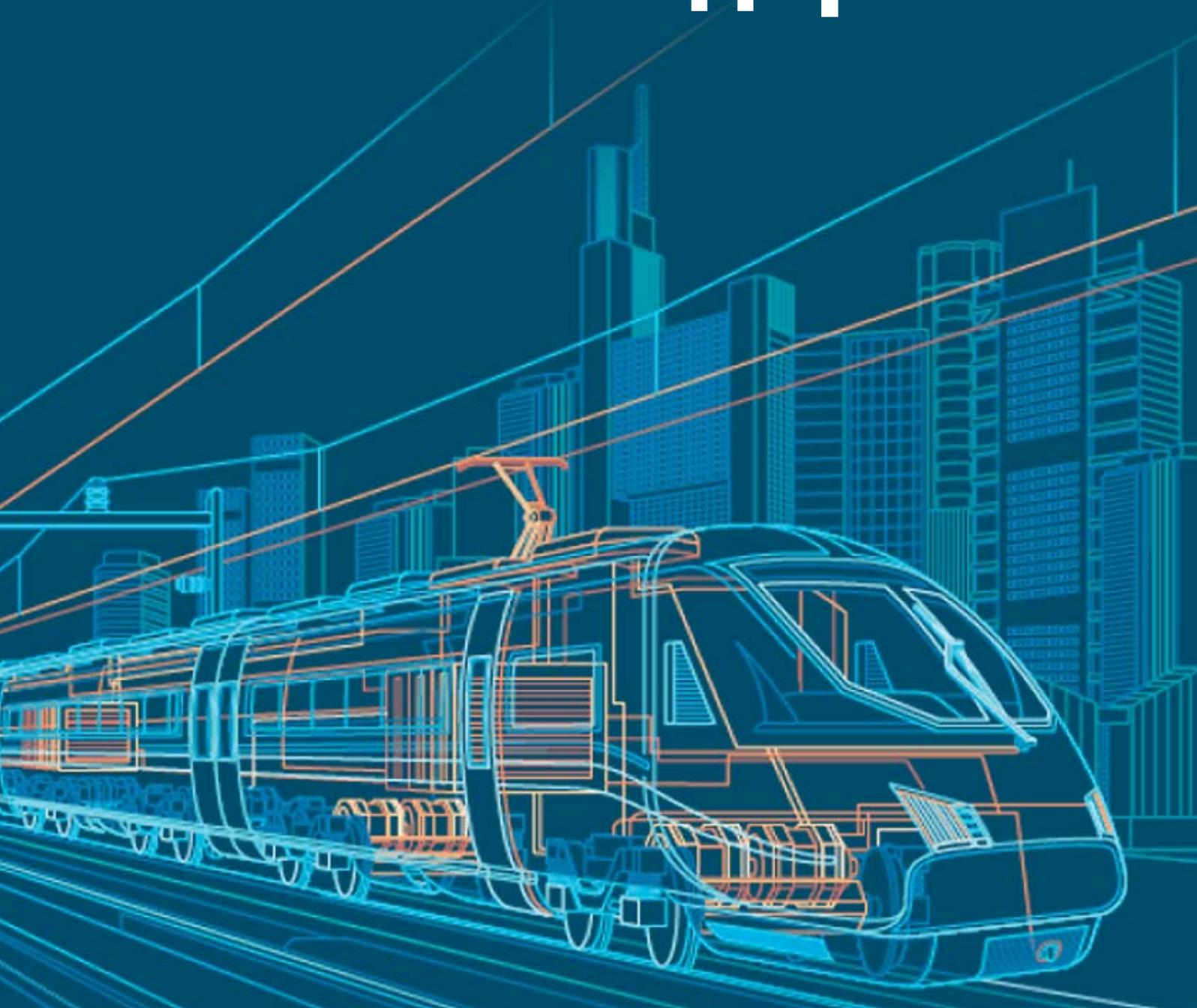


Наука и технологии железных дорог



**Стратегия развития
железных дорог**

**Интеллектуальные системы
и технологии на транспорте**

**Геоинформационные технологии
и системы на транспорте**

**Цифровые методы
на железнодорожном
транспорте**

**Организация работ
и безопасность движения
на транспорте**

3 стр.

Стратегия развития железных дорог

«Динамическая информационная ситуация в транспортной сфере»

Розенберг Е.Н., Озеров А.В., Денчик Е.В.

10 стр.

Стратегия развития железных дорог

«Ономасиологическое и семасиологическое моделирование

в геоинформатике транспорта»
Лёвин Б.А., Цветков В.Я.

17 стр.

Интеллектуальные системы и технологии на транспорте

«Субсидиарные транспортные потоки»
Козлов А.В.

23 стр.

Интеллектуальные системы и технологии на транспорте

«Ситуационный анализ транспортных киберфизических систем»
Титов Е.К.

30 стр.

Геоинформационные технологии и системы на транспорте

«Информационная безопасность геоинформационных моделей транспортных систем»

Беляков С.Л., Голова Н.А., Яворчук К.С.

38 стр.

Геоинформационные технологии и системы на транспорте

«Информационное моделирование для объектов транспорта»
Андреева О.А.

45 стр.

Цифровые методы на железнодорожном транспорте

«Большие данные в интеллектуальных транспортных системах»
Булгаков С.В.

53 стр.

Организация работ и безопасность движения на транспорте

«Жизненный цикл диспетчерских центров управления железнодорожными перевозками»
Озеров А.В., Бересток Н.О.

58 стр.

Организация работ и безопасность движения на транспорте

«Соблюдение технологии работ для повышения уровня технического состояния железнодорожной инфраструктуры»
Коваленко Н.И., Коваленко Н.А.

УДК 001.895; 629.066; 656.029; 656.3

Модели диспетчерского управления на железных дорогах мира

The World's Rail Operations Control Models

Розенберг Е.Н., д.т.н., профессор, первый заместитель генерального директора, АО «НИИАС»,
e-mail: Info@vniias.ru, Москва, Россия

Rozenberg E.N., Doctor of Technical Sciences, Professor, First Deputy Director General, JSC NIAS,
E-mail: info@vniias.ru, Moscow, Russia

Озеров А.В., начальник Международного управления, АО «НИИАС»,
e-mail: A.Ozerov@vniias.ru, Москва, Россия

Ozerov A.V., Head of International Department, JSC NIAS,
E-mail: A.Ozerov@vniias.ru, Moscow, Russia

Денчик Е.В., руководитель проектов Международного управления, АО «НИИАС»,
e-mail: E.Denchik@vniias.ru, Москва, Россия

Denchik E.V., Project Manager of International Department, JSC NIAS,
E-mail: E.Denchik@vniias.ru, Moscow, Russia



Аннотация

В статье анализируются общие тенденции развития диспетчерского управления железнодорожными перевозками и факторы, определяющие подходы к созданию диспетчерских центров управления перевозками (ДЦУП) в мире. На основе анализа современных ДЦУП определены основные модели диспетчерского управления в мире. В целях определения степени эффективности различных моделей ДЦУП с точки зрения основных показателей работы железнодорожного комплекса сформулированы подходы к сравнительному анализу ДЦУП и представлены результаты анализа. Даны рекомендации по дальнейшим исследованиям диспетчерского управления на железных дорогах.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, диспетчерский центр управления перевозками (ДЦУП), модели диспетчерского управления, эффективность, МСЖД.

Abstract

The article presents the general trends in the evolution of rail traffic control as well as the factors defining approaches to the creation of Operations Control Centers (OCC) in the world. Based on the analysis of up-to-date OCC, the main world models of traffic control are determined. The article proposes the approaches to the comparative analysis of OCC in order to determine the degree of OCC models efficiency in terms of the primary performance indicators of the railway complex. It gives the results of this analysis and recommendations for further research on rail traffic control.

Keywords: Railway transport, Rail Operations Control Centres (ROCC), rail traffic control models, efficiency, UIC.



Введение

В 2021 г. АО «НИИАС» в рамках проектной деятельности Международного союза железных дорог (МСЖД) была выполнена исследовательская работа по теме «Роль, методы построения и будущее центров управления перевозками в Азии» [1]. Данный проект, по сути, является первым глобальным международным исследованием, предусматривающим изучение различных аспектов создания и функционирования диспетчерских центров управления перевозками (ДЦУП) в мире. В проекте рассмотрены эволюция развития ДЦУП с точки зрения задач диспетчерского управления и функциональных возможностей с учетом таких факторов, как роль ДЦУП в решении задач управления перевозками, основные этапы жизненного цикла, эргономические принципы проектирования ДЦУП и технические требования к оборудованию центров управления.

По результатам проведенного исследования сформулированы общие закономерности в проектировании и создании ДЦУП в разных странах мира (модели ДЦУП), подходы к сопоставительному анализу центров управления перевозками, а также определены тенденции дальнейшего развития ДЦУП. В настоящей статье приведены некоторые результаты исследования в части описания моделей диспетчерского управления в разных странах, авторами предложены подходы к оценке эффективности ДЦУП.

Модели диспетчерского управления

На железных дорогах мира существуют разные модели диспетчерского управления. Они определяются особенностями конкретной железнодорожной сети и могут зависеть от целого набора переменных, например: географическое положение страны, размер железнодорожной сети, форма собственности компании-владельца железнодорожной инфраструктуры (государственная, частная или смешанная собственность), преобладающий тип перевозок (грузовое, пассажирское или смешанное движение), структура управления перевозочным процессом (централизованное, децентрализованное), объекты управления, уровень технической оснащенности железных дорог и так далее.

К примеру, в США значительная доля сети железных дорог принадлежит крупным частным грузовым компаниям, в границах которых и функционируют основные центры управления перевозками. Так, задачи ДЦУП компании BNSF в первую очередь определяются грузовой работой, и только во вторую очередь пропуском по сети BNSF пассажирских поездов компании Amtrak. В отличие от США, в Европе железные дороги принадлежат государству. При этом задачи диспетчерских центров определяются преимущественно пассажирским движением, а применительно к грузовому движению они могут ограничиваться ведением графика исполненного движения поездов (ГИД).

В ряде стран, включая Китай, Россию, Южную Корею, железнодорожный оператор и владелец инфраструктуры являются одной и той же компанией (как правило, государственной), в то время как в других странах железно-

дорожный рынок частично или полностью регулируется отдельными органами, отвечающими за инфраструктуру и управление движением.

Наиболее традиционной является трехуровневая структура диспетчерского управления, включающая сетевую, дорожный и линейный уровни и характерная в той или иной мере для многих стран. На сети железных дорог ОАО «РЖД» систему управления перевозками принято делить на четыре уровня, где к указанным трем уровням добавляется полигонный уровень. На каждом уровне диспетчерское управление имеет свои особенности, которые учитываются при создании информационно-управляющих систем ДЦУП разного уровня [2].

В результате проведенного сравнительного анализа были выделены следующие условные модели диспетчерского управления:

- «Американская модель»: ДЦУП создается в границах крупных частных железнодорожных грузовых компаний, диспетчерский персонал сосредоточен в большом диспетчерском центре, который поддерживается вспомогательными центрами, при этом «американская модель» ДЦУП характеризуется увеличенной зоной управления по сравнению с другими моделями;
- «Европейская модель»: диспетчерское управление централизовано в рамках всей сети, двухуровневая структура управления (сетевой и региональные ДЦУП), региональный ДЦУП характеризуется уменьшенной зоной управления по сравнению с другими моделями и относительно небольшим объемом перевозок;
- «Китайская модель»: диспетчерское управление централизовано в рамках всей сети, двухуровневая структура управления (сетевой и региональные ДЦУП), региональный ДЦУП характеризуется увеличенным объемом перевозок;
- «Российская модель»: может характеризоваться как гибридная, объединяющая признаки и тенденции «американской и китайской моделей», но больше тяготеющая к «китайской модели».

Сравнительный анализ ДЦУП в мире

В исследовании была предпринята попытка проведения сравнительного анализа железных дорог общего пользования с точки зрения эффективности ДЦУП, определяемой на основе ключевых показателей работы железнодорожного комплекса.

Для анализа были выбраны страны с наиболее развитой железнодорожной сетью. В анализе использовались железные дороги следующих стран: США (BNSF, Union Pacific), Германия (DB), Австрия (ÖBB), Швейцария (SBB), Франция (SNCF), Испания (ADIF), ЮАР (Transnet Freight Rail, PRASA), Южная Корея (KORAIL), Россия (ОАО «РЖД»), Китай (CR).

Следует отметить, что в рассмотренных странах не вся железнодорожная сеть «охвачена» ДЦУП. К примеру, во Франции 1500 постов централизова- >>>

Таблица 1.

Исходные данные для оценки взаимосвязи средней загрузки сети и количества ДЦУП

Наименование страны	Наименование компании	T_{n1} , т-км млн	T_{n2} , пасс.-км млн	L_n , тыс. км	N
США	BNSF	970 882	-	52,30	5
	Union Pacific	618 170	-	57,94	4
Германия	DB	85 005	85 785	33,40	7
Франция	SNCF	32 039	107 920	28,00	16
Испания	ADIF (RENFE)	6 201	27 263	15,39	22
Австрия	ÖBB	24 286	11 607	4,88	5
Швейцария	SBB	16 377	19 607	3,26	4
ЮАР	Transnet	140 000	-	20,95	4
	PRASA	-	14 269	2,23	1
Южная Корея	Korail	7 878	23 002	4,08	5
Китай	CR	2 294 814	1 438 606	146,00	19
Россия	РЖД	2 601 900	133 400	85,60	16

Таблица 2.

Результаты расчета средней загрузки сети

Наименование страны	Наименование компании	Средняя загрузка сети (D_n), млн т на 1 км в год
США	BNSF	18,6
	Union Pacific	10,7
Германия	DB	7,70
Франция	SNCF	8,90
Испания	ADIF (RENFE)	3,90
Австрия	ÖBB	9,70
Швейцария	SBB	17,10
ЮАР	Transnet	6,70
	PRASA	12,80
Южная Корея	Korail	13,20
Китай	CR	35,40
Россия	РЖД	33,50

ции, которые объединяются в 16 ДЦУП, обеспечивают управление движением поездов на 14 тыс. км (из 30 тыс. км) основной железнодорожной сети Франции, на которые приходится 90 % всех железнодорожных перевозок страны. Однако в анализе данный фактор не учитывался.

Сетевые ДЦУП не учитывались ввиду того, что они, как правило, выполняют функции координации и мониторинга. В случае, если региональные ДЦУП отсутствовали, то единственный сетевой ДЦУП, из которого осуществлялось управление движением поездов, рассматривался как региональный ДЦУП. На первом этапе был произведен анализ взаимосвязи таких параметров, как средняя загрузка сети и количество ДЦУП.

Показатель «эффективности» железнодорожной сети с точки зрения перевезенных грузопассажиров на 1 км пути в год рассчитывался по формуле:

$$D_n = (T_{n1} + C \cdot T_{n2}) / L_n,$$

где D_n — показатель «производительности» или «загрузки» (*network traffic density*) железнодорожной сети, т на 1 км пути; T_{n1} — годовой грузооборот железнодорожной сети, т-км; T_{n2} — годовой пассажирооборот железнодорожной сети, пасс-км; L_n — протяженность железнодорожной сети, км; C — коэффициент приведения пассажирооборота к эквиваленту грузооборота, $C=2$.

Для проведения оценки были взяты исходные данные за 2019 г. (как наиболее полные), которые приведены в Табл. 1, где N означает количество ДЦУП.

В Табл. 2 приведены результаты расчета с точки зрения перевезенных грузопассажиров на 1 км сети.

На диаграмме (Рис. 1) изображены железнодорожные сети в соответствии с их средней «загружен-»



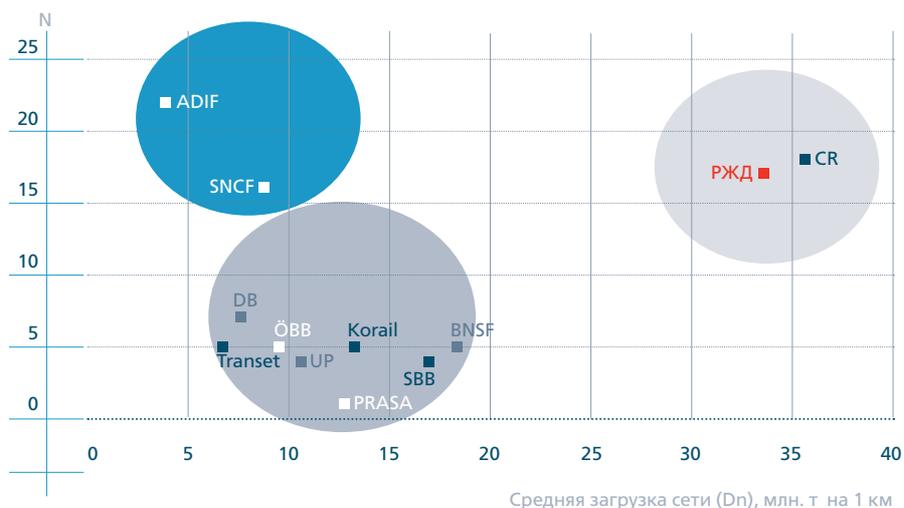


Рисунок 1. Соотношение между количеством ДЦУП на сети и средней загрузкой сети

Таблица 3. Исходные данные для оценки соотношения протяженности зоны управления одного ДЦУП и приходящегося на нее грузо-пассажирооборота

Наименование страны	Наименование компании	Средний пассажиро-грузооборот (на один ДЦУП), млн. т-км	Средняя протяженность зоны управления одного ДЦУП, тыс. км
США	BNSF	194,2	10,46
	Union Pacific	154,5	14,49
Германия	DB	36,7	4,77
Франция	SNCF	15,5	1,75
Испания	ADIF (RENFE)	2,8	0,70
Австрия	ÖBB	9,5	0,98
Швейцария	SBB	13,9	0,82
ЮАР	Transnet	28,0	4,19
	PRASA	28,5	2,23
Южная Корея	Korail	10,8	0,82
Китай	CR	287,3	7,86
Россия	РЖД	179,3	5,34

ностью» и количеством ДЦУП. В целях определения наличия взаимосвязи между данными параметрами был проведен корреляционный анализ. Полученный коэффициент корреляции ($r=0,3$) свидетельствует об отсутствии заметной взаимосвязи между средней «загруженностью» сети и количеством ДЦУП. Однако на диаграмме можно различить несколько групп железнодорожных сетей, расположенных в разных углах области построения.

В первую группу (отмечено желтым цветом) входят малозагруженные сети, имеющие большое количество ДЦУП.

Во вторую группу (отмечено зеленым цветом) входят высокозагруженные сети, имеющие большое количество ДЦУП. В третью группу (отмечено синим цветом) входят малозагруженные сети, имеющие небольшое количество ДЦУП. Дальнейшими направлениями исследования могут быть определение характеристик, присущих каждой группе железнодорожных сетей, с учетом дополнительных параметров моделей управления перевозками и особенностей использования ДЦУП.

Исходные данные для проведения анализа представлены в Табл. 3. >>>

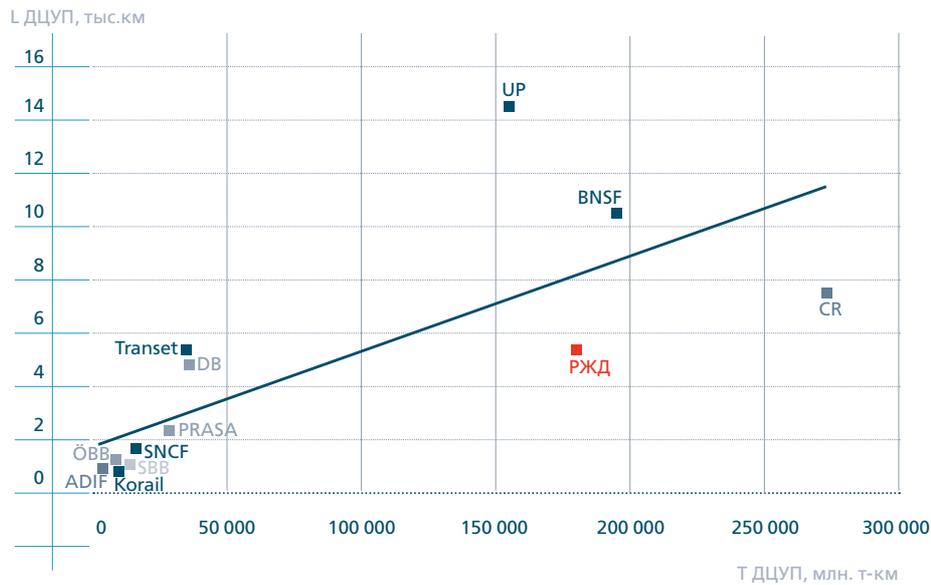


Рисунок 2.

Соотношение между протяженностью зоны управления одного ДЦУП и пассажирогрузооборотом, приходящимся на один ДЦУП

Полученная диаграмма (Рис. 2) демонстрирует железнодорожные сети в соответствии со средней протяженностью зоны управления одного ДЦУП и средним пассажирогрузооборотом, приходящимся на один ДЦУП. Для определения наличия взаимосвязи между указанными параметрами был также проведен корреляционный анализ. Полученный коэффициент корреляции ($r=0,75$) может потенциально говорить о некоторой взаимосвязи между средней протяженностью зоны управления одного ЦУП и средним пассажирогрузооборотом, приходящимся на один ЦУП.

