выбора наилучшей альтернативы.

Основными критериями для выбора наилучшего решения при определении состава аппаратно-программного комплекса для СТЗ (интегрированной СТЗ) являются «технические параметры» - «стоимость» - «качество идентификации объекта». В данном исследовании сосредоточимся на выборе аппаратных средств для различных видов тягового подвижного состава (ТПС) с заданными критериями. Критерий «надежность» принимается как постоянный и важный фактор при построении систем безопасного управления транспортными объектами, особенно на железнодорожном транспорте. Выбор основан на технических характеристиках оборудования, при которых СТЗ функционирует с необходимым качеством и уровнем безопасности, при допустимых экономических показателях.

Описание алгоритма

Предложенный алгоритм выбора наилучшего решения для определения состава аппаратных средств СТЗ для различных видов ТПС выглядит следующим образом:

Шаг 1. Формируется таблица существующих на рынке аппаратных средств СТЗ, которые возможно использовать на железнодорожном транспорте по следующим категориям: видеокамеры, лидары, тепловизоры. В связи с тем, что известно большое множество сенсоров (датчиков), которые используются на мировом рынке для СТЗ, в таблицу рекомендуется включать не более 10 продуктов в соответствии с их характеристиками и подходящими для использования именно на железной дороге. Такие датчики должны удовлетворять определенным требованиям по вибро-, влаго-, и температурной устойчивости.

Из числа видеокамер рассмотрим следующее оборудование:

Таблица 1.

Варианты видеокамер

Модель	MaKo G-319	Prosilica GT2000NIR	Prosilica GT2460	2440gc	4096 gc	tof640-20gm_850nm
Производитель	Allied Vision			Basler		

Из числа лидаров для сравнения возьмем следующее оборудование:

Таблица 2.

Варианты лидаров

Модель	OPAL - P1000	Tel e- 15	Mid- 100	ULTR A PUCK	ALPH A PRIM E	RS- Rub y	RS- Lidar- M1	M-8 ULTRA	OS2-64	M16R	Scal a B2	Lux 4L
Произво дитель	OPA L™	Livox		Velodyne Lidar		Robo Sense		QUAN ERGY	OUST ER	Leddar Tech	Ibeo	

Из числа тепловизоров рассмотрим оборудование:

Таблица 3.

Варианты тепловизоров

Модель	CX-1000	OWL 640 SWIR	Bobcat 640	Base 1212	VLM640- PAL/CL- 16-bit- POLAR	PLUG 1212 (VLM1280)
Производитель	COX	Raptor Photonics	Xenics	AB Optics	ФОТОНИКА	

Шаг 2. По результатам анализа существующих СТЗ для каждого типа ТПС (маневровые, электропоезд, скоростные и магистральные) выбираются основные минимальные (достаточные) технические характеристики и критерий – стоимость, по которым будет осуществляться выбор датчиков СТЗ из множества альтернатив.

Таблица 4.

Вид таблицы с указанием критериев оценки оборудования

Критерии	Тип ТПС		
	Маневровые	Электропоезда	Скоростные и магистральные
Критерий <i>l</i>	$\geq (\leq) A_1$	$\geq (\leq) A_2$	$\geq (\leq) A_3$
...
Критерий <i>j</i>	$\geq (\leq) Z_1$	$\geq (\leq) Z_2$	$\geq (\leq) Z_3$

Так как все изготовители по-разному определяют и формируют перечень основных технических характеристик, для оценки необходимо выбрать общие, пересекающиеся характеристики. Чем больше число возможных критериев, тем более точный выбор можно сделать.

Для оборудования типа видеокамеры, определим следующие критерии, по которым будем оценивать их применение на железнодорожном транспорте в процессе их выбора применительно к каждому из 3-х типов ТПС:

- Дальность обнаружения (не менее), м
- Разрешение матрицы по горизонтали (не менее), ρ_x
- Разрешение матрицы по вертикали (не менее), ρ_y
- Размер пикселя (не более), μm
- Частота кадров (не более), к/сек
- Угол по горизонтали (не более), град

- Фокусное расстояние (не менее), мм
- Светосила (не менее), f
- Диапазон температур, °С
- Защита от внешних воздействий (не менее), IP
- Разрешение оптики (не менее), Мрiх
- Стоимость (не более), тыс. руб.

Так как такие критерии видеокамеры как дальность обнаружения, угол обзора, фокусное расстояние и светосила зависит в большей степени от объектива, а диапазон температур и защита от внешних воздействий зависит от термобокса, куда камеру помещают для сохранности, то эти параметры можно исключить. Из остальных критериев с оценкой веса можно выделить – разрешение матрицы, частота кадров и стоимость. Причем для учета важности критерия стоимости для маневровых локомотивов вес этого параметра можно установить на максимальную величину в принятом диапазоне от 1 до 7.