Из графика можно сделать вывод, что компаниями BNSF, Union Pacific, CR и РЖД достигнут большой уровень диспетчерской централизации управления движением поездов, поскольку один региональный ДЦУП контролирует большую протяженность железнодорожной сети с большим пассажирогрузооборотом. При этом «американская модель» диспетчерского управления характеризуется увеличенной зоной управления ДЦУП по отношению к другим моделям, а «китайская модель» — увеличенным объемом перевозок в границах одного ДЦУП. «Российская модель» диспетчерского управления может, вероятно, характеризоваться как гибридная, объединяющая признаки и тенденции той и другой модели, но больше тяготеющая к «китайской модели».

Железные дороги европейских стран, а также Южной Кореи и ЮАР можно охарактеризовать как менее централизованные, поскольку один региональный ДЦУП управляет меньшей по протяженности железнодорожной сетью с меньшим пассажирогрузооборотом (исключение, очевидно, составляет Германия).

Данная классификация носит весьма условный характер и требует обязательного учета дополнительных факто-

ров, влияющих на управление перевозочным процессом. К примеру, вероятно, следует учитывать такие факторы, как «охват» железных дорог, управляемых из ДЦУП, протяженность диспетчерских участков, численность и номенклатура персонала ДЦУП, количество объектов управления, функциональные возможности напольного оборудования и программно-аппаратного комплекса, внедренного в ДЦУП, дополнительные (помимо диспетчерского управления) задачи, решаемые ДЦУП и пр.

Подход к оценке производительности ДЦУП

Если рассматривать ДЦУП с точки зрения производственных показателей, вероятно, можно сравнить существующие в мире ДЦУП, проведя оценку влияния ДЦУП на перевозочный процесс в терминах «ключевого показателя деятельности» (КПИ). В классическом понимании КПИ является метрической системой оценки показателей эффективности работы предприятия, учитывающей общую производительность в соответствии с определенной шкалой. В данном случае КПИ рассчитывается по формуле, в которой все показатели усредненные, а пассажирооборот приведен к грузообороту:

$$I_0 = \frac{L_1}{L_2} + \frac{D_1}{D_2} + \frac{T_1}{T_2},$$

где I_0 — ключевой показатель деятельности ДЦУП (КПИ); L_1 — протяженность зоны управления ДЦУП (тыс. км); L_2 — протяженность зоны управления ДЦУП в выборке (тыс. км); D_1 — загрузка инфраструктуры, управляемой ДЦУП (т на 1 км); D_2 — загрузка инфраструктуры, управляемой ДЦУП в выборке (т на 1 км); >>>

Таблица 4.
Обобщённые данные расчета КРІ ДЦУП

Наименование страны	Наименование компании	N	Средняя протяженность зоны контроля ДЦУП, тыс. км	L_1	Средняя годовая загрузка сети, млн. т на 1 км	D_1	Грузооборот, приходящийся на ДЦУП, т-км	T_1	КРІ ДЦУП
США	BNSF	5	10,46	2,31	18,6	1,25	194 176,40	2,45	6,01
	Union Pacific	4	14,49	3,20	10,7	0,72	154 542,50	1,95	5,87
Германия	DB	7	4,77	1,05	7,7	0,52	36 653,57	0,46	2,03
Франция	SNCF	16	1,75	0,39	8,9	0,60	15 492,44	0,20	1,18
Испания	ADIF (RENFE)	22	0,70	0,15	3,9	0,26	2 760,32	0,03	0,45
Австрия	ÖBB	5	0,98	0,22	9,7	0,65	9 500,00	0,12	0,99
Швейцария	SBB	4	0,82	0,18	17,1	1,15	13 897,75	0,18	1,51
ЮАР	Transnet	4	4,19	0,92	6,7	0,45	35 000,00	0,44	1,82
	PRASA	1	2,23	0,49	12,8	0,86	28 538,00	0,36	1,71
Южная									
Корея	Korail	5	0,82	0,18	13,2	0,89	10 776,40	0,14	1,21
Китай	CR	19	7,86	1,74	35,4	2,38	272 211,89	3,43	7,55
Россия	РЖД	16	5,34	1,18	33,5	2,26	179 293,75	2,26	5,69

Таблица 5.
Ранжирование показателей КРІ

Значения по шкале Харрингтона	Значения по модифицированной шкале	Оценка показателей КРІ
1,00 — 0,80	Более 6,04	Очень высокий
0,80 — 0,64	6,04-4,83	Высокий
0,64 — 0,37	4,82-2,79	Средний
0,37 — 0,20	2,78-1,51	Низкий
0,20 и менее	Менее 1,51	Очень низкий

T_1 — грузооборот, приходящийся на ДЦУП (в млн т-км);
 T_2 — грузооборот, приходящийся на ДЦУП в выборке (в млн т-км).

Следует уточнить, что показатели L_1 , D_1 и T_1 рассчитываются по формулам: $L_1=L_n/N$, $D_1=T_n/L$, $T_1=T_n/N$, а значения L_2 , D_2 , T_2 рассчитываются как средние арифметические простые числа.

Итоговый расчет КРІ по ДЦУП в разных странах представлен в Табл. 4.

Из расчетов следует, что максимальный показатель КРІ составляет 7,55. Для построения метрической системы оценки (ранжирования) показателей КРІ можно воспользоваться шкалой Харрингтона, приняв в расчет полученное максимальное значение КРІ.

Итоговая модифицированная шкала с оценкой расчетных показателей показана в Табл. 5.

Как видно из Табл. 4, четыре железнодорожные сети заметно отличаются от всей остальной выборки. С учетом полученного максимального значения КРІ и предлагаемой системы ранжирования, полученные результаты

«рейтинга эффективности» ДЦУП по странам выборки представлены в Табл. 6.

Приведенные данные не позволяют провести строгий математический анализ ввиду их недостаточности в открытых источниках, но могут служить основой для определения направлений дальнейших изысканий. По сути, задача сравнительного анализа эффективности ДЦУП разных стран является многокритериальной и требует не только более полного набора достоверных данных, но и использования факторного анализа.

Заключение

В дальнейших исследованиях роли и эффективности ДЦУП в разных моделях диспетчерского управления необходимо значительно расширить критерии оценки ДЦУП. Дальнейшие исследования должны учитывать, как минимум, следующие аспекты: >>>

Таблица 6.
Оценка уровня эффективности ДЦУП

Наименование страны	Наименование компании	Кол-во ДЦУП	L1	D1	T1	KPI ДЦУП	Рейтинг
США	BNSF	5	2,31	1,25	2,45	6,01	2
	Union Pacific	4	3,20	0,72	1,95	5,87	3
Германия	DB	7	1,05	0,52	0,46	2,03	5
Франция	SNCF	16	0,39	0,60	0,20	1,18	10
Испания	ADIF (RENFE)	22	0,15	0,26	0,03	0,45	12
Австрия	ÖBB	5	0,22	0,65	0,12	0,99	11
Швейцария	SBB	4	0,18	1,15	0,18	1,51	8
ЮАР	Transnet	4	0,92	0,45	0,44	1,82	6
	PRASA	1	0,49	0,86	0,36	1,71	7
Южная							
Корея	Korail	5	0,18	0,89	0,14	1,21	9
Китай	CR	19	1,74	2,38	3,43	7,55	1
Россия	РЖД	16,00	1,18	2,26	2,26	5,69	4

- количество и протяженность диспетчерских участков, а также их загруженность;
- минимальная и максимальная нагрузка диспетчера, связанного с управлением движением поездов;
- территориальное размещение центра управления перевозками;
- структура краткосрочного планирования перевозок и определение на данный объем диспетчерского персонала;
- системы автоматизации диспетчерского контроля и управления, в том числе система автодиспетчера.

Несмотря на отмеченные различия моделей диспетчерского управления, следует подчеркнуть и наличие общей тенденции во всех развитых железнодорожных странах в сторону большей концентрации оперативного управления в диспетчерских центрах и усиления роли последних в структуре обеспечения устойчивости пе-

ревозочного процесса. В этом смысле еще больше возрастает значение такой функции современного ДЦУП, как ситуационная осведомленность, и — как ее продолжение — функции прогноза, реализуемой на основе методов предиктивной аналитики. Кроме того, развитие ДЦУП увязывается с задачами повышения производительности труда на железнодорожном транспорте и оптимизации капитальных и эксплуатационных затрат, связанных с обеспечением перевозочного процесса.

В целом, можно сказать, что развитие современных диспетчерских центров управления идет в направлении общего целевого состояния, которое характеризуется как ДЦУП 4.0 [3]. Данная тенденция также должна учитываться при оценке эффективности ДЦУП и актуализации требований к ДЦУП в рамках развития и совершенствования существующей системы диспетчерского управления. ■

Список литературы

1. Research Project “Role, Design Methods and Future of Rail Operations Control Centers (Ctrl4Rail)”. UIC, 2021. Препринт.
2. Озеров А.В. Информационные технологии управления перевозками / Озеров А.В., Дроздов А.В., Фоменков Д.Ю., Бересток Н.О. // Железнодорожный транспорт. — 2021. № 12. — С.32-34.
3. Розенберг Е.Н. Центры управления перевозками: эволюция и целевое состояние / Е.Н. Розенберг, А.В. Озеров, Н.О. Бересток // Наука и технологии железных дорог. — 2021. № 3. — С.9-14.

УДК 523.21

Ономасиологическое и семасиологическое моделирование в геоинформатике транспорта

Onomasiological and Semasiological Modeling in Transport Geoinformatics

Лёвин Б.А., д.т.н., профессор, Президент, Российский университет транспорта, РУТ (МИИТ),
E-mail: lyevin@rut-miit.ru, Москва, Россия

Lyovin B.A., D.ofSci(Tech), Professor, President, Russian University of Transport, RUT (MIIT),
E-mail: lyevin@rut-miit.ru, Moscow, Russia

Цветков В.Я., д.т.н., профессор, начальник научного отдела, АО «НИИАС»,
E-mail: cvj2@mail.ru, Москва, Россия

Tsvetkov V.Ya., D.ofSci.(Tech), Professor, Head of Scientific Department, JSC "NIIAS",
E-mail: cvj2@mail.ru, Moscow, Russia

Аннотация



В работе исследуются новые технологии пространственного моделирования объектов транспортной инфраструктуры: семасиологическое моделирование и ономасиологическое моделирование. Идеи моделирования взяты из области лингвистики. В области логики ономасиологию и семасиологию можно сопоставить с дедукцией и индукцией. Ономасиология направлена от общего к частному или «сверху вниз». Семасиологическое моделирование направлено от частного к общему или «снизу-вверх». Источником моделирования является идея, на основе которой формируют проект. Показано значение информационных единиц как основы композиционного моделирования в обеих технологиях. Описаны принципы пространственного семасиологического моделирования. Показаны примеры применения технологий.

Ключевые слова: транспорт, геоинформатика транспорта, моделирование, пространственное моделирование, ономасиология, семасиология, ономасиологическое моделирование, семасиологическое моделирование.

Abstract



The article explores new technologies for spatial modeling of transport infrastructure objects: semasiological modeling and onomasiological modeling. Modeling ideas are taken from the field of linguistics. In the field of logic, onomasiology and semasiology can be compared with deduction and induction. Onomasiology is directed from the general to the particular or "top down". Semasiological modeling is directed from the particular to the general or "bottom up". The source of modeling is the idea on the basis of which the project is formed. The importance of information units as the basis of compositional modeling in both technologies is shown. The principles of spatial semasiological modeling are described. Examples of technology application are shown.

Keywords: transport, transport geoinformatics, modeling, spatial modeling, onomasiology, semasiology, onomasiological modeling, semasiology modeling. >>>

Введение

Геоинформатика и геоинформатика транспорта основана на интеграции наук и переносе знаний. Достаточно распространен перенос методов лингвистики и семантики в область технических наук. Существует положительный опыт применения ономазиологического моделирования в информатике [1]. Ономазиология и семасиология [2, 3] в лингвистике представляют собой связанные направления. Вполне логично, что и в геоинформатике транспорта они также связаны. Данная статья содержит исследование по применению ономазиологического и семасиологического подхода для моделирования в геоинформатике транспорта. Это дает основание в новом аспекте описать геоинформационное моделирование в геоинформатике транспорта.

Ономазиология и семасиология в как логические процедуры

В области логики моделирования ономазиология и семасиология можно сопоставить с дедукцией и индукцией. Ономазиология направлена от общего к частному. На рис.1 дана схема ономазиологического моделирования в транспортной геоинформатике. Оно происходит в реальном поле и в информационном поле. Принцип моделирования «сверху вниз». Ономазиология ведёт исследования объекта или сущности реального поля к моделированию этой сущности средствами геоинформатики.

Исходным объектом ономазиологического моделирования является реальный объект в реальном поле. Ономазиологическое моделирование происходит >>>



Рисунок 1. Ономазиологическое моделирование в транспортной геоинформатике



Рисунок 2. Семасиологическое моделирование в транспортной геоинформатике

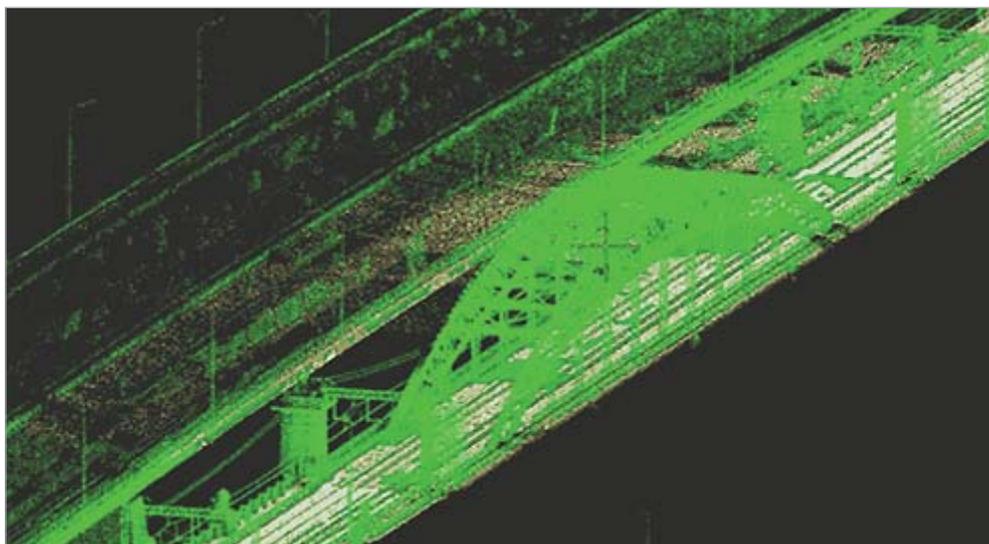


Рисунок 3.

Первичная пространственная модель, полученная на основе МЛС

при переходе из реального поля в информационное поле. На основе измерений в реальном поле собирают совокупность параметров и связей. После этого начинается параметрическое моделирование, после которого совокупность параметров преобразуется в целостную модель. Эта модель является параметрической. Если существует информационный язык или алфавит из информационных единиц, то проводят композиционное моделирование. Модель преобразуют в соответствии с законами компьютерной лингвистики в модель, образованную информационными единицами. Эта модель является параметрической. Она хорошо сопоставима с другими композиционными моделями. Параметрическая модель является плохо сопоставимой. В транспортной геоинформатике онасиология проводит исследование от общего (пространственный объект) к частному (композиционная модель). На рис.2 приведена схема семасиологического моделирования.

Это моделирование осуществляется «снизу-вверх». Источником является идея, на основе которой формируют концептуальную модель или информационную конструкцию. При наличии алфавита информационных единиц производят первое композиционное моделирование, а затем агрегативное моделирование, после которого концептуальная модель предстает в виде агрегативных моделей. После создания набора агрегативных моделей проводят второе композиционное моделирование, которое формирует итоговую композиционную модель в виде совокупности агрегатов (блоков) и информационных единиц (элементов) [4]. Все семасиологическое моделирование проводят в информационном поле.

Принципы семасиологического моделирования

Семасиологическое моделирование в транспортной сфере можно обозначить термином *пространственное семасиологическое моделирование*. Существует ряд принципов пространственного семасиологического моделирования.

Первый принцип системный [5]. Он требует построения модели на основе системных принципов и формирование по возможности модели как целостной системы. Основным принципом теории систем является эквивалентность, которая порождает необходимость идентифицировать различные конфигурации элементов системы. Эта идентификация приводит к построению желаемого состояния системы или к желаемому построению прикладной системы [6]. Системный подход позволяет понять факторы или необходимые условия, объясняющие наличие или отсутствие этого состояния.

Второй принцип — интеграционный. Он требует формирования и использования интегрированных информационных и геоинформационных моделей [7, 8]. Этот принцип требует также интеграции ресурсов при моделировании.

Следующий принцип композиционный или базовых элементов. Семасиология основана на единицах, т.е. применение информационных единиц [9-11] является обязательной процедурой геоинформационного семасиологического моделирования. Композиционный принцип требует построения моделей с использованием языка моделирования в виде информационных единиц. Для карты таким языком являются картографические условные знаки. Каждый знак является информационной **»»**

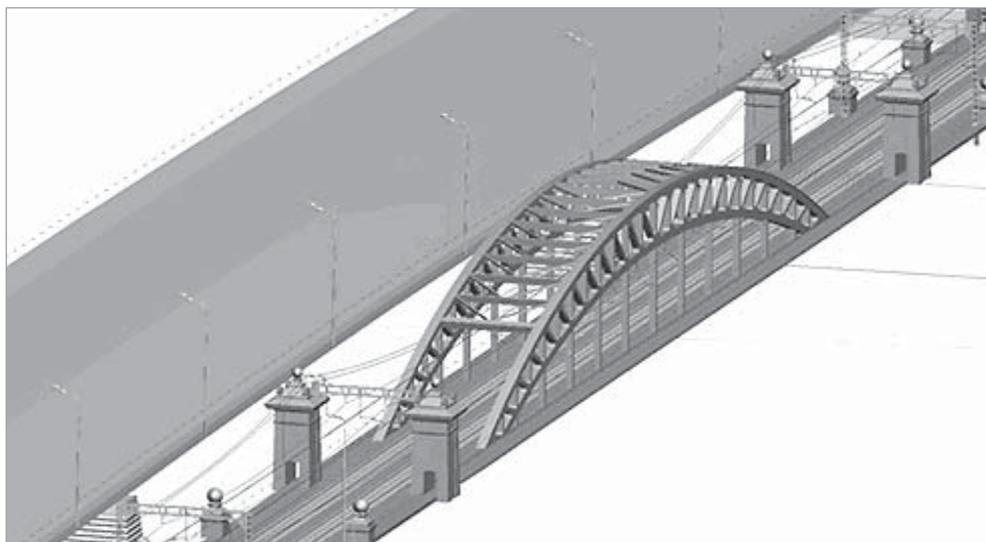


Рисунок 4.
Пространственная модель, полученная на основе ономасиологического моделирования

единицей. Для трехмерных моделей применяют трехмерные информационные единицы [4].

Следующий принцип ресурсный. Он требует создания и использования информационных ресурсов [12] при геоинформационном семасиологическом моделировании.

Геоинформатика транспорта характеризуется наличием ситуаций и изменчивостью ситуаций, в которых необходимо проводить моделирование. Это определяет наличие ситуационного принципа. Этот принцип состоит в том, что необходимо строить модели информационных ситуаций [13], проводить их систематику [14] и проводить ситуационное геоинформационное моделирование [15, 16].

Следующий принцип комплементарности моделирования. Он состоит в том, что геоинформационное семасиологическое моделирование должно быть комплементарно геоинформационному моделированию [17] и пространственному метамоделированию [18].

Применение ономасиологического и семасиологического моделирования

Примером применения ономасиологического моделирования на транспорте является технологии мобильного лазерного сканирования (МЛС) [19, 20]. Эту технологию применяют для съемки различных объектов транспортной инфраструктуры и построения пространственных моделей с использованием информационных единиц [21]. На рис.3 приведено облако точек, полученное в результате первичного лазерного сканирования объекта на участке МЦК.

На рис.4 приведена модель, полученная на основе ономасиологического моделирования этого же участка. При ее построении использовались дополнительные источники информации, такие как база данных трехмерных информационных единиц, дополнительные измерения и обследование местности.

Семасиологическое моделирование применяется при проектировании, выноса проекта в натуру и геоомониторинге [22] пространственных объектов. Наиболее актуально применение семасиологического моделирования при создании и применении цифровых двойников. Поэтому понятие семасиологического моделирования в этих случаях тесно связано с понятием сценариев. Использование идей репликации из теории баз данных, теории виртуализации предприятий и возможностей интернета вещей привело к формированию технологии Mutual mapping [23] («технология взаимного отображения») которая создает цифрового двойника (digital twin) реального предприятия в киберпространстве.