Таблица 5.

Требования, предъявляемые к видеокамерам СТЗ для использования в различных видах ТПС

Видеокамера	Тип ТПС					
	Маневровые		Электропоезда		Скоростные и магистральные	
Основные критерии	Значение	Вес (1-7)	Значение	Вес (1-7)	Значение	Вес (1-7)
Разрешение матрицы по горизонтали (не менее), рiх	1200	3	2048	3	2448	4
Разрешение матрицы по вертикали (не менее), рiх	800	3	1088	3	1544	4
Размер пикселя (не более), μm	6	2	5	3	3,5	4
Частота кадров (не менее), к/сек	10	4	20	4	20	5
Разрешение (не менее), Мрiх	1	3	3	5	5	4
Стоимость (не более), тыс. руб.	120	7	160	6	210	5

Для оборудования типа лидары, имеем следующие критерии, по которым возможна оценка применимости их для разных типов ТПС:

- Дальность обнаружения (не менее), м
- Количество каналов сканирования (не менее), шт.
- Угол обнаружения по вертикали (не более), град
- Угол обнаружения по горизонтали (не более), град
- Разрешение измерения (не более), см
- Длина волны (не менее), nm
- Диапазон температур (в пределах), °С
- Защита от внешних воздействий (не менее), IP
- Стоимость (не более), тыс. руб.

Наиболее важные критерии с максимальным весом для оценки применимости лидаров являются – дальность обнаружения, разрешение измерения и стоимость.

Таблица 6.

Требования, предъявляемые к лидарам СТЗ для использования в различных типах ТПС

Лидар	Тип ТПС					
	Маневровые		Электропоезда		Скоростные и магистральные	
Основные критерии	Значение	Вес (1-7)	Значение	Вес (1-7)	Значение	Вес (1-7)
Дальность обнаружения (не менее), м	150	5	500	5	1000	6
Количество каналов сканирования (не менее), шт.	16	3	32	3	64	4
Угол обнаружения по вертикали (не более), град	40	3	25	3	15	4
Угол обнаружения по горизонтали (не более), град	180	3	100	3	25	4
Разрешение измерения (не более), см	2	4	3	4	5	4
Длина волны (не менее), nm	903	3	905	3	1500	4
Стоимость (не более), тыс. руб.	950	7	4500	6	6000	5

Для оборудования типа тепловизор, имеем следующие критерии, по которым возможна оценка применимости их для разных типов ТПС:

- Дальность обнаружения (не менее), м
- Диапазон (не более), мкм
- Разрешение матрицы по горизонтали (не менее), pix
- Разрешение матрицы по вертикали (не менее), pix
- Размер пикселя (не более), μm
- Частота кадров (не менее), Гц
- Диапазон температур (Min) (не более), $^{\circ}\text{C}$
- Диапазон температур (Max) (не менее), $^{\circ}\text{C}$
- Фокусное расстояние (не менее), мм
- Светосила (не менее), f
- Температурное разрешение (NETD), не более $^{\circ}\text{C}$
- Разрешение общее (не менее), Mpix

Наиболее важные критерии с максимальным весом для оценки применимости тепловизоров являются – частота кадров, разрешение матрицы и стоимость.

Таблица 7.

Требования, предъявляемые к тепловизорам СТЗ для использования в различных типах ТПС

Тепловизор	Тип ТПС					
	Маневровые		Электропоезда		Скоростные и магистральные	
Основные критерии	Значение	Вес (1-7)	Значение	Вес (1-7)	Значение	Вес (1-7)
Разрешение матрицы по горизонтали (не менее), пикс	640	3	640	3	1280	4
Разрешение матрицы по вертикали (не менее), пикс	512	3	512	3	1024	4
Размер пикселя (не более), мкм	17	2	14	2	12	2
Частота кадров (не менее), к/сек	50	4	100	4	120	3
Диапазон температур (Min), (не менее) °С	30	3	30	3	30	3
Диапазон температур (Max), (не менее) °С	50	3	50	3	50	3
Стоимость, (не более) тыс. руб.	1200	7	2000	6	2500	5

Шаг 3. Применение метода нормализации с весами критериев

В случае выбора аппаратных средств на основе оценки разных критериев, которые имеют разную размерность (масштаб измерений), часть из них являются натуральными (например, один критерий оценивается в рублях, другой – в пикселях или градусах, третий – в экспертных баллах и т.д.). Для их сравнения и расчета функции полезности для каждого датчика (сенсора) на равных (точнее пропорциональных весам) условиях применим один из методов нормализации [4]. Под нормализацией критериев примем последовательность действий, с помощью которых все критерии приводятся к единому, безразмерному масштабу измерений.

Имеем n альтернатив и k критериев. Обозначим EV_{ij} – оценку (*Evaluation*) i -й альтернативы по j -му критерию. Пусть оценки альтернатив по критериям имеют различные размерности. Введем обозначение $\bar{E}V_j = \max_i(EV_{ij})$ максимальное значение j -го критерия по каждой i -й альтернативе, а $\underline{E}V_j = \min_i(EV_{ij})$ – минимальное значение j -го критерия по альтернативам. Тогда введем нормализованные оценки альтернатив для всех значений оборудования, предполагаемых для СТЗ.

В случае **максимизации** критериев (чем больше показатель, тем лучше) из каждого элемента строки матрицы EV_{ij} вычитаем минимальный элемент данной строки и результат делим на разницу между максимальным и минимальным элементами этой строки:

$$\text{Max}(ev_{ij}) = \frac{EV_{ij} - \underline{E}V_j}{\bar{E}V_j - \underline{E}V_j}$$

В случае **минимизации** критериев (чем меньше показатель, тем лучше), нормализованные оценки равны:

$$\text{Min}(ev_{ij}) = \frac{\bar{E}V_j - EV_{ij}}{\bar{E}V_j - \underline{E}V_j}$$

Таким образом, из максимального элемента каждой строки матрицы EV_{ij} вычитают каждый элемент этой строки и результат делится на разницу между максимальным и минимальным элементами строки.

Так как критерии и технические требования определены для различных типов ТПС, максимальные и минимальные значения не всегда позволяют определить лучшее значение для оборудования для всех типов ТПС. Поэтому необходимо ввести расчет **близкого к целевому значению** $Targ_j$ критерия (чем ближе показатель к целевому значению, тем он лучше). При чем, для критериев, которые отвечают требованию «не менее» расчет нормализованной оценки рассчитывается в выражении:

Если $A_{ij} \geq Targ_{ij}$, то

$$EV_{ij} = \frac{A_{ij}}{Targ_{ij}}$$

Если критерий для требований к оборудованию СТЗ для типа ТПС отвечает требованию «не более», то расчет нормализованной оценки рассчитывается в выражении элемент таблицы A_{ij} больше среднего значения всех критериев строки, то нормализованная оценка элемента строки вычисляется путем **минимизации** критериев, т.е. из максимального элемента каждой строки матрицы EV_{ij} вычитают каждый такой элемент строки, а результат делится на разницу между максимальным и средним значением элементов строки.

Если $A_{ij} \leq Targ_{ij}$, то:

$$EV_{ij} = \frac{Targ_{ij}}{A_{ij}}$$

Если элемент таблицы A_{ij} не отвечает критерию, который определен в таблице с требованиями предъявляемые к оборудованию СТЗ для использования в различных типах ТПС, то в этом случае

$$EV_{ij} = 0$$

В результате нормализации альтернатива, имеющая наилучший для ЛПР показатель привлекательности по любому критерию, получает оценку 1, наименее привлекательная имеет оценку 0, а остальные альтернативы имеют промежуточные оценки от 0 до 1 пропорционально их привлекательности между показателями наилучшей и наихудшей альтернатив.

Шаг 4. Назначение функции нормализации (Min, Max, Targ) осуществляется экспертным путем для каждого критерия относительно требований для конкретного типа ТПС.

Так для маневровых локомотивов характерны малые скорости движения (до 25 км/ч) и оценка ситуации на небольшом расстоянии (10-150 м). Исходя из этого, требования к разрешению матрицы для видекамеры должны удовлетворять значению – не менее 1200x800 pix. Так как существуют камеры с более высокими значениями, которые превышают минимальные требования в 2 и более раз, и стандартное применение функции нормализации Max привело бы к выбору критерия с максимальным значением, что привело бы к избыточности такого решения. Поэтому применяем функцию, приближающую значение к целевому (Targ).

Для критерия – размер пикселя – имеем для маневрового локомотива максимальное значение 6 μm , что вполне удовлетворяет требованиям при характере движения этого вида ТПС. Данный размер пикселя позволяет получить требуемое качество изображения на небольших расстояниях, что и необходимо при движении на малых скоростях. Допустимо к этому критерию применить функцию, приближающую значение к целевому для этого типа ТПС, чтобы не стремиться к минимизации этого параметра и исключения, в связи с этим максимальных значений, не превышающих порогового. Имея минимальное значение этого критерия в 3,45 μm , принимаем важность (вес 4) этого параметра только для скоростного движения, поэтому при выборе функции нормализации для скоростного или магистрального локомотива и электропоезда, которые двигаются с большими скоростями, выбираем функцию минимизации этого критерия (Min).