Цифровой двойник в киберпространстве — это аналог «зеркала» из теории реплицирования баз данных. Однако, в отличие от пассивного зеркала, в области баз данных или в пространстве данных, цифровой двойник предприятия является активной моделью в киберпространстве и активизирует все действия, происходящие в реальном пространстве предприятия. При этом осуществляется двустороннее «зеркалирование». Оно состоит в том, что информация из реального пространства предприятия переносится в киберпространство двойника и наоборот информация из киберпространства переносится в реальное пространство предприятия. Кибернетический двойник предприятия и его оригинал равноправны. Двойственность зеркалирования в том, что не только >>>

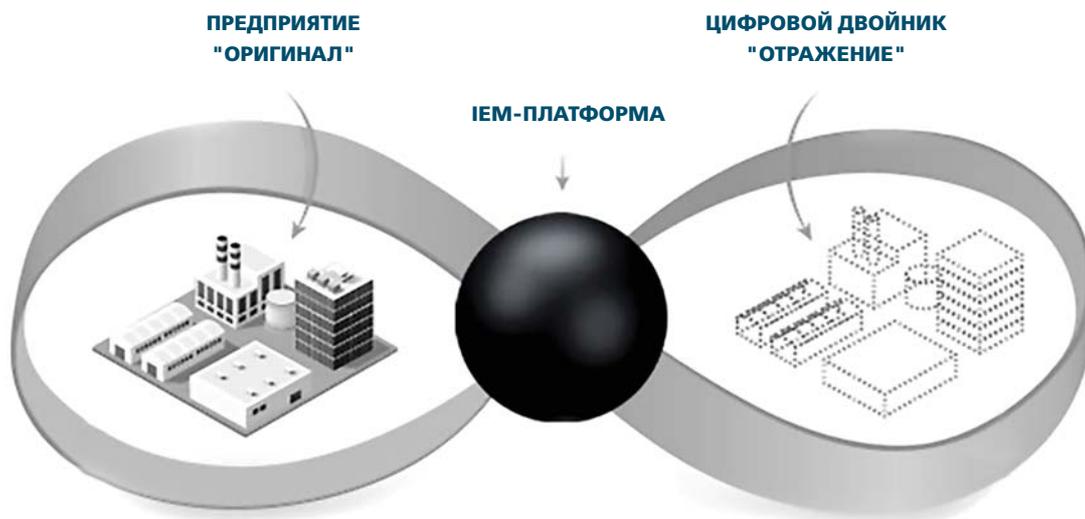


Рисунок 5.
Мета-система предприятия и его отражения

отражение изменяется синхронно с оригиналом, но и управляемое предприятие в режиме он-лайн копирует в себя изменения цифрового двойника [24]. Это отражается термином «взаимное отображение». Исследование технологии Mutual mapping и связанной с ней концепции систем IEM открывает дополнительные возможности для управления объектами транспортной инфраструктуры.

На рис.5 показаны принципы построения цифрового двойника. Предприятие в реальном пространстве и цифровой двойник в кибер пространстве образуют мета-систему [25].

Мета-система состоит из двух эквивалентных противостоящих систем, одной из которых является (А) реальная управляемая организация. Цифровая система (В) является управляющей. Состояние управляемого предприятия с течением времени изменяется под влиянием большого количества внешних и внутренних факторов — потребителей, конкурентов, поставщиков, сотрудников, автоматических компьютерных сервисов и самоуправляемого производственного и логистического оборудования.

Все изменения оригинала (ΔА) реплицируются в цифровой двойник (В) в онлайн-режиме. Значение семасиологии в том, что точность моделирования цифрового двойника зависит от точности семасиологического моделирования.

Цифровые двойники применяют на железнодорожном транспорте. В работе [26] описаны исследования по применению цифровых двойников в железнодорожном строительстве. Отмечено, что в настоящее время строительная отрасль на железнодорожном транспор-

те развивается в направлении цифровизации. От этапа планирования до этапа эксплуатации и технического обслуживания строительных проектов возник ряд технологий, ориентированных на цифровые методы. Среди них информационное моделирование зданий (BIM) показывает большую ценность в повышении эффективности и экономии затрат. Однако в области железнодорожного строительства BIM не может полностью удовлетворить требования управления инфраструктурой. Одним из требований является управление данными инфраструктуры в общей среде. Появление Digital Twin (DT) значительно способствовало цифровой трансформации строительной отрасли.

Эффективное управление транспортной инфраструктурой должно учитывать потребности каждого этапа, особенно этапа эксплуатации и технического обслуживания. Создание нового типа моделей связано с трехмерным моделированием (рис.4). Трехмерная модель — это не просто цифровая модель, а цифровая копия инфраструктуры. то есть фактически это цифровой двойник. Железнодорожная инфраструктура должна быть выражена уникальной моделью на протяжении всего ее жизненного цикла. В работе [26] обсуждается режим применения цифровых двойников в строительной отрасли и предлагаются соответствующие схемы для некоторых типичных сценариев применения в проектах строительства железных дорог, которые могут дать эффект для применения цифровых двойников в железнодорожном строительстве.

В другой работе [27] «цифровое дублирование самочувствительных структур с использованием стати- >>>

стического метода конечных элементов» дается решение применения семасиологического моделирования опять для реализации технологии цифровых двойников.

Отмечено, что геотехнический мониторинг [28] объектов транспортной инфраструктуры с использованием сенсорных сетей становится все более распространенным. Цифровой двойник в виде конечно-элементной модели, используемый при проектировании и строительстве, может помочь разобраться в огромном количестве данных, собранных датчиками. В этой статье демонстрируется применение статистического метода конечных элементов (*statFEM*), который обеспечивает последовательное и принципиальное средство для синтеза данных и физических моделей при разработке цифрового двойника самочувствительной структуры.

В качестве примера рассматривается стальной железнодорожный мост с инструментами длиной 27,34 м, расположенный вдоль магистрали Западного побережья недалеко от Стаффордшира в Великобритании. Используя данные о деформации, полученные от датчиков на волоконной брэгговской решетке (ВБР) в 108 точках вдоль пролетной конструкции моста, *statFEM* может предсказать «истинную» отклик системы с учетом неопределенностей в показаниях датчиков, приложенной нагрузки и ошибок неправильной спецификации конечно-элементной модели.

Распределения продольной деформации вдоль двух основных двутавровых балок измеряются и моделируются во время прохождения пассажирского поезда. Цифровой двойник, благодаря своему физическому компоненту, способен генерировать разумные прогнозы распределения деформации в местах, где нет данных измерений, в том числе в нескольких точках вдоль основных двутавровых балок и на элементах конструкции, на которых даже не установлены датчики. Последствия для долгосрочного мониторинга и оценки структурного состояния включают оптимизацию размещения датчиков и выполнение более надежного анализа «что, если» в местах и при сценариях нагрузки, для которых нет данных измерений. прикладная нагрузка и ошибки неправильной спецификации конечно-элементной модели.

Заключение

Применение технологий ономасиологическое и семасиологическое моделирование позволяет конструктивно исследовать и проектировать объекты и процессы в транспортной сфере. Семасиологическое моделирование ближе к информационному проектированию. Оно позволяет конструировать модели проектов на основе базовых информационных единиц. Ономасиологическое моделирование ближе к эмпирическому познанию. Оно позволяет объяснять объекты реальности и строить их модели. Пространственное семасиологическое моделирование допускает варианты, что важно для анализа и прогнозирования. Оно формирует метод пространственного анализа, основанный на применении информационных единиц. Оба метода дополняют друг друга и повышают эффективность моделирования и проектирования. ■

Список литературы

1. Павлов А.И. Ономасиологическое информационное моделирование // Славянский форум. -2019. — 3(25). — С.45-55.
2. Glynn D. Semasiology and onomasiology //Change of Paradigms—New Paradoxes. Recontextualizing Language and Linguistics. Berlin & Boston: De Gruyter Mouton. — 2015. — С. 47-79.
3. Serra G. The concept of onomasiology //The Bloomsbury Handbook of Lexicography. — 2022.
4. Андреева О.А. Систематика пространственных информационных единиц транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. 2021. Т. 5. №2 (18). — С.67-73
5. Цветков В.Я. Теория систем. — М.: МАКС Пресс, 2018. — 88 с.
6. Цветков В.Я. Прикладные системы // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. — 2005. — №3. — С.76- 85.
7. Коваленко А.Н. Системный подход создания интегрированной информационной модели // Славянский форум. — 2014. — 2 (6). — С.51 -55.
8. Цветков В.Я. Создание интегрированной информационной основы ГИС// Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. — 2000. — №4. — С.150-154.
9. Чехарин Е.Е. Информационные единицы в сложных системах // Образовательные ресурсы и технологии — 2017. -3 (20). — С.93-99.

10. Цветков В.Я. Информационные единицы как средство построения картины мира // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2014. — № 8 -4. — С. 36-40.
11. Раев В.К. Информационные единицы в информационном поле // Славянский форум. 2022, 1(35). С. 104-114.
12. Tsvetkov V. Ya. Information Models and Information Resources // European Journal of Technology and Design, 2016, 2 (12), p. 79-86.
13. Шайтура С.В. Информационная ситуация в геоинформатике // Образовательные ресурсы и технологии. — 2016. — №5 (17). — С.103-108.
14. Цветков В.Я. Систематика информационных ситуаций // Перспективы науки и образования. — 2016. — №5 (23). — С.64-68.
15. Бучкин В.А., Потапов А.С. Геоинформационное ситуационное моделирование // Славянский форум. -2020. — 2(28). — С.210-228.
16. Цветков В. Я. Ситуационное моделирование в геоинформатике // Информационные технологии. — 2014. — №6. — С.64-69.
17. Андреева О.А. Геоинформационное моделирование // Славянский форум. -2019. — 2(24). — С.7-12.
18. Зайцева О. В. Пространственное метамоделирование // Славянский форум. 2021, 3(33). С.57-68.
19. Андреева О. А. Применение мобильного лазерного сканирования для мониторинга объектов транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. — 2019. — 3(11). — С.61-74.
20. Farahani B. V. et al. A coupled 3D laser scanning and digital image correlation system for geometry acquisition and deformation monitoring of a railway tunnel //Tunnelling and Underground Space Technology. — 2019. — Т. 91. — С. 102995.
21. Андреева О. А. Информационные единицы в моделировании транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. — 2020. — 1(13). — С.57-68.
22. Маркелов В.М., Цветков В. Я. Геомониторинг // Славянский форум, 2015. — 2(8). — с.177-184.
23. Funke K., Banhatti R. D. Coupling model and MIGRATION concept—Equivalence and mutual mapping //Journal of non-crystalline solids. — 2007. — Т. 353. — №. 41-43. — С. 3845-3852.
24. Lenard M. J., Akhter S. H., Alam P. Mapping mutual fund investor characteristics and modeling switching behavior //Financial Services Review. — 2003.
25. Tsvetkov V.Ya., Shaytura S.V., Sultaeva N. L. Digital Enterprise Management in Cyberspace. / В сборнике Advances in Economics, Business and Management Research. Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference “Modern Management Trends and the Digital Economy: from Regional Development to Global Economic Growth” (MTDE 2020), 361-365,
26. Gu S. et al. Research on Application of Digital Twin in Railway Construction //International Conference on Electrical and Information Technologies for Rail Transportation. — Springer, Singapore, 2021. — С.467-475.
27. Febrianto E. et al. A Self-Sensing Digital Twin of a Railway Bridge using the Statistical Finite Element Method //arXiv preprint arXiv: 2103. 13729. — 2021.
28. Булгаков С.В. Геотехнический мониторинг транспорта // Наука и технологии железных дорог. 2021. Т. 5. №1 (17). — С.42-49.

УДК 378.147: 004.9

Субсидиарные транспортные потоки

Subsidiary Traffic Flows

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

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

Аннотация



Исследуются субсидиарные транспортные потоки, которые возникают при движении транспортных средств. Субсидиарные потоки на транспорте являются дискретными потоками. Для их оптимизации применяют методы дискретной оптимизации. Субсидиарные транспортные потоки можно рассматривать как системы группового движения. Кроме железнодорожного и автомобильного транспорта эти потоки образуют дроны и группы роботов. Элементами субсидиарных потоков являются подвижные объекты. Описываются синхронное, квазисинхронное и асинхронное движение объектов транспорта. Статья описывает примеры субсидиарных потоков. Сравняется свойство комплементарности (синхронности) и субсидиарности (частичной асинхронности). Вводится групповая характеристика потока модель вектора потока и вектора элементов потока. Эти вектора создают векторное поле субсидиарного потока.

Ключевые слова: транспорт, транспортные потоки, субсидиарные потоки, сложные системы, субсидиарность, субсидиарные системы, групповое поведение, групповой алгоритм, индивидуальный алгоритм, комплементарность.

Abstract

The article explores subsidiary traffic flows that occur when vehicles move. Subsidiary flows in transport are discrete flows. Discrete optimization methods are used for their optimization. Subsidiary traffic flows can be viewed as group traffic systems. In addition to rail and road transport, these flows form drones and groups of robots. Elements of subsidiary flows are moving objects. The article highlights and describes the synchronous, quasi-synchronous and asynchronous movement of transport objects. The article describes examples of subsidiary flows. The property of complementarity (synchronism) and subsidiarity (partial asynchrony) is compared. The article introduces a general dynamic characteristic of a vector flow. The article introduces a particular dynamic characteristic of the flow - the vector element of the flow. These vectors create the vector field of the subsidiary flow.

Keywords: transport, traffic flows, subsidiary flows, complex systems, subsidiarity, subsidiary systems, group behavior, group algorithm, individual algorithm, complementarity.



Введение

Субсидиарные потоки применяются в живом мире и в сфере транспорта. Субсидиарные потоки есть объективная необходимость живой и неживой природы. Примерами субсидиарных потоков являются стаи птиц [1] и стада диких животных, особенно, когда они мигрируют. Примерами субсидиарных потоков являются группы мобильных роботов [2]. Примерами субсидиарных потоков являются кибер-физические социальные системы [3, 4]. Субсидиарные потоки роботов имеют преимущества перед отдельными роботами из-за большего количества стратегий и методов управления. Субсидиарным потоком будем называть дискретный поток элементов, которые обладают возможностью согласованного и рассогласованного перемещения. Субсидиарные потоки могут быть рассмотрены как сложные системы [5]. Субсидиарные потоки могут быть рассмотрены как алгоритмические системы. Субсидиарные потоки, например, в мегаполисе, могут быть рассмотрены как сетевые системы. Это многообразие делает актуальным их исследование. Это определяет актуальность исследования субсидиарных потоков.

Синхронность и асинхронность движения

Синхронность и асинхронность движения в потоке связана с понятиями комплементарности и субсидиарности. Комплементарность [6] соответствует синхронности и отражает согласованность движения. По этому критерию различают полную комплементарность (синхронность) и частичную комплементарность (частичную синхронность). Субсидиарность [7] в движении отражает возможность рассогласованности движения. По этому критерию различают полную субсидиарность (асинхронность) и частичную субсидиарность (частичную асинхронность). Часто частичная субсидиарность и частичная комплементарность связаны в одной системе.

Субсидиарные потоки — это дискретные потоки, для которых характерно сочетание группового: частично синхронного движения и частично асинхронного движение. Чисто синхронного движения на транспорте не существует. Оно присутствует только на конвейерном производстве.

С позиций алгоритмов поведения и развития [8] субсидиарные потоки характеризуются двумя алгоритмами [9]: алгоритмами группового поведения и алгоритмами индивидуального поведения. Динамический баланс между этими алгоритмами составляет сущность функционирования субсидиарного потока. В нашем исследовании рассмотрим движение транспортных средств по трассе и в мегаполисе.

Комплементарность — это свойство системы, создающее возможность ее согласованного поведения в рамках группы. Субсидиарность — это свойство системы, создающее возможность ее независимого поведения в рамках группы или с выходом за рамки группы. Для субсидиарного потока существует три алгоритма: алгоритм поведения потока или группы, комплементарный алгоритм поведения элемента в группе, субсидиарный алгоритм поведения элемента в группе.

Основные свойства субсидиарных потоков

Субсидиарный поток обладает свойствами сложной системы [5]. Свойства субсидиарного потока делятся на общесистемные и частно-потоковые. Общие свойства потока связывают его со сложными системами и позволяют применять системный анализ. Частные свойства субсидиарного потока дают основание управлять им.

Общие системные свойства субсидиарного потока

Первое общее свойство субсидиарного потока — наличие структуры [10, 11]. Любая система существует в структурированной форме. Субсидиарный поток является структурированной системой. Субсидиарные потоки являются слабо структурированными системами. Это обусловлено наличием субсидиарности. Субсидиарные потоки (частицы) состоят из элементов.

Субсидиарные транспортные потоки состоят из мобильных объектов или элементарных систем. Субсидиарные транспортные потоки являются дискретными. Элементом субсидиарного потока является неделимая единица (элементарная система), которая в рамках данного потока не подлежит дальнейшему делению.

Элементарные системы (e_1, e_2, \dots, e_n) субсидиарного потока связаны и взаимодействуют между собой. Согласованность между элементами обеспечивают комплементарность субсидиарного потока. Общие характеристики субсидиарного потока дают в первую очередь обобщенные и групповые характеристики.

Общей характеристикой субсидиарного потока является вектор потока. Вектор R_f характеризует общее или среднее перемещение элементов потока, он характеризует направление потока в пространстве. Это направление может показываться прямой или кривой при криволинейном движении, это векторная характеристика. Модуль вектора потока R_f может характеризовать интенсивность или мощность потока, это скалярная характеристика.

Частно-потоковые свойства субсидиарного потока

Частно-потоковые свойства субсидиарного транспортного потока связаны с понятием вектор перемещения элементарных систем потока.

В силу наличия векторов любой субсидиарный поток является векторным.

С позиций системного анализа любой субсидиарный поток состоит из множества связанных элементарных систем и поэтому является сложной процессуальной системой.

В силу наличия общего вектора потока субсидиарный поток является целенаправленной системой.

Существуют вектора перемещения элементарных систем R_e . Они образуют векторное поле. На рис.1 показан субсидиарный поток транспортных средств (элементарных систем). >>>

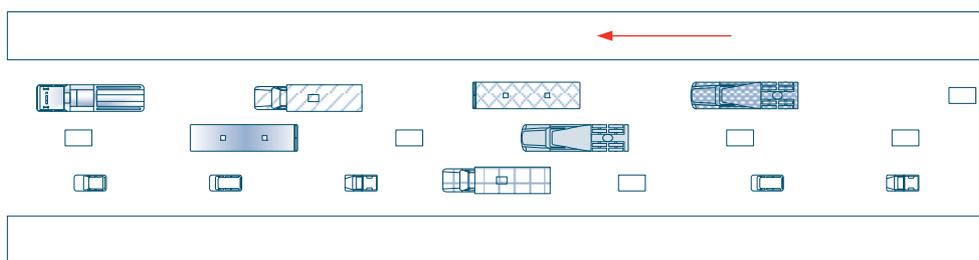


Рисунок 1.
Субсидиарный поток транспортных средств

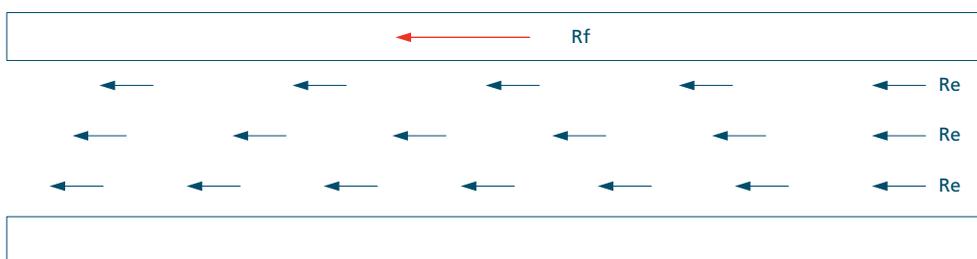


Рисунок 2.
Векторное поле субсидиарного потока на рисунке 1

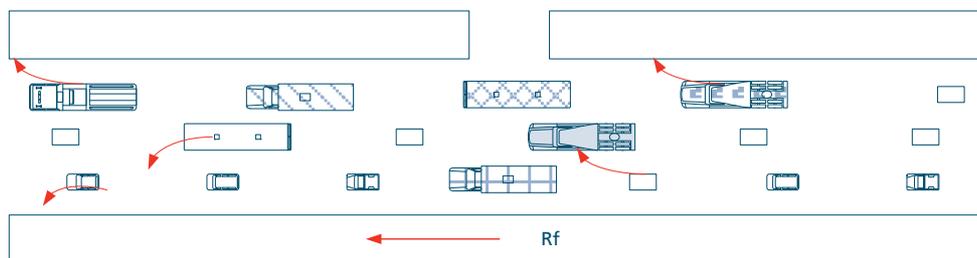


Рисунок 3.
Субсидиарный транспортный поток в условиях города

Рисунок 1 соответствует одностороннему трехполосному движению, например по шоссе. Его может характеризовать некий общий вектор перемещения R_f . Он показан на рисунке стрелкой. Если перейти к векторам перемещения элементарных систем, то получим схематический векторный рисунок 2. Эта векторная схема задает векторное поле.

На рис.2 изображены вектора перемещения элементарных систем Re , составляющих дискретный субсидиарный поток. Векторное поле субсидиарного потока на рис.2 описывает синхронное и комплементарное движение. Элементов субсидиарности и в этой схеме нет.

На рис.3 приведена схема движения с появлением субсидиарности. Она соответствует движению в городских условиях.

Для такого потока характерны перестроения и повороты. На рис.4 приведена соответствующая векторная модель такого потока.