Шаг 5. Расчет функции полезности [5] каждой альтернативы F_i вычисляются по формуле:

$$F_i = \sum_{j=1}^k EV_{ij} W_j$$

с учетом нормализованного показателя привлекательности, где W_j - вес критерия, определяемый экспертно, в зависимости от задач, которые ставятся перед исследователем для каждого вида ТПС. В результате наилучшее решение для выбора альтернативы определяется по максимальному значению функции полезности. Датчики, которые по значению функции полезности занимают вторые и третьи места, также рассматриваются для проведения опытных и экспериментальных работ по подтверждению их заявленных характеристик в реальных условиях эксплуатации.

Значения и результаты проведенного расчета и анализа данных для видеокамер указаны в таблицах ниже.

Таблица 8.

Нормализованная матрица для маневровых локомотивов (малые скорость и дальность действия, минимальная цена)

№	Видео камера Критерий	Мако G-319	Prosilica GT2000 NIR	Prosilica GT2460	2440gc	4096gc	tof640-20gm_850nm	Применяемая функция
1	Разрешение матрицы по гориз.	0,59	0,59	0,49	0,49	0,29	0,00	targ
2	Разрешение матрицы по верт.	0,52	0,74	0,39	0,39	0,37	0,00	targ
3	Размер пикселя	0,58	0,92	0,58	0,58	0,58	0,80	targ
4	Частота кадров	0,37	0,26	0,59	0,70	0,00	0,70	targ
5	Разрешение	0,66	0,80	0,44	0,45	0,00	1,00	min
6	Стоимость	1,00	0,00	0,00	1,00	0,90	0,00	min

Таблица 9.

Матрица расчета функции полезности критериев видеокамер для маневровых локомотивов (с учетом веса критерия)

Видеокамера	Мако G-319	Prosilica GT2000NIR	Prosilica GT2460	2440gc	4096gc	tof640-20gm_850nm
Значение F_i	15,59	10,04	7,88	15,37	9,45	8,40
Приоритет выбора	1	3	6	2	4	5

Таблица 10.

Матрица расчета функции полезности критериев видеокамер для электропоездов типа «Ласточка» (с учетом веса критерия)

Наименование	Мако G-319	Prosilica GT2000NIR	Prosilica GT2460	2440gc	4096gc	tof640-20gm_850nm
Значение F_i	17,74	5,58	14,51	21,06	17,91	9,25
Приоритет выбора	3	6	4	1	2	5

Таблица 11.

Матрица расчета функции полезности критериев видеокамер для магистральных локомотивов и скоростных электропоездов (с учетом веса критерия)

Наименование	Мако G-319	Prosilica GT2000NIR	Prosilica GT2460	2440gc	4096gc	tof640-20gm_850nm
Значение F_i	11,98	9,08	16,96	14,43	18,63	3,11
Приоритет выбора	4	5	2	3	1	6

Таблица 12.

Наилучшие варианты видеокамер для разных типов ТПС (по 3 варианта из множества)

Для маневровых	Мако G-319	3		2440gc		
Для электропоезда	3			2440gc	4096gc	
Для магистральных			Prosilica GT2460	3	4096gc	
Общая оценка	8	14	12	6	7	16
Рейтинг	3	5	4	1	2	6
Решение	закупаем	исключаем	закупаем	закупаем	закупаем	исключаем

Выводы

Исходя из проведенного анализа работы алгоритма выбора наилучшего решения для определения состава аппаратных средств СТЗ можно сделать вывод о выборе оборудования в составе: камеры Basler 2440gc и 4096gc как основные для применения на скоростных поездах и магистральных локомотивах, электропоездах типа «Ласточка», а в качестве резервного варианта использовать камеру Prosilica GT2460.

Для маневровых локомотивов камера Allied Vision Мако G-319 подходит как основная, а Basler 2440gc и Prosilica GT2000NIR как резервные. Окончательный выбор может быть осуществлен на основании натурных испытаний в реальных условиях непосредственно на борту локомотива. Из вариантов выборки можно исключить камеры Prosilica GT2000NIR и Basler tof640-20gm_850nm, как занявшие последние два места в рейтинге камер, что позволит сэкономить на закупках тестового оборудования около 302 тыс. руб., а также время и средства на изготовление креплений, объективов и термобоксов, а также проведения дополнительных испытаний и опытных наблюдений для этих камер. Благодаря проведенным вычислениям и анализу общая экономия средств может составить более 500 тыс. руб.