В этой схеме элементы потока, имеющие вектора перемещения Re_1, Re_2, Re_3 , готовятся к перестроению вправо. Элементарные системы потока, имеющие вектора перемещения Re_4, Re_5 , готовятся к перестроению влево. С точки зрения гидродинамики перечисленные вектора вносят турбулентность в движение и нарушают комплементарность. На рис.5 показана еще более >>>

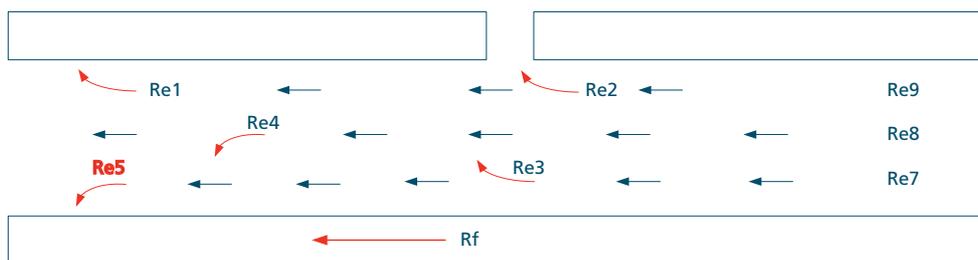


Рисунок 4. Векторная модель субсидиарного потока с перестроениями

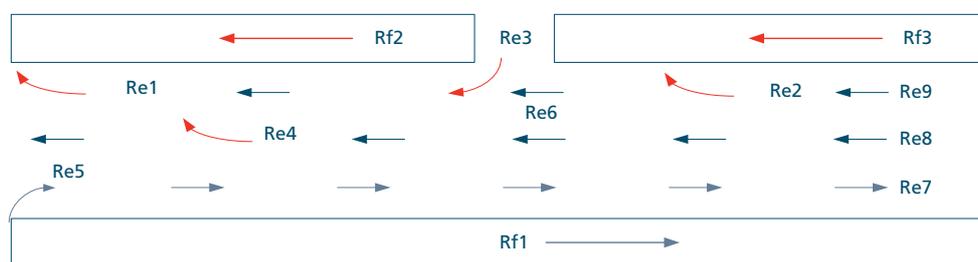


Рисунок 5. Векторная модель субсидиарного потока с двухсторонним движением

сложная ситуация двух стороннего движения. В этой схеме имеет три общих вектора перемещения потока Rf1, Rf2, Rf3 и множество векторов перемещения элементарных систем. Обращает на себя внимание объект с вектором перемещения Reб без стрелки. Это означает, что он не двигается, а пропускает объект с вектором перемещения Re3, который выезжает на главную дорогу.

Каждый объект субсидиарного потока имеет два вектора перемещения: вектор комплементарных действий Rc и вектор субсидиарных действий Rs. Общий вектор перемещения элемента потока определяется так.

$$Re = Rc + Rs, \tag{1}$$

Для схемы на рис.2 все Rs=0. Для схемы на рис.4 Rs1 ≠ 0, Rs2 ≠ 0, Rs3 ≠ 0, Rs4 ≠ 0, Rs5 ≠ 0. Для схемы на рис.5 вектора потоков Rf2, Rf3 — комплементарны между собой и не комплементарны по отношению к вектору Rf1.

Применение геоинформатики в субсидиарных потоках

Субсидиарные транспортные потоки являются дискретными и пространственными. Они требуют пространственного управления и применения методов геоинформатики.

Современное управление транспортом в условиях возрастания нагрузки и больших данных [12]) является интегральным. При анализе пространственных потоков используют ГИС. Для ГИС необходимо создавать специальные интегрированные модели [13].

Для управления субсидиарными потоками, особенно в условиях применения интеллектуальных систем необходимо создание среды поддержки [14]. Для управления субсидиарными потоками необходимо применять информационные модели и информационные ресурсы [15, 16].

При использовании ГИС для управления субсидиарными потоками необходимо применять геоинформационное моделирование [17, 18]. Геоинформационное моделирование и геоинформационные технологии служат основой поддержки принятия решений [19, 20] при управлении субсидиарными пространственными потоками. При анализе субсидиарных потоков, которые состоят из дискретных единиц, целесообразно применять методологию информационных единиц [21].

Для контроля субсидиарных потоков в пространстве необходимо применять геомониторинг [22]. При управлении субсидиарными потоками необходимо определять и анализировать состояние информационных ситуаций [23-25] в которых находятся элементы потока. Соответственно, в этих случаях необходимо применять ситуационное моделирование [26, 27]. В ходе исследования субсидиарных потоков возможно накопление опыта и формирование пространственных знаний [28, 29].



Заключение

Модель субсидиарных потоков удобна тем, что она позволяет с помощью векторной нотации изображать частное и групповое движение. Модель субсидиарных потоков позволяет изображать векторное поле группового движения. Модель субсидиарных потоков позволяет отображать характеристики группового движения и характеристики движения элементов потока. Субсидиарные потоки имеют элементы, которые могут вести себя комплементарно и субсидиарно. Субсидиарные потоки являются слабосвязанными системами систем, в которых элементарные системы взаимодействуют на основе мягких отношений, а не на основе жестких связей. Субсидиарность повышает производительность [30]. Поэтому субсидиарные потоки являются более эффективными в условиях помех и нестабильной внешней среды.

Субсидиарные потоки характеризует групповая сложность, которая меняется в зависимости от внешних условий. Такую сложность можно обозначить как ситуационная сложность. Она определяется сложностью вза-

имодействия элементов потока и зависит, в первую очередь, от субсидиарности элементов потока. Групповая сложность потока зависит еще от взаимодействия с внешней средой. Таким образом, групповая сложность имеет внутреннюю и внешнюю причины. Коллективное поведение в субсидиарном потоке возникает за счет уровня комплементарности элементов потока. Субсидиарные потоки обеспечивают адаптивность к изменениям внешней среды и решают задачи дискретной оптимизации.

Приложений для субсидиарных потоков много и в первую очередь это перспективные группы роботов. Перспективным направлением применения субсидиарных роевых систем являются спасательные операции. Группы роботов могут быть отправлены в труднодоступные для человека места. Перспективным направлением применения субсидиарных роевых систем являются интермодальные перевозки. Субсидиарные потоки являются актуальным направлением развития транспортных систем и требуют дальнейшего исследования. ■

Список литературы

1. Wang X., Lu J. Collective behaviors through social interactions in bird flocks //IEEE Circuits and Systems Magazine. — 2019. — Т. 19. — №. 3. — С. 6-22.
2. Павловский В. Е., Павловский В. В., Андреева М. В. Анализ связности карты стаей роботов с коммуникацией //Пятый Всероссийский научно-практический семинар " Беспилотные транспортные средства с элементами искусственного интеллекта"(БТС-ИИ-2019). — 2019. — С. 121-128.
3. Zhou Y. et al. Cyber-physical-social systems: A state-of-the-art survey, challenges and opportunities //IEEE Communications Surveys & Tutorials. — 2019. — Т. 22. — №. 1. — С. 389-425.
4. Zeng J. et al. A survey: Cyber-physical-social systems and their system-level design methodology //Future Generation Computer Systems. — 2020. — Т. 105. — С.1028-1042.
5. Цветков В.Я. Теория систем. — М.: МАКС Пресс, 2018. — 88с.
6. Потапов А. С. Субсидиарность и комплементарность интеллектуальных систем // Славянский форум. -2020. — 1(27). — С.77-86.
7. Козлов А. В. Анализ субсидиарных систем // Вестник МГТУ МИРЭА. 2019. № 69. С.160-167.
8. Моисеев Н. Алгоритмы развития. — М.: Наука, 1987. — 304с. Переиздана 2017, Издательством Litres.
9. Козлов А. В. Двух алгоритмическая система управления подвижными объектами // Наука и технологии железных дорог. — 2020. Т.4. — 1(13). — С.37-45.
10. Kathuria D., Bankar A. A., Bharatam P. V. "What's in a structure?" The story of biguanides //Journal of Molecular Structure. — 2018. — Т. 1152. — С.61-78.
11. Newton-Smith W. H. The structure of time. — Routledge, 2018.
12. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Информационные процессы в пространстве «больших данных» // Мир транспорта. 2017. — Т.15, №6(73). — С.20-30.
13. Цветков В.Я. Создание интегрированной информационной основы ГИС// Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофото-

- съемка. — 2000. — №4. — С.150-154.
14. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Среда поддержки интеллектуальных систем // Транспорт Российской Федерации. — 2011. -№ 6. — С.6-8.
 15. Цветков В.Я. Информационные модели и информационные ресурсы // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофото-съемка. — 2005. — №3. — С.85-91.
 16. Tsvetkov V. Ya. Information Models and Information Resources // European Journal of Technology and Design, 2016, 2 (12), p.79-86.
 17. Цветков В.Я. Основы геоинформационного моделирования // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. — 1999. — №4. — С.147 -157.
 18. Андреева О.А. Геоинформационное моделирование // Славянский форум. -2019. — 2(24). — С.7-12.
 19. Цветков В.Я. Применение геоинформационных технологий для поддержки принятия решений // Известия высших учебных заведе-ний. Геодезия и аэрофотосъемка. — 2001. — №4. — С.128-138.
 20. Бахарева Н. А. Поддержка принятия решений при оценке земель // Государственный советник. — 2015. — №1. — С.50-56.
 21. Цветков В.Я. Информационные единицы как средство построения картины мира // Международный журнал прикладных и фундамен-тальных исследований. — 2014. — № 8 -4. — С. 36-40.
 22. Маркелов В.М., Цветков В. Я. Геомониторинг// Славянский форум, 2015. — 2(8). — С.177-184.
 23. Ожерельева Т.А. Информационная ситуация как инструмент управления // Славянский форум, 2016. -4(14). — С.176-181.
 24. Цветков В.Я. Систематика информационных ситуаций // Перспективы науки и образования. — 2016. — №5 (23). — С.64-68.
 25. Павлов А.И. Пространственная информационная ситуация // Славянский форум, 2016. -4(14). — С.198-203.
 26. Цветков В. Я. Ситуационное моделирование в геоинформатике // Информационные технологии. — 2014. — №6. — С.64-69.
 27. Бучкин В.А., Потапов А.С. Геоинформационное ситуационное моделирование // Славянский форум. -2020. — 2(28). — С.210-228.
 28. Цветков В.Я. Формирование пространственных знаний: Монография. — М.: МАКС Пресс, 2015. — 68с.
 29. Lin J., Cao L., Li N. How the completeness of spatial knowledge influences the evacuation behavior of passengers in metro stations: A VR-based experimental study //Automation in Construction. — 2020. — Т. 113. — С. 103136.
 30. Geleilate J. M. G., Andrews D. S., Fainshmidt S. Subsidiary autonomy and subsidiary performance: A meta-analysis //Journal of World Business. — 2020. — Т. 55. — №. 4. — С. 101049.

УДК 001.98

Ситуационный анализ транспортных кибер-физических систем

Situational Analysis of Transport Cyber-Physical Systems

Титов Е.К., заместитель директора, ООО «Функция ИТ»,

E-mail: work_evgeniy@mail.ru, Белгород, Россия

Titov E.K., Deputy Director, «IT Function» LLC, E-mail: work_evgeniy@mail.ru, Belgorod, Russia.

Аннотация



В статье исследуется применение информационных ситуаций при использовании их в транспортных кибер-физических системах. Рассмотрены механизмы преобразования информационных ситуаций в полезную информацию для транспортных кибер-физических систем. Эти механизмы включают разнообразные сенсоры и специальные коммуникационные сети в сфере транспорта. Рассмотрено применение геоинформатики для задач транспортных кибер-физических систем. Приведена сенсорная структура транспортных кибер-физических систем. Статья анализирует различные сенсоры для управления транспортом и особенности их применения. Дается систематика транспортных сетей для подвижных объектов. Статья показывает необходимость применения информационной ситуации для управления движением с помощью транспортных кибер-физических систем.

Ключевые слова: транспорт, транспортные кибер-физические системы, интеллектуальные транспортные системы, сенсоры движения, информационная ситуация, сенсоры позиционирования, транспортные коммуникационные сети.

Abstract

The article explores the application of information situations when using them in transport cyber-physical systems. The mechanisms of transformation of information situations into useful information for transport cyber-physical systems are considered. These mechanisms include a variety of sensors and special communication networks in the field of transport. The application of geoinformatics for the problems of transport cyber-physical systems is considered. The sensory structure of transport cyber-physical systems is given. The article analyzes various sensors for transport management and features of their application. The systematics of transport networks for mobile objects is given. The article shows the need to apply the information situation for traffic control with the help of transport cyber-physical systems.

Keywords: transport, transport cyber-physical systems, intelligent transport systems, motion sensors, information situation, positioning sensors, transport communication networks.



Введение

Транспортные системы являются фундаментальной базой экономического роста всех стран. Тем не менее, многие транспортные сети по всему миру сталкиваются не только с неконтролируемым ростом интенсивности движения, но и ростом турбулентности движения, обусловленным такими причинами как: непредвиденные задержки движения, пробки в городах и на переездах увеличение выбросов, аварии, чрезвычайные ситуации и ухудшение погодных условий. Согласно отчету Техасского транспортного института, в Соединенных Штатах пассажиры пригородной зоны тратят около 42 часов в год на пробки, водители тратят более 3 миллиардов галлонов топлива в год, имея общую общенациональную цену в 160 миллиардов долларов, что эквивалентно 960 долларов США за пассажира [1]. Такие проблемы будут обостряться в будущем из-за роста населения, увеличения миграции и урбанизации [2]. Это подтверждает справочное бюро по вопросам народонаселения [3]. Существует и актуализируется острая необходимость в повышении безопасности и эффективности перевозок.

Достижения в области информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) создали новые возможности для развития автоматизированных систем управления транспортом, интеллектуальных транспортных систем (ИТС) [4, 5] и транспортных кибер-физических систем (ТКФС) [6-8]. Причем ТКФС применяют не только на железнодорожном транспорте, но в воздушном транспорте [9]. В этой области они заменяют автопилот. ТКФС используют четыре принципа: устойчивость, интеграция, безопасность, оперативность [10]. При этом следует отметить, что ИТС и ТКФС нуждаются в специальной среде поддержки [11].

Успех ITS и ТКФС во многом зависит от платформы, используемой для доступа, сбора и обработки точных данных из окружающей среды. Функционирование ITS и ТКФС во многом зависит от ситуации движения, построения моделей этих ситуаций [12, 13], способов анализа ситуаций движения [14] и систематизации ситуаций [15]. В этом большое значение приобретают сенсоры.

Сенсоры как инструмент анализа ситуаций

Технология применения сенсоров может быть интегрирована с ТКФС для создания устойчивой системы управления и приложения безопасности, управления дорожным движением [16].

За последнее десятилетие сенсорные технологии стали повсеместными и привлекли большое внимание. Сенсорные датчики используют во многих областях, таких как здравоохранение [17], сельское хозяйство [18], лесное хозяйство, мониторинг транспортных средств [19-21]. На транспорте сенсорные технологии поддерживают проектирование и разработку широкого спектра приложений для управления дорожным движением, безопасности и развлечений. В последние годы датчики и исполнительные механизмы, такие как датчик давления в шинах и системы

обзора заднего вида, стали обязательными (в соответствии с федеральным законодательством США [16]) в производстве транспортных средств и внедрении интеллектуальных транспортных систем, направленных на предоставление услуг для повышения удовлетворенности водителей и пассажиров, повышения безопасности дорожного движения и уменьшения заторов на дорогах. Другие датчики опционально устанавливаются производителями для контроля производительности и состояния автомобиля, повышения эффективности и помощи водителям. В настоящее время среднее количество датчиков в автомобиле составляет около 60–100, но по мере того, как автомобили становятся «умнее», количество датчиков может достигать 200 датчиков на транспортное средство [16]. На рис.1 приведены основные датчики ТКФС (TCPS) или сенсорная структура ТКФС.

Видеокамеры (1) выполняют две функции. Первая функция отслеживания внешней ситуации по ходу движения. Вторая функция отслеживания внутренней ситуации. Камеры используются для: наблюдения за положением тела водителя, положением головы и активностью глаз для обнаружения аномальных условий, таких как признаки усталости или хаотичное поведение автомобиля (выезд с прямой линии на дороге или пешеходы, внезапно переходящие дорогу перед проезжей частью). транспортное средство) и запускать приложения для помощи в ночное время, чтобы помочь водителям видеть дальше по дороге и обнаруживать такие объекты, как животные, люди или деревья на пути, которые могут стать причиной потенциально опасной ситуации или аварии. Инфракрасные сенсоры (2) используются для обнаружения в ночное время помех по пути движения.

Радиообнаружение и определение дальности (RADAR) (3) и лазерные датчики (4) постоянно сканируют дорогу на предмет лобовых, боковых и задних столкновений и позволяют приложениям безопасности регулировать скорость и активировать тормоза для предотвращения потенциальных столкновений или опасных ситуаций, используя радиоволны для определения расстояния между препятствиями и транспортным средством. Датчики уведомляют машиниста при обнаружении чего-то близкого к транспортному средству и автоматически активируют тормоза, чтобы избежать столкновения.

LIDAR (*Light Detection And Ranging*) стал ключевым компонентом эволюции автономных транспортных средств. LIDAR позволяет беспилотному автомобилю (или любому роботу) наблюдать за миром с несколькими особыми характеристиками, такими как непрерывный обзор на 360 градусов и высокоточная информация о глубине. Датчики LIDAR непрерывно испускают лучи лазерного света, а затем измеряют, сколько времени требуется, чтобы свет вернулся к датчику.

Датчики приближения, ультразвуковые (6) и электромагнитные датчики (5) используются в ТКФС для оценки габаритных размеров окружающих трассу объектов и предупреждения о приближении транспортного средства к стоящему другому транспортному средству. Датчики приближения могут определять, когда транспортное средство приближается к объекту. Ультразвуковые >>>

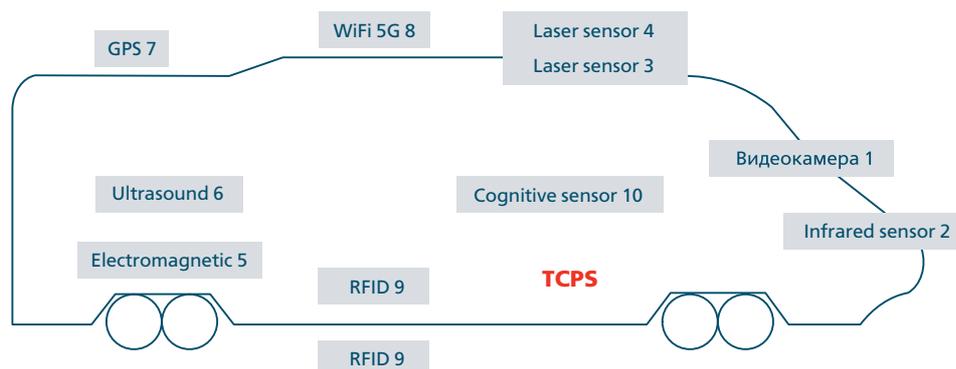


Рисунок 1.
Основные сенсоры TCPS

датчики используют тип гидролокатора, чтобы определить, насколько далеко транспортное средство находится от объекта, предупреждая машиниста, когда транспортное средство приближается к установленному порогу. Электромагнитные датчики предупреждают машиниста, когда объект попадает в электромагнитное поле, создаваемое по ходу движения. Датчики приближения используют для разработки системы, основанной на прямоугольной емкостной матрице датчиков приближения для количественной оценки положения ТКФС. Однако на эти типы датчиков часто влияют температура и влажность, что снижает их точность.

Инерциальные системы используются в ТКФС (на рис.1 не показаны) для определения параметров транспортного средства, таких как положение, ориентация и скорость транспортного средства. Инерциальные системы используются вместе с глобальными системами позиционирования (GPS) для повышения точности. Глобальные системы позиционирования (GPS) (7) используются для определения положения транспортного средства в пространстве. Системы мобильной связи, ориентированные на 5G (8), используются для коммуникации и передачи управленческой информации.

Датчики радиочастотной идентификации (RFID) (9) используются в двух вариантах. Их устанавливают на подвижные объекты для автоматического определения движущихся транспортных средств на дорогах и сбора данных о них. Их устанавливают на трассу для определения прохождения мобильного объекта [22] относительно определенных точек местности. Во втором случае создают геодезические сети электронных меток.

Когнитивные сенсоры (10) используют для контроля состояния машиниста и предотвращения аварийной ситуации в случае, если его биофизическое состояние не соответствует требуемому.

Сенсорные платформы в целом делятся на две категории. Первая категория — это внутритранспортная сенсорная платформа, которая собирает данные о состоянии транспортного средства. Вторая категория, внешние сенсорные платформы, используются для сбора информации о дорожной обстановке.

Развитие сенсорных технологий

Хотя в каждом транспортном средстве имеется много датчиков, их интеграция с другими компонентами и отсутствие общепринятых стандартов среди различных брендов являются огромным недостатком при их внедрении.

Датчики можно разделить на две категории в зависимости от их расположения: интрузивные и неинтрузивные [23]. Вне дороги устанавливаются интрузивные датчики. Они обладают высокой точностью, но также требуют больших затрат на установку и обслуживание. В основном интрузивные датчики [23] можно разделить на три группы: пассивные магнитные датчики, которые устанавливаются на дорогах и подключаются проводным или беспроводным способом к блокам обработки данных; датчики с пневматическими трубками, расположенные поперек дороги, которые передавать данные на блоки обработки через проводную/беспроводную среду; индуктивные петли, которые представляют собой проволочные катушки, закопанные в дороги, и отправлять данные на блоки обработки. Эта группа датчиков наиболее часто используется в системах управления дорожным движением [24].