Аналогичные результаты можем получить после проведения расчета и анализа данных для

лидаров и тепловизоров. Таким образом, алгоритм выбора наилучшего решения с целью определения состава аппаратных средств СТЗ для различных типов ТПС позволяет сделать вывод о выборе и закупке основного оборудования для проведения финишных натурных испытаний в реальных условиях непосредственно на борту локомотива, что позволяет максимально снизить финансовую (в руб.) при закупке и трудовую (в чел./час) для непосредственного проведения дополнительных испытаний и опытных наблюдений на нагрузку, а также себестоимость обеспечения бортовых и инфраструктурных СТЗ на железнодорожном транспорте.

Список литературы

1. Кульба В.В., Чернов Ю.М. Сценарный подход к анализу сложных систем // В сборнике: Управление развитием крупномасштабных систем mlsd'2012 труды шестой международной конференции (ежегодный сборник). Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН; под общей редакцией С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. –2012. – С.209-215.
2. Харари Ф. Теория графов. // Москва: Едиториал УРСС, –2003.
3. Бейлекчи Д.В. Метод определения критериев оценки оптимизации аппаратно-программной структуры устройств систем телекоммуникаций // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. –2013. –№ 1 (9). –С. 32-36.
4. Грубов Е.О. Метод нелинейной нормализации критериев в многокритериальной задаче принятия решений // В сборнике: Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии (Бенардосовские чтения). Материалы Международной (XX Всероссийской) научно-технической конференции. –2019. –С.236-239.
5. Горелов В.И., Ледашева Т.Н. Ранжирование альтернативных вариантов развития системы и построение функции полезности в многофакториом анализе // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. –2003. –№ 9. –С.20-26.

УДК: 625.17.1

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОКНА ДЛЯ ПУТЕВЫХ РАБОТ ПРИ МИНИМИЗАЦИИ ПРИВЕДЕННЫХ ЗАТРАТ НА РЕМОНТЫ И ПОТЕРЬ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА

Коваленко Н. И. д.т.н., профессор, Российский университет транспорта (РУТ, МИИТ), E-mail: kni50@mail.ru, Москва, Россия

Аннотация. Рассматривается минимизация приведенных затрат на производство планово-предупредительного ремонта железнодорожного пути с учетом дополнительных расходов в инфраструктуре, в зависимости от продолжительности технологического окна. Оптимальная продолжительность технологического окна зависит с одной стороны от суммы единовременных затрат на ремонт пути, а с другой – от изменения потерь от задержек поездов (дополнительных остановок и стоянок), изменения графика их движения и маршрутов следования. Поиск глобального оптимума осуществляется графоаналитическим методом. Показано, что применение современных машин и технологий существенно сказывается на продолжительности оптимального технологического окна.

Ключевые слова: Железная дорога, планово-предупредительный ремонт пути, оптимальное технологическое окно, потери от задержек поездов.

TECHNOLOGICAL WINDOWS FOR TRACK WORKS WHILE MINIMIZING THE REDUCED COSTS OF REPAIRS AND LOSSES OF THE TRANSPORTATION PROCESS

Kovalenko N.I. D.ofSci.(Tech.), Professor, Russian University of Transport (RUT, MIIT), E-mail: kni50@mail.ru, Moscow, Russia

Annotation. The minimization of the reduced costs for the production of scheduled preventive maintenance of the railway track is considered, taking into account the additional costs in the infrastructure, depending on the duration of the technological window. The optimal duration of the technological window depends, on the one hand, on the amount of one-time costs for track repairs, and on the other, on changes in losses from train delays (additional stops and stops), changes in the schedule of their movement and routes. The search for the global optimum is carried out by the graphic-analytical method. It is shown that the use of modern machines and technologies significantly affects the duration of the optimal technological window.

Keywords: Railway, scheduled preventive maintenance of the track, optimal technological window, losses from train delays.

Введение.

Целью методики является установление минимума приведенных затрат на производство ремонтных работ в пути, потерь перевозочного процесса с учетом дополнительных расходов в инфраструктуре в части зависящей от продолжительности технологического окна.

В соответствии с имеющимися рекомендациями [1], под приведенными затратами рассматривается сумма единовременных затрат на ремонт пути, потерь в перевозочном

процессе и расходов инфраструктуры железнодорожного транспорта в части зависящей от размеров движения, рис.1.