Основным преимуществом дорожных датчиков является их технологическая зрелость. Они получили широкое распространение и обладают высокой точностью обнаружения транспортных средств. Однако основными недостатками дорожных датчиков являются: высокая стоимость установки, нарушение движения при установке, обслуживании и ремонте. Одним из решений, которое было реализовано для устранения вышеупомянутого недостатка, является введение беспроводных сенсорных узлов с батарейным питанием, которые заменяют интрузивные датчики и устанавливаются над тротуаром. Эта технология представляет собой изменение в транспортных датчиках, которые, как ожидается, улучшат качество, количество, точность и достоверность данных, собранных с дорог и проспектов, при меньших затратах, чем текущие решения.

Неинтрузивные датчики устанавливаются в разных местах на дорогах и могут определять транзит транс-



портного средства и другие параметры, такие как скорость транспортного средства и покрытие полосы движения. Однако их работа может зависеть от условий окружающей среды, то есть от ситуации. Обычно неинтрузивные датчики используются для разработки приложений, которые предоставляют информацию о выбранном месте, например, обнаружение очереди на переезде, условия движения, погодные условия на дороге и в придорожной зоне.

Некоторые датчики устанавливаются на мачтах и используются для наблюдения за определенной зоной покрытия. Другие датчики установлены на мостах с зоной наблюдения прямо под ними. Наконец, некоторые датчики размещаются со стороны дороги на уровне земли и используют луч, пересекающий дорогу, и в основном используются для одной полосы движения и однонаправленных потоков, поскольку они очень чувствительны к помехам от других объектов. однонаправленных потоков, поскольку они очень чувствительны к помехам от других объектов.

Неинтрузивные датчики обеспечивают многие функции интрузивных датчиков с меньшими трудностями. Однако на них сильно влияют климатические условия, такие как: снег, дождь и туман, среди прочего. Точные данные о дорожном движении имеют первостепенное значение для принятия обоснованных решений по улучшению условий дорожного движения. Неинтрузивные датчики легче обнаруживаются водителями, что приводит к различным и более быстрым реакциям, таким как: замедление и использование правильной полосы движения, среди прочего, после обнаружения этих устройств. Задача заключается не только в установке этих датчиков, но и в сокращении времени реакции водителей, в предоставлении им более точного представления о контексте и реальности дороги или трассы.

Датчики пневматических дорожных трубок используют одну или несколько трубок, расположенных поперек полос движения, что позволяет подсчитывать количество транспортных средств и классифицировать транспортные средства. Когда шина автомобиля проходит над камерой, датчик посылает всплеск давления воздуха, который генерирует электрический сигнал. Электрический сигнал передается на блок обработки.

Датчик *Inductive Loop Detector* (ILD) является одним из наиболее распространенных датчиков в управлении дорожным движением. Он используется для сбора данных о транспортном потоке, занятости транспортного средства, длине и скорости. Он состоит из длинного провода, свернутого в петлю, которая устанавливается на поверхности дороги или под ней и измеряет изменение электрических свойств цепи, когда транспортное средство проезжает над датчиком, производя электрический ток, который направляется к датчику. блок обработки.

Магнитные датчики используются для обнаружения транспортных средств при изменении магнитного поля Земли. Магнитные датчики используются для сбора данных о потоке, занятости, длине и скорости транспортных средств и подходят для установки на мостах.

Пьезоэлектрические датчики обнаруживают транспортные средства, проезжающие мимо (в диапазоне высоких скоростей около 112 км / ч), датчик по изменению

напряжения датчика и может контролировать до четырех полос движения. Пьезоэлектрические системы обычно состоят из пьезоэлектрических датчиков и датчиков ILD.

Система обработки видеоизображений (VIP) включает в себя несколько видеокамер, компьютер для обработки изображений и сложное программное обеспечение на основе алгоритмов для интерпретации изображений и преобразования их в данные о дорожном движении. Видеокамеры, размещенные на обочине дороги, собирают и анализируют видеоизображения дорожного движения, чтобы определить изменения между последовательными кадрами с использованием таких параметров дорожного движения, как объем потока и загруженность. Основным недостатком VIP-систем является то, что они подвержены снижению производительности из-за плохих погодных условий.

Радарные датчики излучают низкоэнергетическое микроволновое излучение, которое отражается всеми объектами в зоне обнаружения. Существуют различные типы радарных сенсорных систем: доплеровские системы, которые используют частотный сдвиг возврата для отслеживания количества транспортных средств и очень точно определяют скорость, частотно-модулированный радар непрерывного действия излучает непрерывную мощность передачи, такую как простой радар непрерывного действия, который используется для измерения объема потока, скорости и присутствия. В целом радарные датчики очень точны и просты в установке. Они поддерживают несколько зон обнаружения и могут работать как днем, так и ночью. Главный их недостаток — высокая восприимчивость к электромагнитным помехам.

Инфракрасные датчики обнаруживают энергию, излучаемую транспортными средствами, дорожным покрытием или другими объектами. По сути, датчики преобразуют отраженную энергию в электрические сигналы, которые отправляются в блок обработки. Инфракрасные датчики делятся на две категории: пассивные инфракрасные датчики (PIR) обнаруживают транспортные средства на основе излучения или отражения инфракрасного излучения и используются для сбора данных об объеме потока, присутствии транспортного средства и занятости. Датчики *Active InfraRed* (AIR) используют светоизлучающие диоды (LED) или лазерные диоды для измерения времени отражения и сбора данных об объеме потока, скорости, классификации, присутствии транспортных средств и плотности движения.

Ультразвуковые датчики рассчитывают расстояние между двумя объектами на основе времени, прошедшего между звуковой волной, передаваемой на частотах от 25 до 50 кГц, и отраженной от объекта к датчику. Полученная энергия преобразуется в электрическую энергию, которая направляется в блок обработки. Ультразвуковые датчики используются для сбора данных о потоке транспортного средства и скорости транспортного средства. Основным недостатком такого рода датчиков является их высокая чувствительность к воздействию внешней среды.

Датчики акустической решетки образованы набором микрофонов, которые используются для обнаружения увеличения звуковой энергии, создаваемой приближающимся транспортным средством, проходящим >>>

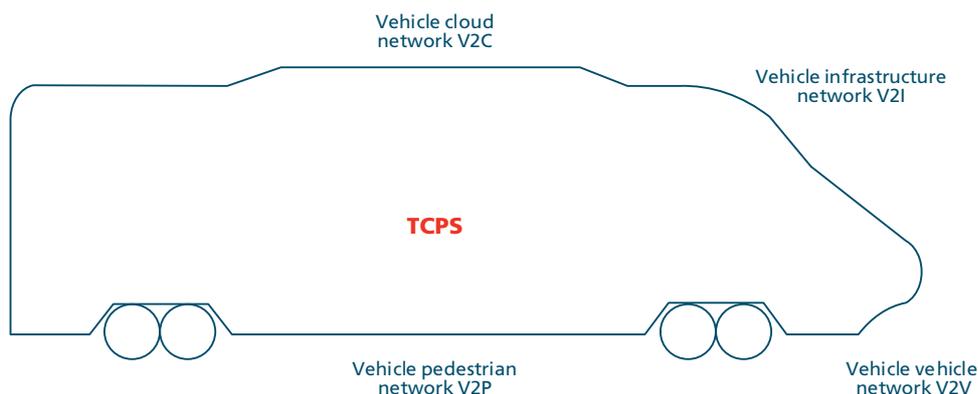


Рисунок 2.

Основные типы ситуационных транспортных сетей

через зону покрытия датчика. Акустические датчики заменяют петли магнитной индукции для расчета интенсивности движения, занятости и средней скорости транспортных средств.

Датчики состояния дорожного покрытия используют лазерные и инфракрасные технологии для определения дорожных условий (температуры и сцепления с дорогой) для повышения безопасности дорожного движения и выполнения программ обслуживания дорог. Однако этот тип датчика требует периодического обслуживания для поддержания уровня его производительности.

Ситуационные транспортные сети

Ситуационные транспортные сети — это транспортные сети, освещающие информационную ситуацию подвижного средства. На рис. 2 приведены основные группы транспортных сетей.

Технология массового сбора информации связана с облачными технологиями и индексируется как V2C.

Важной является технология сети пешеход — транспортное средство (V2P). Сенсорная технология является жизненно важным компонентом, используемым для сбора данных во время связи «автомобиль-автомобиль» (V2V) и «автомобиль-инфраструктура» (V2I). Затем эти данные передаются в системы управления транспортом для дальнейшей обработки и анализа и принятия последующих решений/действий. Умные и интеллектуальные ИТС обещают решить такие проблемы, как высокие цены на топливо, высокий уровень выбросов CO₂ выбросы, высокий уровень заторов на дорогах и улучшенные дороги [25].

Технологии доступа для связи V2V. Современные автомобили оснащаются множеством датчиков, электронных систем и автомобильных сетей связи. Несколько протоколов и сетей используются для связи различных

датчиков и устройств, установленных внутри автомобиля. В [16] показана классификация протоколов и сетей связи на основе различных диапазонов скоростей передачи данных для приложений безопасности, управления дорожным движением и информационно-развлекательных приложений.

Некоторые из наиболее распространенных технологий доступа для связи между транспортными средствами и между транспортными средствами и инфраструктурой: Уровни PHY и MAC и семейство IEEE 1609 для верхних уровней. Эти технологии были изучены для оценки их производительности с помощью различных оптимизаций уровней PHY и MAC. DSRC позволяет датчикам, транспортным средствам и пешеходам обмениваться сообщениями на расстоянии около 300 м. Динамический доступ к спектру (DSA) — это дополнительная технология, используемая DSRC для обмена информацией по неиспользуемому спектру.

J2735 — это еще один стандарт, разработанный Обществом автомобильных инженеров (http://standards.sae.org/j2735_200911/), который используется в коммуникациях V2V. Стандарт определяет набор характеристик (таких как сообщения, кадры данных и элементы данных), используемых приложениями, использующими системы связи на основе DSRC/WAVE.

Технологии доступа для связи V2I. Развитие информационных и коммуникационных технологий создало возможность для интеграции транспортных средств с транспортной инфраструктурой. Эта интеграция обеспечивает лучший и более безопасный способ путешествия и переход к транспортным кибер-физическим системам.

V2I основан на беспроводном обмене критически важными данными о безопасности и эксплуатации между транспортными средствами и придорожной инфраструктурой для повышения производительности транспортных систем. Для связи V2I были предложены различные технологии доступа. >>>

Технология 4G/LTE поддерживает высокую скорость передачи данных (до 129 Мбит/с), малую задержку, >>> большое покрытие и высокую мобильность за счет мягкой передачи обслуживания и плавного переключения. Пассивные магнитные датчики, датчики с пневматическими трубками и индуктивные петли могут использовать эту технологию для передачи данных транспортным средствам, пешеходам или диспетчерам.

Технология WiMAX обеспечивает покрытие до 50 км и поддерживает скорость передачи данных до 70 Мбит/с [26], предлагая мобильным пользователям широкополосный доступ для обмена данными, что позволяет реализовать приложения для обеспечения безопасности дорожного движения и анализа дорожного движения.

В последние несколько лет исследования были сосредоточены на преимуществах использования существующих и новых стандартов мобильной связи (таких как интерфейс LTE-X2 и 5G *Device-to-Device* (D2D) [27]) в качестве альтернативных технологий для доставки приложений. Основная цель состоит в том, чтобы использовать существующие телекоммуникационные инфраструктуры и сети для сбора данных для предоставления новых переносимых решений систем помощи машинисту.

Геоинформационный анализ ситуации

ТКФС являются системами обработки пространственной информации. в силу этого обязательным является применение технологий и методов геоинформатики. Применение геоинформатики требует проведения геоинформационного моделирования [28, 29], включая ситуационное моделирование [30]. Геоинформатика обладает свойством интеграции технологий и данных [31, 32]. Это свойство служит основой организации интегрального

управления на железнодорожном транспорте [33]. Особенность геоинформационных технологий состоит в том, что они не только позволяют проводить пространственный анализ, но и служат основой для принятия решений [34, 35]. При этом следует отметить, что для реализации таких свойств в геоинформатике необходимо создавать специализированные интегрированные геоинформационные модели. Только интегрированные геоинформационные модели [36, 37] могут быть использованы в ТКФС как основа анализа пространственной ситуации [38].

Заключение

Реальная ситуация и ее модель информационная ситуация играют большую роль в применении ТКФС. ТКФС может быть рассмотрена как ситуационная система управления транспортом. Ситуация формируется за счет применения разнообразных сенсоров и за счет применения специальных сетей. Не существует уникального решения для внедрения сенсоров и сетей в транспортные средства. Развитие транспортных средств и ТКФС основано на интеграции мультисенсорных систем в единый комплекс «транспортное средство — инфраструктура». Системы камер интегрируются с другими датчиками для повышения точности измерения скорости и расстояния, а также определения контуров препятствий и движущихся объектов. Радар не обязательно обеспечивает детализацию, обеспечиваемую лидаром, но радар и лидар — комплементарные технологии, которые хорошо дополняют друг друга. Наибольшая интеграция датчиков существует в ТКФС. В отличие от других транспортных систем, ТКФС имеют встроенные вычислители и могут решать задачи распознавания и оптимизации движения. основным информационным источником для ТКФС является информационная ситуация. ■

Список литературы

1. Texas A&M Transportation Institute. Technical Report 2015 Urban Mobility Scorecard, INRIX. Available online: <https://static.tti.tamu.edu/tti.tamu.edu/documents/mobility-scorecard-2015.pdf> (accessed on 11.02.2022).
2. United Nations Population Fund (UNFPA). State of World Population 2011: People and Possibilities in a World of 7 Billion; Technical Report; United Nations Population Fund: New York, NY, USA, 2011.
3. Population Reference Bureau. 2016 World Population Datasheet, Inform Empower Advance. 2016. Available online: <http://www.prb.org/pdf16/prb-wpds2016-web-2016.pdf> (accessed on 11.02.2022).
4. Цветков В.Я., Розенберг И.Н. Интеллектуальные транспортные системы — Saarbrücken, 2012. — 297 с.
5. Щенников А.Н. Интеллектуальные транспортные системы как специализированные системы // Наука и технологии железных дорог. — 2017. Т.1. — 4(4). — С.45-53.
6. Цветков В.Я. Управление с применением кибер-физических систем // Перспективы науки и образования. — 2017. — №3(27). — С.55-60.
7. Elugachev P. et al. Mathematical modeling of cyber-socially physical systems in transport //Transportation Research Procedia. — 2021. — Т. 54. — С.136-143.
8. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Киберфизические системы в управлении транспортом // Мир транспорта. — 2018. Т. 16. № 2 (75). — С.138-145.
9. Sampigethaya K., Poovendran R. Aviation cyber-physical systems: Foundations for future aircraft and air transport //Proceedings of the IEEE. — 2013. — Т. 101. — №. 8. — С. 1834-1855.
10. Guerrero-Ibáñez, J.A.; Zeadally, S.; Contreras-Castillo, J. Integration challenges of Intelligent Transportation Systems with Connected vehicle, cloud computing, and Internet of thing Technologies. IEEE Wirel. Commun. Mag. 2015, 22, C.122–128.

11. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Среда поддержки интеллектуальных систем // Транспорт Российской Федерации. — 2011. -№ 6. — С.6-8.
12. Титов Е.К. Информационная ситуация при управлении транспортом с магнитной левитацией // Наука и технологии железных дорог. — 2019. Т.3.— 4(12). — С.30-38.
13. Цветков В.Я. Модель информационной ситуации // Перспективы науки и образования. — 2017. — №3(27). — С.13-19.
14. Дышленко С. Г. Ситуационный анализ в транспортной сети // Наука и технологии железных дорог. — 2018. Т.2.— 1(5). — С.26-33.
15. Цветков В.Я. Систематика информационных ситуаций // Перспективы науки и образования. — 2016. — №5 (23). — С.64-68.
16. Guerrero-Ibáñez J., Zeadally S., Contreras-Castillo J. Sensor technologies for intelligent transportation systems //Sensors. — 2018. — Т. 18. — №. 4. — С.1212.
17. Alaiad, A.; Zhou, L. Patients' Adoption of WSN-Based Smart Home Healthcare Systems: An Integrated Model of Facilitators and Barriers. IEEE Trans. Prof. Commun. 2017, 60, С.4–23.
18. Vapat, V.; Kale, P.; Shinde, V.; Deshpande, N.; Shaligram, A. WSN application for crop protection to divert animal intrusions in the agricultural land. Comput. Electron. Agric. 2017, 133, С.88–96.
19. Лёвин Б.А. Комплексный мониторинг транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. — 2017. Т.1.— 1(1). — С.14-21.
20. Маркелов В.М., Цветков В. Я. Геомониторинг// Славянский форум, 2015. — 2(8). — С.177-184.
21. Ознамец В. В. Геомониторинг на транспорте с использованием БПЛА// Наука и технологии железных дорог. — 2018. Т.2.— 1(5). — С.43-53.
22. Цветков В.Я., Ознамец В.В. Применение радиометок при мониторинге железнодорожных дорог // Автоматика, связь, информатика. 2020. № 5. С. 34-35.
23. Bargagli, B.; Manes, G.; Facchini, R.; Manes, A. Acoustic sensor network for vehicle traffic monitoring. In Proceedings of the First International Conference on Advances in Vehicular Systems, Technologies and Applications, Venice, Italy, 24–29 June 2012.
24. Mathew, T.V. Transportation Systems Engineering. IIT Bombay. 2014. Available online: <http://nptel.ac.in/downloads/105101008/> (accessed on 11.02.2022).
25. Contreras, J.; Zeadally, S.; Guerrero-Ibanez, J.A. Internet of Vehicles: Architecture, Protocols, and Security. IEEE Internet Things J. 2017.
26. Chaqfeh, M.; Lakas, A.; Jawhar, I. A survey on data dissemination on vehicular ad hoc networks. Veh. Commun. 2014, 1, 214–225.
27. Mitra, R.N.; Agrawal, D.P. 5G mobile technology: A survey. ICT Express 2015, 1, 132–137.
28. Цветков В.Я. Основы геоинформационного моделирования // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. — 1999. — №4. — С.147 -157.
29. Бучкин В.А. Цифровое моделирование и геоинформационное моделирование // Славянский форум. -2020. — 2(28). — С.15-23.
30. Цветков В. Я. Ситуационное моделирование в геоинформатике // Информационные технологии. — 2014. — №6. — С.64-69.
31. Маркелов В.М. Интеграция методов геоинформатики и логистики. // Вестник МГТУ МИРЭА. — 2014 — № 4 (5) — С.139-171.
32. Савиных В.П. Интеграция учебных дисциплин на основе геоинформатики // Дистанционное и виртуальное обучение. — 2013. — №6. — С.5-10.
33. Цветков В.Я. Интегральное управление высокоскоростной магистралью // Мир транспорта. — 2013. — № 5 (49). — С.6-9.
34. Цветков В.Я. Применение геоинформационных технологий для поддержки принятия решений//Известия Вузов. Геодезия и аэрофото-съемка. — 2001.- №4.-С.128-138.
35. Болбаков Р.Г. Принятие решений в геоинформационных системах // Государственный советник. — 2015. — №4. — С.11-15.
36. Цветков В.Я. Создание интегрированной информационной основы ГИС// Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофото-съемка. — 2000. — №4. — С.150-154.
37. Коваленко А.Н. Системный подход создания интегрированной информационной модели // Славянский форум. — 2014. — 2 (6). — С.51 -55.
38. Павлов А.И. Пространственная информационная ситуация // Славянский форум, 2016. -4(14). — С.198-203.

УДК 004.056.5, 656.3

Информационная безопасность геоинформационных моделей транспортных систем

Information Security of Geoinformation Models of Transport Systems



Беляков С.Л., д.т.н., проф., Институт компьютерных технологий и информационной безопасности, ЮФУ, E-mail: sbelyakov@sfedu.ru, Таганрог, Россия

Belyakov S.L., D.ofSci.(Tech), Professor, Institute of computer technology and information security, SFU, E-mail: sbelyakov@sfedu.ru, Taganrog, Russia

Голова Н.А., аспирант, Институт компьютерных технологий и информационной безопасности, ЮФУ, E-mail: ngolova@sfedu.ru, Таганрог, Россия

Golova N.A., graduate student, Institute of computer technology and information security, SFU, E-mail: ngolova@sfedu.ru, Taganrog, Russia

Яворчук К.С., аспирант, Институт компьютерных технологий и информационной безопасности, ЮФУ, E-mail: kyavorchuk@sfedu.ru, Таганрог, Россия

Yavorchuk K.S., graduate student, Institute of computer technology and information security, SFU, E-mail: kyavorchuk@sfedu.ru, Taganrog, Russia



Аннотация

В статье анализируются факторы информационной безопасности, влияющие на результаты использования геоинформационных моделей. Геоинформационная модель рассматривается как целостный конгломерат картографических объектов геоинформационной системы. Рассматривается влияние инцидентов информационной безопасности на транспортный процесс. Предлагается классификация угроз для геоинформационной модели. Приводится результат качественной оценки актуальных угроз на основе установленных методик.

Ключевые слова: геоинформационные модели, информационная безопасность, оценка информационных угроз.



Abstract

The article analyzes the factors of information security that affect the results of using geoinformation models. A geographic information model is considered as an integral conglomerate of cartographic objects of the geographic information system. The impact of information security incidents on the transport process is considered. A classification of threats to the geoinformation model is proposed. The result of qualitative assessment of actual threats on the basis of methodology is given.

Keywords: geoinformation models, information security, assessment of information threats.



Введение

Следуя правовым и нормативным документам, безопасность информации определяют как защищенность информации от нежелательного разглашения, искажения или утраты к ней доступа [1]. Предметом защиты является информация, под которой понимаются любые сведения, представленные в электронном виде. Необходимость в защите информации появляется при наличии информационных отношений, без которых немислим современный транспорт. Эти отношения строятся на необходимости обмениваться информацией для достижения целей, которые ставятся в процессе подготовки и реализации транспортных операций. Число и разнообразие таких отношений по мере развития транспортных систем будет возрастать [2].

Геоинформационная модель — это логически объединенный географической картой набор объектов геоинформационной системы, отражающий свойства и поведение заданной области реального мира. Определяя таким образом геоинформационную модель, ее тесно связывают с понятием геоинформационной системы.

Геоинформационные модели и системы обладают всеми необходимыми свойствами для того, чтобы выступать в качестве как объектов, так и субъектов информационных отношений. Как субъекты, они играют активную роль в сборе и обработке пространственной информации от внешних источников. Возникающий информационный процесс подвержен очевидным опасностям блокировки доступа к информационным ресурсам или возникновения помех и потерь, делающих невозможным реальное использование полученных сведений. Выступая объектом, геоинформационная модель генерирует пространственные данные, которые по некоторым причинам могут подвергаться угрозе потери согласованности, нарушения целостности.

Принятие мер информационной безопасности и создание систем защиты всегда требует определенных затрат и отнимает часть рабочего ресурса участников информационных отношений. Поэтому важным считается оценка потенциального ущерба, который может возникнуть при реализации конкретной информационной угрозы [3]. Если ущерб от возможной реализации угрозы велик, то считается, что велика опасность рассматриваемой угрозы. Несущественный ущерб или его отсутствие говорит об отсутствии опасности. Очевидно, что ущерб определяется областью использования информационных отношений. Геоинформационные системы и модели, используемые на транспорте, входят в состав разнородных информационно-управляющих и сервисных систем, интегрально обеспечивающих заданный уровень безопасности. Поэтому возможный ущерб от инцидентов нарушения информационной безопасности напрямую связан со сбоями и авариями на транспорте. Потери могут быть значительными и по масштабу сравнимыми с крупными техногенными и природными катастрофами.

Выявление угроз и уязвимостей геоинформационных систем и моделей является сложной аналитической задачей, которая решается как составная часть глобальной задачи комплексного анализа безопасности транспортного процесса (рис. 1).



Рисунок 1. Задачи анализа информационной безопасности

Данная задача является главной и определяет дальнейшую логику политики безопасности — комплекса методов, средств и процедур защиты. Анализ факторов, влияющих на надежность транспортировки, определяет значимость информационных опасностей, которые являются предметом анализа на следующем уровне иерархии. Предметом изучения являются системы информационной поддержки транспортного процесса. Их масштаб и назначение сильно различаются — от встроенных навигационных устройств до информационных систем ситуационных центров. На рис. 1 показано, что в силу неопределенности и неоднозначности представления об угрозах безопасен возврат с нижнего уровня на верхний. В этом случае не только уточняются существующие проблемы безопасности, но формулируются новые и корректируются их значимость.

Если анализ на уровне безопасности систем информационной поддержки позволил сформулировать актуальные опасности, решается задача описания угроз, относящихся к используемым информационным системам, одной из которых может быть геоинформационная. Анализ функций системы на этом уровне ставит своей целью выявление уязвимостей, которые позволят реализовать выявленным угрозам. Анализ уязвимостей направлен на поиск дефектов системной организации. Недостатки и неопределенности в оценке уязвимостей могут заставить возвратиться на предыдущий этап анализа и переопределить некоторые требования к безопасности систем информационной поддержки.

Получение представления об опасностях и уязвимостях на уровне геоинформационной системы позволяют перейти к анализу защищенности геоинформационной модели. Цель анализа в оценке влияния защищенности на качество процесса транспортировки в целом. Это влияние может быть прямым либо косвенным.

Прямое влияние имеет место в случае, когда данные геоинформационной модели непосредственно используются для установки параметров движения >>>

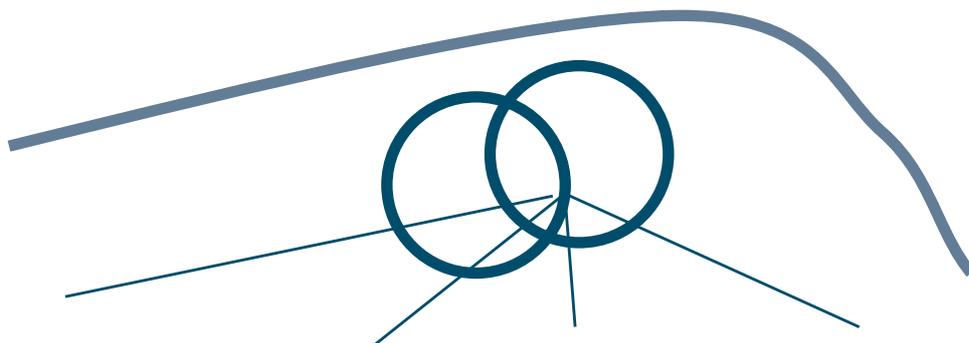


Рисунок 2.
Пример ошибки ввода, нарушающей целостность

транспортных объектов. К параметрам относят график движения, расчетную траекторию и направление перемещения, скорость, рекомендуемое расположение относительно инфраструктурных элементов и ряд других. Искажение данных, нарушение их целостности однозначно определяют потери, обусловленные:

- временной задержкой движения;
- аварийным завершением движения;
- штрафом за опоздание или отмену транспортировки;
- ущербом пассажиров;
- повреждением груза;
- затратами на ремонт и восстановление, и т. д.

Косвенное влияние проявляется в случаях, когда данные геоинформационной модели используются при проектировании инфраструктуры транспортной системы либо планировании перевозок. В этом случае в проект закладываются уязвимости, которые впоследствии могут быть реализованы какой-либо угрозой. Выявление косвенного влияния является логически более сложным и требует привлечения экспертов. Кроме того, оценку значимости угрозы зависит от точности прогнозирования состояния реального мира. Например, авария из-за повышения уровня грунтовых вод и появление оползней вблизи железнодорожного полотна может оказаться проектной ошибкой, обусловленной отсутствием доступа проектировщиков к крупномасштабным геофизическим картам. Уязвимость модели, заключающаяся в недоступности данного вида карт, не была классифицирована как существенно важная из-за неверного прогноза климатических аномалий.

Рассмотрим традиционно выделяемые классы информационной безопасности. Под нарушением целостности понимается изменение, приводящее к потере или разрушению данных. Причиной данного нарушения могут быть как преднамеренные, так и непреднамеренные действия, изменяющие данные и программный код в информационной системе. Непреднамеренность часто связывают со случайностью, когда из-за неочевидности причинно-следственных связей выполняются недопу-

стимые изменения информации. Такие действия могут осуществляться совершенно легитимно пользователями информационной системы в рамках своих полномочий. Потеря целостности может быть спровоцирована либо ошибкой пользователя в сеансе работы с системой, либо искажением данных из-за невыявленной ошибки в программном обеспечении, либо проектной ошибкой. Например, зафиксировано следующее нарушение целостности: при нанесении на план положения опоры линии связи оператор ошибочно ввел второй раз одну и ту же опору с ошибкой в значении координат (см. рис. 2). В результате на плане оказались изображенными два перекрывающихся объекта, что совершенно некорректно и привело к потере целостности фрагмента плана. Причиной такого инцидента, как показал анализ, стали:

- ошибка в проекте информационной базы: отсутствие для класса объектов «опора линии связи» защитного ограничения. Оно состоит в том, что расстояние между опорами линий связи не может быть меньше заданного допустимого значения. Это ограничение не контролировалось;
- ошибка сравнения чисел в программе контроля вводимых данных. В программном коде была заложена проверка отсутствия полного совпадения координат положения двух разных объектов. Однако, сравнение чисел выполнялось без учета точности совпадения. Незначительное расхождение координат в таком случае логически считается несовпадением. Вследствие этого наблюдаемое перекрытие изображений объектов не классифицировалось как ошибочное;
- ошибка параллельной работы двух операторов, вносящих информацию в одну и ту же область. Возможно, с организационной точки зрения, это было ошибкой.

Приведенный пример является инцидентом, относящимся к специальной области информационной безопасности, поскольку в нем затрагивается содержательная сторона использования информации. Вместе с тем, обобщение данной ситуации приводит к универсальным вопросам защиты: при каких условиях добавление, модификация и удаление информационных объек-



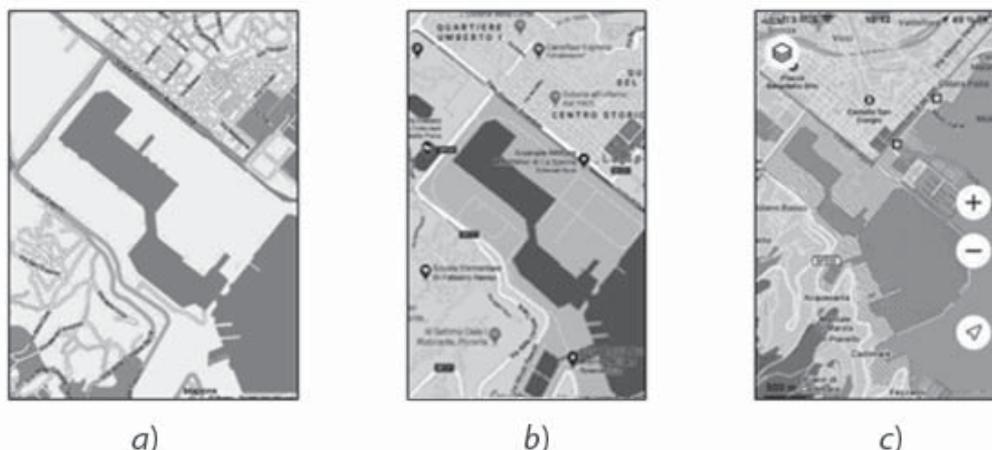


Рисунок 3. **Отображение на местности гипотетического закрытого объекта**

тов в базу данных целостность нарушает? Какие меры защиты следует применять для блокировки такой уязвимости? Насколько такие меры эффективны?

Нарушение конфиденциальности проявляется как неразрешенное ознакомление пользователя с пространственными данными. Основанием для выявления такого нарушения является наличие некоторых субъективных правил, определяющих границы секретности информации. Эти правила должны ставить в соответствие информационные объекты аутентифицированному пользователю либо устройству. Аутентификация представляет собой проверку подлинности. Пример правила:

Если Пользователь = «Проектировщик подземных коммуникаций» **то** Слои = {Водопровод; Канализация; Газопровод} **и** Типы={Очистные сооружения, Станция водозабора, Газораспределительная станция} **и** Отношения={Примыкает (Газопровод, Жилое здание), пересекает (Газопровод, Спецсвязь)}.

Защита от нарушения конфиденциальности зависит, таким образом, от надежности механизма аутентификации и разграничения прав доступа, определяемых заданными правилами. Данные механизмы универсальны и используются разнообразными современными системами. Что касается метода компоновки карты, удовлетворяющей правилам, то для этого должны быть разработаны специальные методы визуализации, позволяющие получить пользователю представление об отображаемом пространстве.

Рис. 3 иллюстрирует варианты отображения участка местности с закрытой информацией о расположении гипотетической морской базы. На рис. 3а это практически «белое пятно» с береговой линией порта. С одной стороны, недоступны данные о топологии объекта, с другой — открыты данные о рельефе и гидрографии. Тем самым сглаживается диссонанс изображений при визуальном анализе, внимание к объекту на карте не привлекается. На рис. 3б другой картографический сервис использу-

ет тот же прием, добавляя некоторую дополнительную информацию в закрытую область. Разница в отображении внутренней и внешней структуры объекта на карте становится меньше. Такой прием можно расценивать как особый метод картографической визуализации, направленный на ослабление внимания к областям закрытых данных.

В противоположность этому методу может применяться явное выделение закрытой зоны (рис. 3с). Контрастируя с примыкающими областями, выделение акцентирует объект и заставляет пользователя обращать на него внимание. С позиций защиты информации такой подход тем, что дает более целостную информацию о расположении одного или нескольких закрытых объектов.

Нарушение, заключающееся в блокировке доступа к информации, проявляется либо в аварийном завершении сеанса работы с геоинформационной моделью, либо в неадекватной визуализации карты. Непреднамеренная блокировка картографических ресурсов чаще всего возникает из-за необнаруженных ошибок в программах или как результат параллельной работы нескольких пользователей с одним и тем же источником пространственных данных. Преднамеренная блокировка может быть обусловлена нарушением владельцем ресурса юридических норм или авторских прав.

Блокировку, обусловленную параллельной работой с использованием общих ресурсов, проиллюстрируем на следующем примере (рис. 4): геоинформационные модели M1 и M2 используют карту, на которой выделены области A, B, C и D. Модель M1 использует области A и C и блокирует доступ к ним для формирования некоторого результата. При этом, чтобы окончательно его получить, ей необходимо использовать область D, которая в данный момент заблокирована моделью M2. Эта модель решает свою задачу, удерживая заблокированными области B и D, но ожидая при этом для получения окончательного результата доступ к области C. В сложившейся ситуации обе модели блокируют >>>

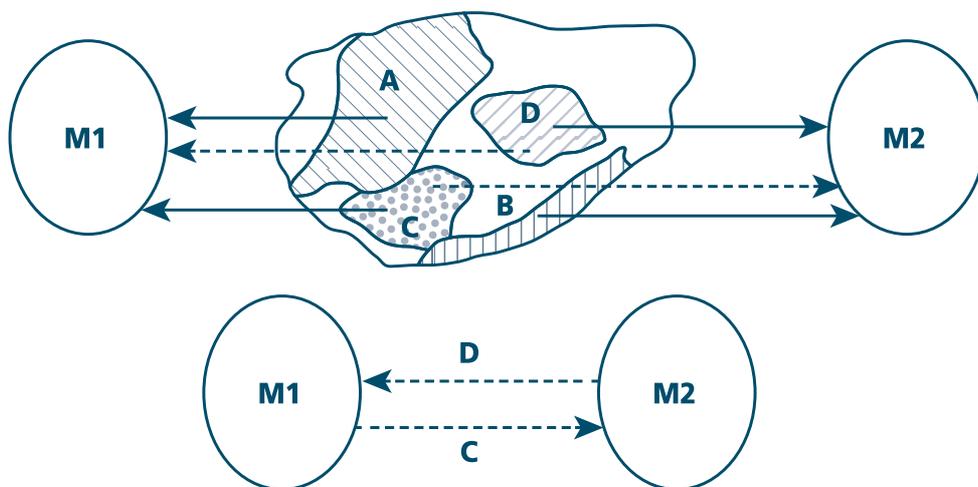


Рисунок 4. Иллюстрация мертвой блокировки при использовании фрагментов карты

Таблица 1
Оценка информационных угроз для геоинформационной модели

Компонент геоинформационной модели	Оценка опасности угрозы		
	Нарушение конфиденциальности	Нарушение целостности	Блокировка доступа
Картографический объект	низкая	средняя	низкая
Слой карты	низкая	средняя	средняя
Карта	высокая	высокая	высокая
Текстовый документ	высокая	низкая	высокая
Гипертекстовый документ	высокая	низкая	высокая
Снимок земной поверхности	высокая	низкая	высокая
Данные дистанционного зондирования	высокая	средняя	средняя
Визуальный объект	высокая	высокая	низкая

доступ к общим областям и снять блокировки не могут из-за опасности потерять промежуточные данные.

В нижней части рис. 4 это показано как ожидание моделью M1 доступа к области D, а моделью M2 — к области C. Взаимные блокировки такого рода называют мертвыми (*deadlock*). Выйти из мертвой блокировки ни одна сторона не может без потерь данных. Поэтому одним из вариантов защиты может стать аварийное завершение одной из моделей и передача права заблокировать нужную область второй модели.

Пользуясь обобщенной классификацией угроз информационной безопасности, рассмотрим, какие элементы геоинформационных моделей подвержены опасности реализации данных угроз. Для этого необходимо проводить экспертный анализ уязвимостей отдельной модели или класса моделей. Результаты оценки сводят

в таблицу. Оценки являются качественными и выбираются из множества значений уровня опасности: Высокий, Средний, Низкий.

Значение «Высокий» означает, что потенциальные уязвимости элемента геоинформационной модели позволяют реализоваться угрозе рассматриваемого типа с высокой вероятностью. При уровне «Низкий» уязвимостей нет либо при существующих уязвимостях вероятность повреждения информации мала.

Рассмотрим в качестве примера для оценки информационных угроз геоинформационную модель для управления муниципальной транспортной системой. Основная цель использования модели — управление перевозкой пассажиров - жителей города и грузов промышленных предприятий. Задача управления состоит в том, чтобы при заданном уровне фи- ➤➤

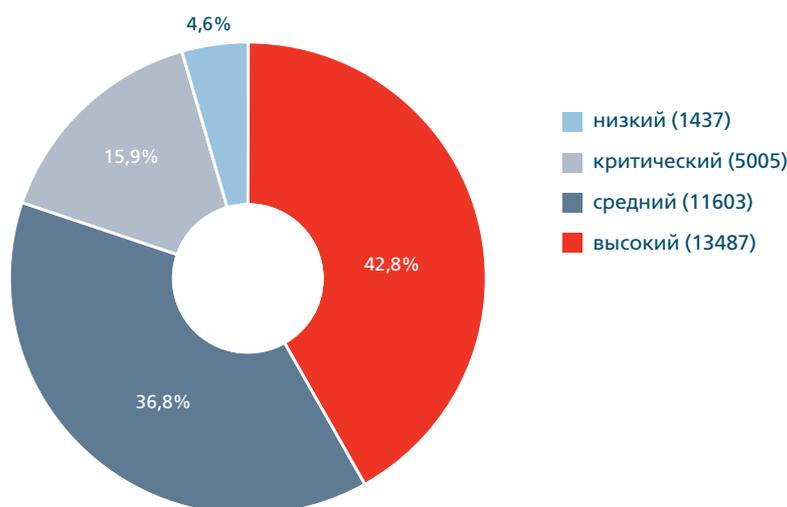


Рисунок 5.
Распределение уязвимостей по уровням опасности (ФСТЭК)

нансирования транспортная система должна обеспечить надежную и безопасную перевозку, используя имеющиеся виды транспорта. Для этого геоинформационная модель должна непрерывно предоставлять данные о состоянии транспортной сети, положении транспортных средств, прогнозировать пассажиропоток, отображать положение аварий, и многое другое.

В табл. 1 приведен пример экспертной оценки актуальности угроз для геоинформационной модели. Эти оценки получены в соответствии с методикой Федеральной службы по техническому и экспортному контролю (ФСТЭК) [4]. Каждый компонент возникает и используется благодаря программным и аппаратным средствам хранения, передачи и обработки информации [5]. Оценка опасности компонента формируется как обобщение уровней угроз безопасности со стороны отдельных подсистем. Например, уровень опасности для объекта «карта» выводится из следующего:

- серверы для хранения картографической информации используют невысокий уровень защиты, определяющийся свойствами универсальных серверных операционных систем;
- сетевые средства доставки карт к рабочим местам диспетчеров и муниципальных служащих используют минимальный уровень защиты, гарантируемый городскими телекоммуникациями общего пользования;
- процедуры обновления картографической основы не используют защитных мер, реализуясь как совместная работа операторов в многопользовательской среде;
- средства контроля секретности карт отсутствуют;
- используется программное обеспечение, включающее не сертифицированные программы. Выполнение модификаций и аналитическая обработка карты может приводить к проявлению дефектов в программах.

Следствием действия перечисленных факторов является оценка любого из классов угроз для объекта «карта» как высокая.

Информация об угрозах и уязвимостях накапливается в базах данных, поддерживаемых как государственными учреждениями, так и коммерческими или общественными организациями. Каждая известная уязвимость имеет идентификатор и описание в соответствующей базе данных. При этом идентификаторы, классификация и описание одних и тех же объектов могут различаться.

Несмотря на это, ценность информации не вызывает сомнений, а эксперты обращаются всегда к нескольким источникам одновременно. К наиболее известным источникам информации относят следующие:

- банк данных угроз безопасности информации, созданная Федеральной службой по техническому и экспортному контролю РФ [4];
- национальная база данных уязвимостей (National Vulnerability Database), поддерживаемая Национальным институтом стандартизации и технологий США [6];
- общие уязвимости и воздействия (Common Vulnerability and Exposure), финансируется Агентством по кибербезопасности и безопасности инфраструктуры США [7];
- открытая база данных уязвимостей (Open Source Vulnerability Database), создана и поддерживается международной инициативной группой.

По накопленным данным об уязвимостях могут строиться статистические обобщения, важные для прогнозирования. Например, по данным ФСТЭК на начало 2021 года распределение уязвимостей по уровням опасности имеет вид, показанный на рис. 5.