В этом случае приведенные затраты ($\Pi_{зат}$, руб./час) выразятся зависимостью (1):

$$\Pi_{зат} = \frac{Z_{ПХ}}{t_{окна}} + \left(\frac{\alpha \times P_{Д}}{t_{окна}} + \frac{\beta \times I_{С}}{t_{окна}} \right), \quad (1)$$

где: $Z_{ПХ}$ - единовременные затраты на производство работ в технологическое окно, руб.;

$P_{Д}$ – потери от задержек поездов [2] (дополнительных остановок и стоянок), изменения графика их движения и маршрутов следования в период выделения технологического окна и после его окончания, руб.;

$t_{окна}$ – продолжительность «окна», час;

$I_{С}$ – соответствующая часть расходов и потерь в инфраструктуре, зависящая от размеров движения, учитываемая при расчете экономического эффекта, руб.;

α - эмпирический параметр, получаемый в результате аппроксимации результатов обобщения потерь от задержек, простоя, изменения маршрутов движения и так далее поездов во время технологического окна и после его окончания, отображающий их изменение с увеличением продолжительности технологического окна. Ориентировочный диапазон параметра $\alpha = 1.0 - 2.0$.

β - коэффициент, характеризующий тангенс угла наклона прямой или касательной к кривой, отражающей изменение расходов и потерь в инфраструктуре с увеличением продолжительности технологического окна. Ориентировочный диапазон коэффициента $\beta = 0 - 1.5$.

Зависимость (1) имеет нелинейный характер, поскольку $\left(\frac{Z_{ПХ}}{t_{окна}} \right)$ с увеличением ($t_{окна}$) уменьшается, а вторая часть $\left(\frac{\alpha \times P_{Д}}{t_{окна}} + \frac{\beta \times I_{С}}{t_{окна}} \right)$ возрастает с увеличением продолжительности технологического окна.

Решение данной функции (или оптимизационной задачи по определению продолжительности технологического окна), возможно из условия приравнивания нулю первой производной функции (или приведенных затрат) [3], при условии положительного значения второй производной по аргументу (или параметру ($t_{окна}$)).

Решая зависимость (1) с точки зрения получения экстремума функции (или приведенных затрат), получим выражение, физический смысл которого состоит в описании характера зависимости изменения (или скорости) расходов инфраструктуры железнодорожного транспорта от изменения продолжительности технологического окна.

Вторая производная решения данной функции (или приведенных затрат) состоит в определении характера (вида зависимости) протекания процесса изменения (или ускорения) расходов инфраструктуры железнодорожного транспорта от изменения продолжительности технологического окна [4].

Оптимальная продолжительность технологического окна для ремонтов пути () из выражения (1) определяется графоаналитическим методом путём построения графиков изменения величины (ЗПХ) от () с одной стороны и () от () с другой стороны.



Рисунок 1. Алгоритм определения оптимальной продолжительности «окна»

Оптимальная продолжительность технологического окна ($t_{\text{окна}}$) зависит с одной стороны от суммы единовременных затрат на ремонты пути, а с другой – от изменения потерь от задержек поездов (дополнительных остановок и стоянок), изменения графика их движения и маршрутов следования в период выделения технологического окна и после его окончания и расходов в инфраструктуре в части зависящей от размеров движения. С увеличением размеров движения характеризующая их зависимость принимает нелинейный характер, который определяется тангенсом угла наклона касательной к кривой (β). Поиск глобального оптимума осуществляется графоаналитическим методом (рисунок 2).

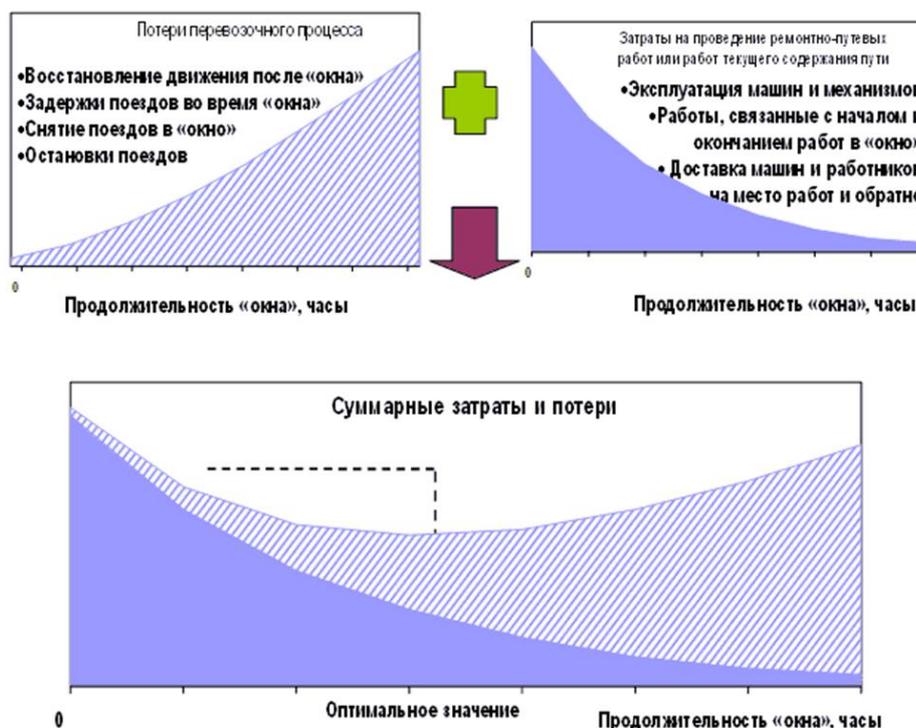


Рисунок 2. Концепция оптимизации при определении рациональной продолжительности технологического окна

Определение единовременных затрат на ремонт пути при выборе продолжительности технологического окна для путевых работ

Задача состоит в определении минимума затрат в технологическое окно на производство ремонта пути, потерь перевозочного процесса и дополнительных расходов инфраструктуры в части зависящей от размеров движения.

При определении суммы единовременных затрат рассматривается стоимость ремонта пути на конкретном участке на основании сметных расчётов (или калькулирования), потерь перевозочного процесса и дополнительных расходов инфраструктуры, приходящихся на расчетный участок [5].

При определении составляющих затрат, в отличие от известных рекомендуемых их составляющих [6], учитывается, что для структур, выведенных из состава ОАО «РЖД» не предусматриваются их финансирование (инвестирование).

В частности, в разрабатываемой методике не предусматривается инвестирование в отдельные структуры вагонного хозяйства, например, в приобретение новых вагонов, а также в организацию их ремонтной базы.

Затраты в путевое хозяйство определяются или с помощью расходных ставок, приходящихся на один т·км брутто или с помощью единичных затрат путевого хозяйства, приходящихся на единицу грузонапряженности (руб./т·км брутто в год) с учётом среднестатистической вероятности риска отказа технических средств путевого хозяйства.

Единичные затраты в путевое хозяйство определяются зависимостью, (2):

$$Z_{nx} = \frac{C_{nx} \times K_{pc}}{L_{p.np} \times \Gamma_{zp}} + (1 - R_{нд}) \times C_{отс}, \quad (\text{руб./т·км брутто}) \quad (2)$$

где: $R_{нд} = 1 - \frac{N_{деф.эл}^{отк}}{N_{км} \times n_i}$ (3)

где: C_{nx} - затраты путевого хозяйства на выполнение ремонта (единичная стоимость одного километра ремонта), руб.;

Γ_{zp} - грузонапряженность, млн. т·км брутто/км;

$L_{p.np}$ - приведенная длина расчетного участка, км;

K_{pc} - коэффициент корректировки расходной ставки или единичных норм;

$N_{деф.эл}^{отк}$ - количество отказов элементов (рельсов, шпал и скреплений) на длине диапазона пропущенного тоннажа в пределах всего рассматриваемого участка за один год, шт.;

$N_{км}$ - число километров в данном диапазоне тоннажа, штук;

n_i - количество испытаний (проверок состояния i -го элемента пути за год);

$R_{нд}$ - показатель оценки состояния пути, определяемый для каждого диапазона тоннажа по каждому элементу пути или среднестатистическая вероятность риска для рассматриваемого участка пути;

$C_{отс}$ - среднестатистическая стоимость отказа технических средств путевого хозяйства для рассматриваемого участка пути, руб./т·км брутто.

Для конкретных расчетов единичный норматив « C_{nx} » умножается на грузонапряженность « Γ » и эксплуатационную длину расчетного участка.

Коэффициент корректировки расходной нормы может определяться по зависимости (4):

$$K_{pc} = K_{nl} \times K_{скис} \times K_{зр} \times K_{сз} \times K_{нр} \times K_{р.д} \times K_{тт} \times K_{тек.код} \times K_{бс.п.} \quad (4)$$

где: K_{nl} - коэффициент, учитывающий условия плана линии;

$K_{скис}$ - коэффициент учёта скоростей движения пассажирских поездов для участков со скоростным движением пассажирских поездов;

$K_{сз}$ - коэффициент корректировки единичной нормы в зависимости от дальности перевозки сыпучих грузов;

$K_{р.д}$ - коэффициенты корректировки нормативов при различных режимах движения поездов на рассматриваемом участке;

$K_{нр}$ - коэффициент корректировки нормативов в зависимости от типа профиля;

$K_{тт}$ - коэффициент корректировки расходной нормы в зависимости от уклона;

$K_{бсн}$ - коэффициенты корректировки расходных нормативов для участков бесстыкового пути;

$K_{тек код}$ - коэффициент корректировки расходной нормы в зависимости от выполнения работ по текущему содержанию пути.