Для практической оценки опасности при выборе программного обеспечения могут оказаться полезными статистические данные о количестве уязвимостей в продуктах разных производителей (рис. 6). >>>

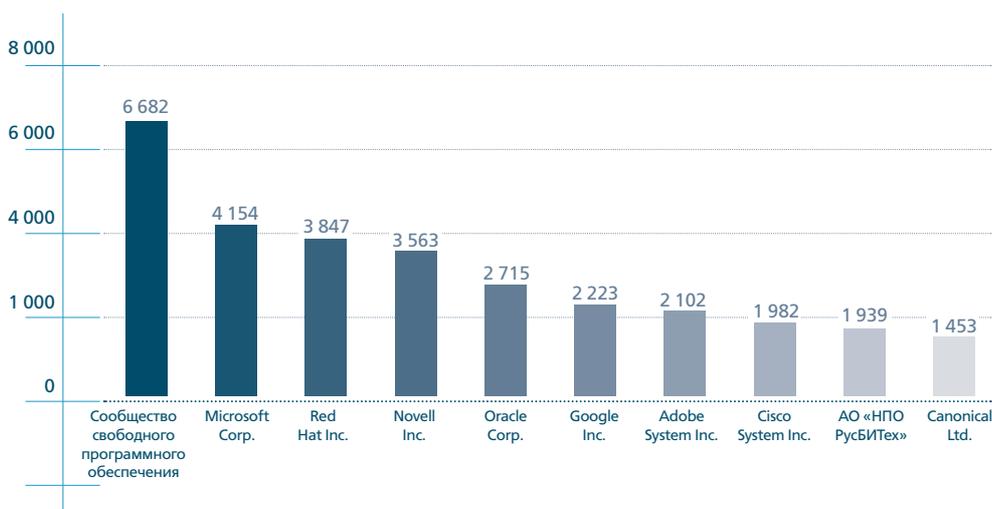


Рисунок 6. Распределение уязвимостей в программных продуктах (ФСТЭК)

Анализируя приведенные на рис. 5 и 6 распределения уязвимостей, следует обратить внимание на следующие особенности:

- значительная часть известных уязвимостей (более 40% на рис. 5) относятся к категории высокой опасности. Это значит, что уязвимости с большой долей вероятности реализуются в современных информационных системах и могут породить реальный ущерб. Следовательно, использование геоинформационных моделей не должно игнорировать факторы информационной безопасности. Принятие мер против актуальных угроз имеет практическую значимость;
- в распределение уязвимостей в программных продуктах (рис. 6) попали разработки из области системного программного обеспечения. В первую очередь это касается операционных систем и сетей, в меньшей степени систем управления базами данных. Этот факт указывает на необходимость применения в геоинформационных моделях средств защиты от угроз системного характера;
- свободно распространяемое программное обеспечение отличается наличием существенно большего числа уязвимостей в сравнении с профессиональными

разработками. Программное обеспечение для геоинформационного моделирования достаточно часто относится к категории свободно распространяемого. Это указывает на необходимость уделять должное внимание защите от соответствующих угроз.

В целом, рассматривая проблему информационной безопасности геоинформационных систем и моделей, следует подчеркнуть, что при всей специфичности решаемых задач нарушения классифицируются на угрозы блокировки, нарушения целостности и конфиденциальности. Поскольку геоинформационные модели функционируют в различных операционных системах и сетях, в том числе Интернет, проявления угроз чрезвычайно разнообразны. По этой причине важна систематизация условий возникновения нарушений. Если есть представление о том, кто такой нарушитель, каковы его действия по использованию конкретных уязвимостей системы или модели, возникает адекватная реакция атакуемой стороны. ■

Список литературы

1. ГОСТ Р 50922-2006 Защита информации. Основные термины и определения [Электронный ресурс] / утвержден приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2006 г. № 373-ст. — Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200058320> (дата обращения: 30.09.2021).
2. Транспортные системы: тенденции развития: Сборник трудов международной научно-практической конференции, Москва, 26–27 сентября 2016 года / Под общей редакцией Б.А. Лёвина. — Москва: Российский университет транспорта (МИИТ), 2016. — 568 с.
3. Базовая модель угроз безопасности информации в ключевых системах информационной инфраструктуры: [Текст] / утверждена ФСТЭК России от 18 мая 2007 г.
4. Банк данных угроз безопасности информации <https://bdu.fstec.ru/vul>.
5. Информационная безопасность сетей и систем / В. И. Аверченков, В. Т. Еременко, М. Ю. Рытов [и др.]; Белорусско-Российский университет, Брянский государственный технический университет. — Могилев : Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования "Белорусско-Российский университет", 2020. — 212 с.
6. Common Vulnerability and Exposure. — Режим доступа: <https://nvd.nist.gov/> (дата обращения: 30.09.2021).
7. Common Vulnerability and Exposure. — Режим доступа: <https://cve.mitre.org/> (дата обращения: 30.09.2021).
8. Open Source Vulnerability Database . — Режим доступа: <https://osv.dev/> (дата обращения: 30.09.2021).

УДК 528.9; 004.94

Информационное моделирование для объектов транспорта

Information Modeling for Transport Objects

Андреева О.А., к.т.н., научный сотрудник, ООО «Функция ИТ»,

E-mail: andreeva_olga@inbox.ru, Белгород, Россия

Andreeva O.A., Phd.(Tech), researcher, «IT Function» LLC,

E-mail: andreeva_olga@inbox.ru, Belgorod, Russia.

Аннотация



В статье исследуется применение встроенного информационного моделирования (Built information modeling — BIM) в сфере транспорта. Этот вид моделирования направлен на построение трехмерных моделей объектов и пространственных ситуаций. Описаны разновидности моделирования: информационное моделирование инфраструктурных зданий, информационное моделирование исторических зданий. Применение BIM направлено на улучшение всех этапов проектирования, оно обеспечивает снижение затрат и улучшает контроль за пространственными объектами. Описаны особенности геостатистики как технологии сбора данных, особенности формирования пространственных моделей. Обобщен опыт применения BIM в транспортной сфере. Трехмерное моделирование является обязательным компонентом современного управления транспортной инфраструктурой.

Ключевые слова: транспорт, транспортная инфраструктура, моделирование, информационное моделирование, трехмерное моделирование, пространственное моделирование, информационные единицы, информационная ситуация.

Abstract

The article explores the application of built-in information modeling (BIM) in the field of transport. This type of modeling is aimed at building three-dimensional models of objects and spatial situations. Modeling types are described: information modeling of infrastructure buildings, information modeling of historical buildings. The application of BIM aims to improve all stages of design, it reduces costs and improves control over spatial objects. The features of geostatistics as a data collection technology, the features of the formation of spatial models are described. The experience of applying BIM in the transport sector is summarized. Three-dimensional modeling is an indispensable component of modern transport infrastructure management.

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



Введение

Информационное моделирование для объектов транспорта в последние десятилетия трансформировалось во встро-енное информационное моделирование (*Built information modeling* — BIM). Эта технология широко применяется на транспорте, например для 3D-реконструкции современных железнодорожных вокзалов [1]. Оно имеет развитие в виде комплексного проектирования железных дорог с использованием информационного моделирования [2].

Существуют разновидности BIM, такие как информационное моделирование инфраструктурных зданий (I-BIM) или информационное моделирование исторических зданий (HBIM). (I-BIM) представляет собой цифровую систему управления информацией, которая применяется при строительстве объектов транспортной инфраструктуры. Она приобретает все большее значение. Применение BIM направлено на улучшение всех этапов проектирования. Использование BIM также обеспечивает снижение затрат и улучшает контроль. Оно повышает осведомленность о данных, улучшает доступность проектной информации и повышает удобство использования на каждом этапе жизненного цикла инфраструктуры. Хотя расширенное моделирование компонентов и систем здания приводит к преимуществам, хорошо подчеркнутым практикой, в случае транспортных инфраструктур критический анализ в конкретных случаях может показать, дает ли эта методология проектирования такие же преимущества.

К недостаткам этого подхода следует отнести ограниченную доступность библиотек компонентов инфраструктуры или информационных единиц [3-5]. Другим недостатком является сложность присвоения параметров геометрии объектам, если они обладают уникальными характеристиками. В этом плане проблема состоит в том, чтобы понять, какие функции BIM для строительства должны быть сохранены в практике производства и управления каждой модели инфраструктуры (классы, обмен информацией и отношения между классами и пространственная декомпозиция)

Общие проблемы

При моделировании объектов транспорта необходимо учитывать тот факт, что железная дорога является геотехнической системой [6]. Это означает что в модели участвует природная техническая составляющие. Учет комплекса факторов приводит к тому, что современное управление железной дорогой является интегральным [7]. Для интегральных моделей лучше всего подходит геоинформатика, которая интегрирует данные и технологии многих наук. При моделировании объектов транспорта необходимо учитывать разные типы и разное назначение моделей. Например, модели для моделирования рельефа, модели для моделирования зданий, модели для моделирования железнодорожного пути. Это объектные модели. Наряду с ними существуют модели поддержки. Например, для поддержки интеллектуальных систем [8] или транспортных кибер-физи-

ческих систем. Следует общий вывод: для моделирования объектов транспорта необходимо применение геоинформатики для решения задач BIM

Сбор данных

Первым этапом моделирования является сбор информации о пространственных объектах. Спецификой сбора информации для моделирования объектов транспортной инфраструктуры является применение геомониторинга [9-11] и геотехнического мониторинга [12, 13]. Кроме того, необходимо собирать статистическую информацию об объектах. Применительно к пространственной информации возникает необходимость использования не просто статистики, а геостатистики [14-16].

Геостатистический анализ основан на сопоставлении наборов многомерных данных, переменные которых образуют композицию [14]. Такие наборы данных чаще всего встречаются в горном деле, экологии и почвоведении. Данные геостатистики актуальны для любого районированного набора данных. Геостатистика используется и в других областях, например, при сборе пространственной информации о пространственных проблемах здравоохранения [17]. Везде, где существует пространственная зависимость распределения какого-либо фактора применяют геостатистику. На транспорте ее применение актуально для исследования экологии.

Информация для моделирования собирается из разных источников и преобразуется в некую универсальную модель такой моделью является интегрированная информационная основа [18, 19].

Формирование пространственных моделей и их применение

Формирование и применение моделей включает несколько этапов. Формирование плоских моделей. Формирование объемных моделей. Формирование моделей пространственных ситуаций. Применение теории информационных единиц.

Общих для всех этапов является использование системного подхода [19-21], геоинформационного моделирования [22, 23] и информационных ресурсов [24-26]. При этом двумерные модели имеют как правило картографическую форму, а трехмерные отражают отдельные объекты и имеют форму цифровых моделей [27].

Для решения задач управления транспортом недостаточно моделей объектов. Модели пространственных объектов должны быть объединены в общую модель. Такая общая модель называется информационной ситуацией [28]. Практически каждый объект находится в своей информационной ситуации. Поэтому для формирования общей информационной ситуации движения необходимо проводить систематику частных информационных ситуаций [29]. Использование моделей информационных ситуаций в геоинформатике



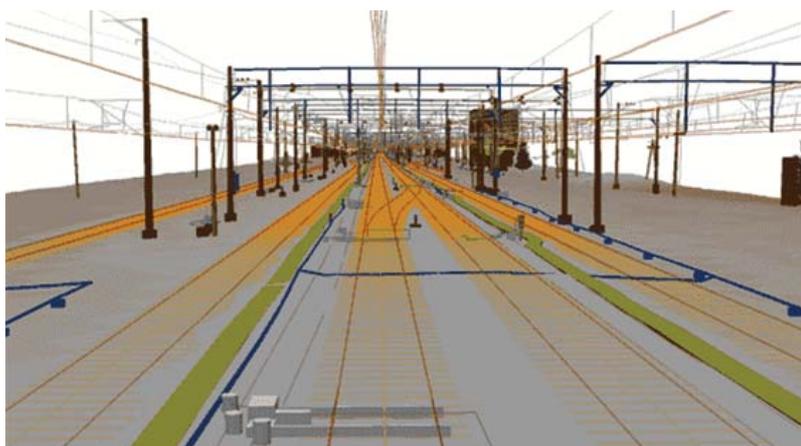


Рисунок 1.
Цифровая модель пути, построенная по точкам лазерных отражений

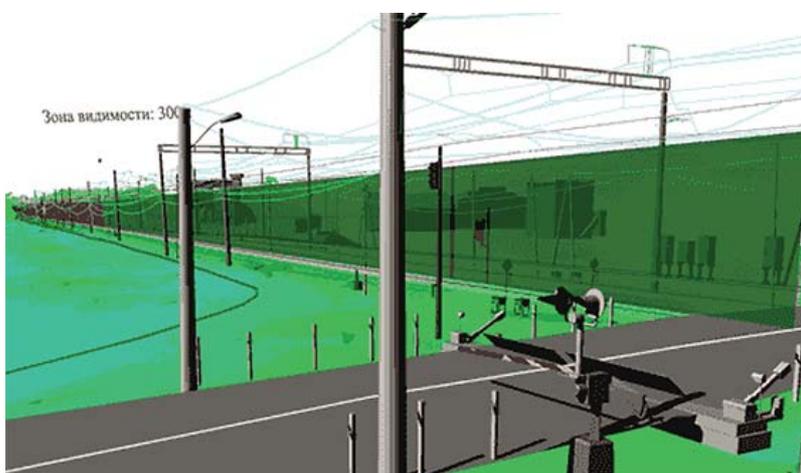


Рисунок 2.
Цифровая модель ситуации с указанием зоны видимости

влечет необходимость применения специального ситуационного моделирования [30-33].

Одним из новых методов построения трехмерной реальности является применение мобильного лазерного сканирования [32, 34-36]. На рис.1 приведена цифровая модель пути, построенная по точкам лазерных отражений. Это трехмерная модель реальности.

Чтобы создать трехмерную компьютерную модель объекта произвольной формы получают несколько изображений диапазона (облака точек). Эти изображения должны покрывать всю поверхность объекта и ситуации, в которой он находится [37]. Для этого информацию получают с разных точек зрения. Затем измерения выравниваются по общей системе координат и сводят к минимуму ошибку расстояний между соответствующими точками объектов и ситуаций.

Автоматическое установление соответствий таких точек пока является сложной задачей из-за отсутствия какой-либо информации, кроме геометрической информации, извлеченной из облаков точек. Существующие

методы «автоматического» соответствия достигают автоматизма за счет других характеристик, а именно: применимости к объектам произвольной формы, точности, эффективности, устойчивости к разрешению и выборке поверхности, устойчивости к перекрытию, устойчивости к шуму и, наконец, их применимости к одновременному многокурсовому соответствию.

На рис.2 приведена цифровая модель ситуации, на которой изображена ситуация с переездом.

На модели приведены описания условий видимости в зоне этого переезда. Показаны элементы инфраструктуры и трехмерные информационные единицы [38]. Если рассматривать модель объекта и информационную пространственную ситуацию как сложную систему, то как всякая система она должна иметь элементы системы. такими элементами для моделей объектов и моделей ситуаций служат информационные пространственные единицы [38]. На их основе применяют агрегацию и конструируют более сложные модели или комплексы связанных моделей. >>>

Обобщение опыта применения BIM

Существует подход к трехмерному моделированию на основе профилей, при котором модели проектируются в интерактивном режиме путем рисования их 2D-профилей с разных точек зрения [39]. Основная идея состоит в том, чтобы создавать трехмерную модель из 2D-профилей, устраняя необходимость явно создавать 3D-элементы. Произвольно сложные модели могут быть построены путем их агрегации из частей, определяемых их профилями.

Существует подход [40] к трехмерному моделированию на основе элементов трехмерной структуры, некоторые из которых можно назвать трехмерными информационными единицами, а другие трехмерными блоками. Основой синтеза является реальность, изображенная на фотоснимках. Метод использует машинное обучение для синтеза трехмерных моделей.

Интересный подход к трехмерному моделированию для планирования пути мобильного робота описан в [41]. Для планирования пути первоначально создают высокоточные трехмерные модели неизвестной среды. Суть метода основана на проведении исследований, которые находят наиболее информативную точку обзора или траектории пути робота путем анализа объемной карты. Построение объемной карты не обязательно означает завершение трехмерной модели. Цифровая карта часто представляет собой оболочку простой связанности с позиций топологии. Очень сложную структуру иногда невозможно представить в виде объемной оболочки. В работе предложен новый алгоритм исследования, который учитывает не только объемную карту, но и потенциально реконструированные модели. Например, зоны затопления. Информация о полных поверхностях используется для расчета пути исследования.

В работе [42] предлагается рабочая станция DesignAR для создания 3D-моделей. Этот подход интегрирует интерактивную поверхность, отображающую 2D-виды, со стереоскопической дополненной реальностью (AR), получаемой с помощью датчиков на шлеме. Это создает комбинированное выходное пространство, которое расширяет возможности экрана и позволяет размещать 3D-объекты за пределами экрана. Для эффективного сочетания 2D и 3D видов определяют разные уровни близости и выравнивания. Для создания и уточнения 3D-моделей предлагается метод интерактивного информационного взаимодействия. Сочетание интерактивных поверхностей с высоким разрешением и высокой точностью с тщательно выровненными представлениями дополненной реальности открывает дополнительные возможности трехмерного моделирования.

В работе [43] предлагается метод Создания 3D-моделей из данных множества трехмерных точек. Это пространственный подход виртуального проектирования и строительства (VDC). Исследования были сосредоточены на автоматизации нескольких ключевых шагов, включая сегментацию множества точек на основе внешнего вида и геометрических атрибутов. В случаях, когда строительные системы близки к конструктивным элементам, метод приводит к чрезмерной сегментации и требуют

значительной тонкой настройки со стороны пользователя. Для устранения этого недостатка в статье представлен метод обучения, основанный на марковском случайном поле (MRF), который присваивает семантические метки сегменту облака точек. MRF обеспечивает согласованность между семантическими (например, балка, колонна, стена, потолок, пол, труба) и геометрическими метками (например, горизонтальный, вертикальный, цилиндрический), и он использует контекст соседства для повышения точности семантической маркировки. Экспериментальные результаты показывают, что средняя точность семантической маркировки составляет 90 %, что обеспечивает самые современные характеристики маркировки балок, потолков, колонн, полов, труб и элементов стен.

Встроенное информационное моделирование для 3D-реконструкции современных железнодорожных вокзалов описано в [1]. Метод включает полное описание и анализ архитектур железных дорог на основе комплексного обследования. Обследование начинают с 2D-представления (планы, карты) и заканчивают 3D-моделированием в среде BIM.

Методология BIM предусматривает постепенное определение 3D-моделей в отношении геометрического уточнения и содержания данных. Он задается уровнями детализации, которые в одних случаях совпадают с уровнями детализации 3D-моделей (*Level of Detail (LOD)*) и в других с уровнями информации (*Level of Information (LOI)*) передаваемой там, где данные пропущены, что указывает на другую связь между моделью и реальным объектом, что в общем случае обозначается как LOX. Все эти иерархии обеспечивают 3D-модель, максимально приближенную к реальному объекту, определяя его как «построенный» [1].

Для построения модели в рамках методологии BIM на первом этапе создают план обследования сооружения. План включает общее исследование всего объекта, а также частные исследования архитектурных, материальных, структурных, инженерных и декоративных элементов. Этим задается модель с различными уровнями детализации. В процессе применения BIM допускается интеграция различных методологий. Это сближает BIM и методы геоинформатики.

Было проведено прямое обследование зданий снаружи и внутри доступных зон с получением основных метрических данных о размерах для определения как общего объема, так и архитектурных элементов. Дополнительно была проведена фотосессия, позволяющая получить соответствующую информацию во время графической реституции и классификации архитектурных компонентов. Полученный материал был упорядочен и каталогизирован в специальных документальных архивах, содержащих информацию, которую можно извлечь, просмотреть и использовать с течением времени, и которая имеет основополагающее значение для возможных расчетных целей. Кроме того, использовалось 3D-лазерное сканирование для получения плотных облаков точек. Сканирование позволило получить внешний вид здания, цокольный этаж, чердак центрального артефакта и вертикальное распределение. >>>

Сканирующая сеть материализовалась, зафиксирован положение на местности и записав приборную высоту, чтобы обеспечить возможность апостериорной проверки с помощью тахеометра. Все сканы были ориентированы в единой системе отсчета с использованием гомологичных искусственных точек и алгоритма ICP для этапа выравнивания в программном обеспечении *JRC Reconstructor (Gexcel)*.

В работе [44] представлены результаты исследования применения BIM для проектирования модели железнодорожного пути с трехмерным выравниванием на основе расширенных отраслевых базовых классов

Информационное моделирование зданий (BIM) широко применяется в сочетании с классом фундаментов для зданий и инфраструктур, таких как железные дороги. Однако технологии BIM имеют ограничения, которые затрудняют проектирование трехмерных (3D) информационных моделей на основе выравнивания. Это важно при перепроектировании и коррекции железнодорожного пути.

Без выравнивания, время и затраты, необходимые для создания модели железнодорожного пути, увеличиваются, а надежность модели снижается. В работе [44] дана методология построения независимой модели железнодорожного пути на основе модели трасы и расширенных моделей оснований (IFC), содержащих информацию о трассе железнодорожного пути.

Модель железнодорожной трассы можно создать с помощью инструментов BIM как модель здания. Однако она неэффективна для представления железнодорожного полотна по следующим причинам:

1. Выравнивание железной дороги проектируется с использованием горизонтальных и вертикальных кривых, состоящих из прямых линий, кривых и переходных кривых. BIM, имеющая реализацию в системе Автокад как VAT, преимущественно использует прямые линии и круговые кривые. Но она не предоставляет функции для объединения горизонтальных и вертикальных линий. Следовательно, информация о трассе железных дорог не может быть представлена с помощью таких рафинированных инструментов, а также не подходит для представления форм конструкций, принадлежащих трассе.