Затраты путевого хозяйства ($C_{пх}$) на выполнение ремонта (единичная стоимость одного километра ремонта) определяются по сметам (или калькуляциям), в которых учитываются особенности каждого конкретного участка или отдельного километра пути [7].

Выводы: Таким образом, на основании выполненных предварительных исследований установлено, что с учетом комплексного подхода в определении продолжительности технологических окон выявлено, что применение современных технологий и использование современных машин при производстве работ существенно сказывается на продолжительности оптимального технологического окна. В частности, для планово-предупредительного ремонта его продолжительность составляет порядка 4-х часов, рис.3.

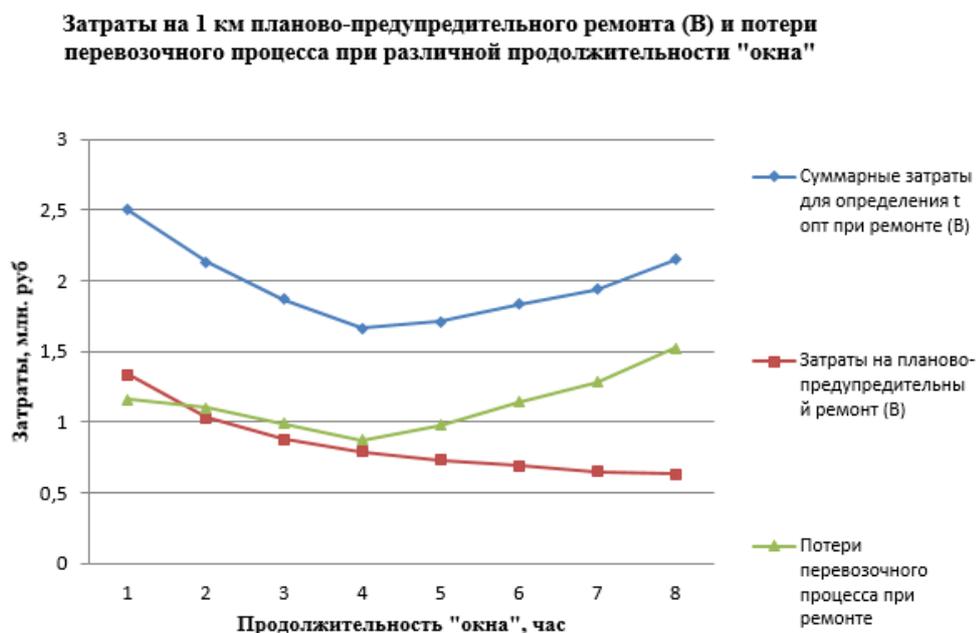


Рисунок 3. Определение оптимальной продолжительности «окна» при выполнении планово-предупредительного ремонта пути с учётом затрат смежных хозяйств инфраструктуры.

Список литературы

1. Кондаков Н.П., Шульга В.Я., Лященко В.Н. Проектирование организации и планирование путевого хозяйства. - М.: Транспорт, 1974. - 200 с.
2. Шульга В.Я. Как определять потери из-за задержки поездов // Путь и путевое хозяйство, 1973, № 7, С.25-27.
3. Тихонов К.К. Техничко-экономические расчеты в эксплуатации железных дорог. М.: Трансжелдориздат, 1962. 252с.
4. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция), утв. Минэкономки РФ, Минфин РФ, Государственный комитет РФ по строительной, архитектурной и жилищной политике № ВК 477 от 21 июня 1999 г./ М: Экономика, 2000 г., 421с.
5. Методические рекомендации по определению стоимости научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ. Распоряжение ОАО «РЖД» от 29 декабря 2009 г. № 271.
6. Tsvetkov V.Ya. Conceptual Model of the Innovative Projects Efficiency Estimation // European Journal of Economic Studies, 2012, Vol. (1), №1. – P.45-50.
7. Kovalenko Nikolay, Volkov Boris, Kovalenko Aleksandr, Kovalenko Nina (2020). Budgeting Direct Costs of Track Complex of JSC “Russian Railways” in the Light of Modern Classification of Railway Lines. / In: Popovic Z., Manakov A., Breskich V. (eds) VIII International Scientific Siberian Transport Forum. TransSiberia 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1115. Springer Cham05 January 2020, PP.177-183.