2. В то время как здания проектируются на основе концепции этажей в направлении, перпендикулярном земле, конструкции железнодорожных путей располагаются с использованием 3D-выравнивания. Следовательно, информация о выравнивании должна быть хорошо представлена для конструкций железнодорожных путей, и эта информация должна быть связана с конструкциями зданий. Однако с помощью программного обеспечения VAT сложно создать трассу, включающую информацию о трассе железной дороги, и затем связать эту информацию с созданной инфраструктурой.

Для решения этой проблемы в работе [44] предложен алгоритм выравнивания моделей, который исключает отмеченные недостатки. Разработанный алгоритм

с использованием программных средств BIM позволяет проектировать разрывную конструкцию. Информация о трехмерном выравнивании объединяет различные программные инструменты BIM, а система классификации и схема IFC для обозначения железнодорожных путей расширены. Кроме того, система классификации имеет основополагающее значение для отнесения объектов IFC к железнодорожным компонентам. Предложенная методология была реализована в реальных испытаниях железнодорожного пути. Подтверждена возможность управления информацией о железнодорожном пути на основе IFC, включая информацию о его трехмерной прокладке. Предлагаемая методология может сократить время моделирования и может быть распространена на другие структуры, основанные на выравнивании

Комплексное проектирование железных дорог с использованием информационного моделирования инфраструктуры и зданий приведено в работе [2]. В целом тенденция применения BIM расширяется и обогащается новыми разработками.

Заключение

В Европе с 2012 по 2017 год число проектов, применяющих BIM, увеличилось на 32% [45]. Использование BIM в последнее время стало незаменимым в железнодорожных проектах, где управление информацией, обмен информацией и сотрудничество являются важными элементами; например, в Катаре (Qatar Rail), Гонконге (Mass Transit Railway) и Китае (China Railway BIM Alliance) реализуются крупные железнодорожные проекты [46-48]. Сначала необходимо создать модели, содержащие точную и достоверную информацию, соответствующую основной философии BIM; таким образом, пользователи BIM могут воспользоваться его преимуществами [49]. Надежная строительная информация и методологии управления информацией необходимы для реализации BIM в крупных проектах, таких как объекты общественной инфраструктуры, где на каждом этапе жизненного цикла задействовано несколько заинтересованных сторон. Кроме того, надежность данных является существенной характеристикой [49, 50].

Однако BIM был разработан на основе концепции зданий по центру пола; следовательно, он имеет много ограничений в отношении структур, основанных на выравнивании, таких как железные дороги и автомобильные дороги [51]. Использование BIM является сложной задачей, поскольку ее методология опирается на методы геоинформатики, но в явной форме это еще не исследовано, и соответствующие модели используются слабо. На наш взгляд, явное применение геоданных и технологий геоинформационного моделирования расширяет возможности данного научного направления. ■

Список литературы

1. Arnevali L., Lanfranchi F., Russo M. Built information modeling for the 3D reconstruction of modern railway stations //Heritage. — 2019. — Т. 2. — №. 3. — С. 2298-2310.
2. Pasetto M. et al. Integrated railway design using Infrastructure-Building Information Modeling. The case study of the port of Venice // Transportation Research Procedia. — 2020. — Т. 45. — С. 850-857.
3. Андреева О.А. Систематика пространственных информационных единиц транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. 2021. Т. 5. №2 (18). — С.67-73.
4. Цветков В.Я. Информационные единицы как средство построения картины мира // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2014. — № 8 -4. — С. 36-40.
5. Андреева О. А. Информационные единицы в моделировании транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. — 2020. — 1(13). — С.57-68.
6. Цветков В.Я., Кужелев П.Д. Железная дорога как геотехническая система // Успехи современного естествознания. -2009. — №4. — С.52.
7. Цветков В.Я. Интегральное управление высокоскоростной магистралью // Мир транспорта. — 2013. — № 5 (49). — С.6-9.
8. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Среда поддержки интеллектуальных систем // Транспорт Российской Федерации. — 2011. -№ 6. — С.6-8.
9. 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.
10. Маркелов В.М., Цветков В. Я. Геомониторинг// Славянский форум, 2015. — 2(8). — С.177-184.
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. Цветков В.Я. Геоинформационный геотехнический мониторинг // Науки о Земле. — 2012. — №4. — С.054-058.
13. Булгаков С.В. Геотехнический мониторинг транспорта // Наука и технологии железных дорог. 2021. Т. 5. №1 (17). — С.42-49.
14. Tolosana-Delgado R., Mueller U., van den Boogaart K. G. Geostatistics for compositional data: an overview //Mathematical geosciences. — 2019. — Т. 51. — №. 4. — С. 485-526.
15. Цветков В.Я. Геостатистика // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. — 2007. — №3. — С.174-184.
16. Emery X., Maleki M. Geostatistics in the presence of geological boundaries: Application to mineral resources modeling //Ore Geology Reviews. — 2019. — Т. 114. — С. 103124.
17. Diggle P. J., Giorgi E. Model-based geostatistics for global public health: methods and applications. — Chapman and Hall/CRC, 2019.
18. Цветков В.Я. Создание интегрированной информационной основы ГИС// Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. — 2000. — №4. — С.150-154.
19. Коваленко А.Н. Системный подход создания интегрированной информационной модели // Славянский форум. — 2014. — 2 (6). — С.51 -55
20. Цветков В.Я. Теория систем. — М.: МАКС Пресс, 2018. — 88 с.
21. Кудж С. А. Системный подход // Славянский форум. — 2014. — 1(5). — С.252 -257.
22. Цветков В.Я. Основы геоинформационного моделирования // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. — 1999. — №4. — С.147 -157.
23. Андреева О.А. Геоинформационное моделирование объектов транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. — 2019. — 4(12). — С.39-49.
24. Tsvetkov V. Ya. Information Models and Information Resources // European Journal of Technology and Design, 2016, 2 (12), p.79-86.
25. Subramanyam K. Scientific and technical information resources. — CRC Press, 2020.
26. Majinge R. M., Mutula S. M. Access to electronic and print information resources by people with visual impairments in university libraries: A review of related literature //Library Management. — 2018.
27. Цветков В.Я. Цифровые карты и цифровые модели // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. — 2000. — №2. — С.147-155.
28. Шайтура С.В. Информационная ситуация в геоинформатике// Образовательные ресурсы и технологии. — 2016. — №5 (17). — С.103-108.
29. Цветков В.Я. Систематика информационных ситуаций // Перспективы науки и образования. — 2016. — №5 (23). — С.64-68.
30. Бучкин В.А., Потапов А.С. Геоинформационное ситуационное моделирование // Славянский форум. -2020. — 2(28). — С.210-228.
31. Цветков В. Я. Ситуационное моделирование в геоинформатике // Информационные технологии. — 2014. — №6. — С.64-69.
32. Цветков В.Я., Андреева О.А., Рогов И.Е., Титов Е.К. Ситуационное моделирование транспортной инфраструктуры при мобильном лазерном сканировании // Автоматика, связь, информатика. 2020. № 2. С. 2-4.
33. Титов Е.К. Информационное ситуационное моделирование // Славянский форум. 2021, 3(33). С. 162-171.
34. Позняк И. И. Применение мобильного лазерного сканирования при мониторинге автомобильных дорог // Славянский форум. 2021, 3(33). С.393- 398.
35. Андреева О.А. Применение лазерной локации для сбора пространственной информации // Славянский форум. 2021, 4(34). С.356-359.
36. Андреева О. А. Применение мобильного лазерного сканирования для мониторинга объектов транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. — 2019. — 3(11). — С.61-74.
37. Mian A. S., Bennamoun M., Owens R. A. Automatic correspondence for 3D modeling: an extensive review //International Journal of Shape Modeling. — 2005. — Т. 11. — №. 02. — С. 253-291.
38. Андреева О. А. Информационные единицы в моделировании транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. — 2020. — 1(13). — С.57-68.

39. Rivers A., Durand F., Igarashi T. 3d modeling with silhouettes //Acm siggraph 2010 papers. — 2010. — С. 1-8.
40. Zheng J. et al. Structured3d: A large photo-realistic dataset for structured 3d modeling //European Conference on Computer Vision. — Springer, Cham, 2020. — С. 519-535.
41. Song S., Jo S. Surface-based exploration for autonomous 3d modeling //2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). — IEEE, 2018. — С. 4319-4326.
42. Reipschläger P., Dachsel R. Designar: Immersive 3d-modeling combining augmented reality with interactive displays //Proceedings of the 2019 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces. — 2019. — С.29-41.
43. Perez-Perez Y., Golparvar-Fard M., El-Rayes K. Segmentation of point clouds via joint semantic and geometric features for 3D modeling of the built environment //Automation in Construction. — 2021. — Т. 125. — С. 103584.
44. Kwon T. H. et al. Design of railway track model with three-dimensional alignment based on extended industry foundation classes //Applied Sciences. — 2020. — Т. 10. — №. 10. — С. 3649.
45. Jones, S.; Laquidara-Carr, D.; Lorenz, A.; Buckley, B.; Barnett, S. The Business Value of BIM for Infrastructure 2017; Dodge Data & Analytics: Bedford, MA, USA, 2017.
46. Qatar Rail. Qatar Rail Building Information Modelling Guidelines-MCR Overview; Qatar Rail: Doha, Qatar, 2011.
47. China Railway BIM Alliance. Alliance (CRBIM) (2015) Railway BIM Data Standard Version 1.0; China Railway BIM Alliance: Beijing, China, 2013.
48. MTR. Hong Kong Metro MTR Sustainability Report 2016; MTR: New Kowloon, Hong Kong, China, 2016.
49. Froese, T. Future directions for IFC-based interoperability. J. Inf. Technol. Constr. 2003, 8, 231–246.
50. Venugopal, M.; Eastman, C.M.; Sacks, R.; Teizer, J. Semantics of model views for information exchanges using the industry foundation class schema. Adv. Eng. Inform. 2012, 26, 411–428.
51. Costin, A.; Adibfar, A.; Hu, H.; Chen, S.S. Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure—literature review, applications, challenges, and recommendations. Automat. Constr. 2018, 94, 257–281.

УДК 001.98

Большие данные в интеллектуальных транспортных системах

Big Data in Intelligent Transportation Systems

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

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

Аннотация



Большие данные являются важным фактором при эксплуатации интеллектуальных транспортных систем (ИТС) и транспортных кибер-физических систем. Большие данные становятся важным фактором при создании интеллектуальной среды для объектов транспорта. Большие данные выступают в двух качествах. Первое качество — это большие объемы входных данных, которые необходимо обработать в ИТС. Второе качество — это результат обработки ИТС в виде большого объема и большого количества вариантов. Большая информативность входных данных делает ИТС более надежными и безопасными. Исследование применения больших данных в ИТС является перспективной областью исследований.

Ключевые слова: транспорт, интеллектуальные системы, интеллектуальные транспортные системы, большие данные, пространственная информация, аналитика больших данных.

Abstract

Big data is becoming an important factor in the operation of intelligent transport systems (ITS) and transport cyber-physical systems. Big data is becoming an important factor in creating an intelligent environment for transport facilities. Big data comes in two forms. The first quality is the large volumes of input data that need to be processed in the ITS. The second quality is the result of processing ITS in the form of a large volume and a large number of options. More informative input data makes ITS more reliable and secure. Research on the application of big data in ITS is a promising area of research.

Keywords: transport, intelligent systems, intelligent transport systems, big data, spatial information, big data analytics.



Введение

Большие данные являются актуальной темой в науке, в промышленности, в системах принятия решений. Они представляют собой не только большие и сложные наборы данных [1-4], но и разнообразные по виду и форматам данные и плохо структурированные данные больших объемов. Современные методы обработки больших данных включают специальные методы: интеллектуальный анализ данных [5], машинное обучение, искусственный интеллект, концептуальное смешивание [6], качественный анализ [7], сравнительный анализ [8] и так далее. Опыт использования аналитики *Big Data* в различных областях привел к положительным результатам [9]. Например, в сфере бизнеса некоторые предприятия используют *Big Data* для более точного понимания поведения потребителей, чтобы оптимизировать цену продукта, улучшить эффективность и снизить затраты на персонал [10].

В области интеллектуальных сред [11] и сетей с помощью анализа данных интеллектуальных сетей операторы сетей могут знать, какие части электрической нагрузки и частоты мощности слишком высоки, и даже могут диагностировать, какие линии находятся в отказном состоянии. Результаты анализа этих данных могут быть использованы при модернизации электросети, ремонтно-эксплуатационных работах [12]. Благодаря успешному применению аналитики больших данных во многих областях интеллектуальные транспортные системы также начинают использовать большие данные с большей эффективностью.

Накопленный опыт в области обработки больших данных позволил сформировать специальное направление, которое называют «аналитика больших данных». Аналитика больших данных решила три проблемы: хранение данных, анализ данных и управление данными. Аналитика больших данных может быть использована не только в ИТС [13], но и в транспортных кибер-физических системах (ТКФС) [14, 15]. Общим для ИТС и ТКФС является наличие среды поддержки. Аналитика больших данных может быть использована для организации среды поддержки ИТС и ТКФС.

Интеллектуальные транспортные системы

Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) разрабатываются с начала 1970-х годов. ИТС включает в себя передовые технологии, которые включают в себя электронные сенсорные технологии, технологии передачи данных и интеллектуальные технологии управления в транспортных системах [16]. Целью ИТС является предоставление более качественных услуг для водителей и пассажиров в транспортных системах.

В ИТС данные могут быть получены из различных источников, таких как смарт-карты, GPS, датчики, видео-детекторы, социальные сети и так далее. Использование точной и эффективной аналитики данных может обеспечить лучший сервис для ИТС [17]. С развитием ИТС объем данных, генерируемых в ИТС, развивается от уровня триллиона байт до петабайта. Учитывая такой объем

данных, традиционные системы обработки данных неэффективны и не могут удовлетворить требования к анализу данных. Это связано с тем, что они не предвидят быстрого роста объема и сложности данных.

Интеллектуальная транспортная система включает в себя передовые технологии, которые включают в себя электронные сенсорные технологии, технологии передачи данных и интеллектуальные технологии управления в транспортных системах. Целью ИТС является предоставление более качественных услуг для водителей и пассажиров в транспортных системах [13, 18]. Согласно [18], ИТС включает в себя шесть основных компонентов: передовые системы управления транспортом, передовые информационные системы для путешественников, передовые системы управления транспортными средствами, управление деловыми транспортными средствами, передовые системы общественного транспорта и передовые системы городского транспорта.

Данные, собираемые интеллектуальными транспортными системами (ИТС), становятся все более сложными и программы их обработки имеют специальные функции *Big Data*. Крупные компании, включая *Gartner*, *IBM* и *Microsoft*, предположили, что большие данные могут быть описаны тремя V, то есть объемом, разнообразием и скоростью [3, 19].

Объем относится к объемам данных, полученных из различных источников, и продолжает расширяться. С ростом объема трафика и детекторов объем данных на транспорте значительно увеличился. Кроме того, путешественники, товары и транспортные средства генерируют больше данных при использовании транспондеров отслеживания. Данные, получаемые из инфраструктур, экологического и метеорологического мониторинга, также увеличиваются в качестве важнейшей части транспортных данных.

Разнообразие в основном сосредоточено на всех видах данных, производимых детекторами, датчиками и даже социальными сетями. Разнообразие данных, связанных с транспортом, значительно возросло. Например, современные транспортные средства могут сообщать внутреннюю телеметрию системы в режиме реального времени и информацию обо всех членах экипажа и пассажирах.

Скорость передачи данных увеличилась благодаря совершенствованию коммуникационных технологий, увеличению вычислительной мощности и скорости мониторинга и обработки. Например, транзакции по продаже билетов и толлингу, в которых используются смарт-карты или метки, теперь немедленно сообщаются, в то время как бумажные билеты нуждаются в обработке человеком для получения полезных данных из транзакций. Архитектура проведения аналитики *Big Data* в ИТС включает три уровня: уровень сбора данных, уровень аналитики данных и прикладной уровень.

Уровень сбора данных

Уровень сбора данных является основой архитектуры, поскольку он предоставляет необходимые данные >>>

для верхнего уровня. Данные поступают из различных источников, таких как индукционные петлевые детекторы, микроволновые радары, видеонаблюдение, дистанционное зондирование, данные радиочастотной идентификации, GPS и т. Д.

Системы автоматического сбора платы за проезд (AFC) широко распространены в городских железнодорожных системах, что делает данные смарт-карт основным источником данных для исследования моделей движения пассажиров [20]. В системах AFC пассажиры обязаны использовать смарт-карты, когда они садятся в автобусы или поезда. Электронные считыватели будут захватывать данные пассажира, такие как время посадки. Информация поступает, когда пассажиры касаются своих смарт-карт.

Смарт-карты в системах AFC генерируют огромное количество записей данных каждый день в больших городах. Например, транспорт для Лондона (TfL) собирает данные смарт-карт из 8 миллионов поездок каждый день на станциях лондонского метро. Проведена существенная работа по использованию данных смарт-карт для изучения пространственных и временных закономерностей поведения пассажиров общественного транспорта [21, 22]. Благодаря своей потенциальной способности предоставлять всеобъемлющую пространственно-временную информацию о поведении путешественников [23], данные смарт-карт становятся важным компонентом планирования и управления услугами общественного транспорта

GPS является популярным инструментом для отслеживания местоположения. Данные о дорожном движении могут быть собраны более эффективно и безопасно с помощью отслеживания местоположения через GPS. Сочетая в себе геоинформационную систему (ГИС) или другие технологии отображения карт, GPS предоставляет перспективный инструмент для сбора данных, и собранные данные могут быть использованы для решения многих проблем дорожного движения, таких как обнаружение режима движения [24], измерение задержки движения [25] и мониторинг трафика [26] и геомониторинг [27].

Видеокамеры широко используются в ИТС. Как показано в передовых системах управления дорожным движением (ATMS), системы обнаружения видеоизображения (VIDS) являются хорошими альтернативами по сравнению с обычными датчиками для таких задач, как идентификация транспортных средств и обнаружение транспортного потока. Одним из преимуществ VIDS является низкая стоимость [28]. Датчики изображения автострады, использующие объемные видеоданные, были успешно развернуты для обнаружения инцидентов и показали высокую точность [29]. Помимо общего управления дорожным движением [30], транспортные инженеры и планировщики, которые собирают более точные видеоданные о транспортных средствах, могут улучшить систему обработки изображений, чтобы лучше удовлетворять общий спрос на транспорт в отношении моделей выбросов транспортных средств.

Сенсорное оборудование, установленное в ИТС, используется для сбора таких данных, как скорость транспортного средства, плотность транспортных средств,

транспортные потоки и время поездки. Традиционные дорожные датчики (например, инфракрасные и микроволновые детекторы) развиваются для получения, вычисления и передачи данных о дорожном движении [31]. Как представлено в [31], сбор данных с датчиков можно разделить на три группы: придорожные данные о ситуации вокруг трассы, данные о мобильных одиночных средствах, данные о потоке трафика.

Подключенные и автономные транспортные средства (CAV) — это новые технологии в области ИТС, которые сочетают в себе радикальные изменения конструкции транспортных средств и их взаимодействие с дорожной инфраструктурой. Подключенные и автономные транспортные средства включают в себя ряд различных технологий, способствующих безопасному и эффективному перемещению людей и товаров. Дорожная система с поддержкой CAV продемонстрировала большой потенциал для уменьшения заторов, сокращения задержек в пути и повышения эффективности безопасности [32]. CAV могут генерировать большое количество экологически значимых транспортных данных в режиме реального времени, таких как координаты, скорость, ускорение, данные о безопасности [32]. Используя новейшие сетевые технологии, такие как программно-определяемые сети, данные могут быть получены более эффективно [33]. Эти данные могут быть использованы для создания актуальной информации для поддержки и облегчения выбора зеленого транспорта, а также применяться к адаптивному управлению сигналом в режиме реального времени [34].

Vehicle Ad Hoc Network (VANET) — это своего рода мобильная одноранговая сеть, которая использует транспортные средства и элементы инфраструктуры в качестве узлов для увеличения зоны покрытия и коммуникационных возможностей. Являясь важной частью ИТС, VANET генерирует большие объемы данных [35]. Подготовка данных и результаты в режиме реального времени являются сложными задачами для крупномасштабного анализа. Используя аналитику больших данных, можно решить большинство проблем, связанных с данными VANET [36], таких как фильтрация данных [37], оповещение о заторах и авариях [38] и прогнозирование транспортных потоков [39].

Существуют проблемы при сборе данных. Из-за частого движения транспортных средств и пешеходов данные, собранные при транспортировке, могут быть неточными, неполными или ненадежными в определенных местах или в определенное время. Например, не все транспортные средства оснащены методами, необходимыми для предоставления данных о местоположении в режиме реального времени, и данные о дорожном движении от дорожных датчиков могут отсутствовать. Одним из возможных способов решения проблемы является инвестирование новых технологий сбора данных и улучшение возможностей сбора данных. С развитием IoT ежегодно изобретаются новые сенсорные методы, которые могут помочь улучшить сбор данных и качество данных. Кроме того, внедрение автоматизации сбора данных для сведения к минимуму ручного ввода данных также имеет важное значение для повышения качества данных. >>>

Уровень анализа данных

Уровень анализа данных является основным уровнем архитектуры. Этот уровень в первую очередь предназначен для получения данных с уровня сбора данных, а затем применения различных подходов к анализу больших данных и соответствующей платформы для завершения хранения, управления, интеллектуального анализа и совместного использования данных.

Уровень анализа данных получает исходные данные о трафике, он сначала классифицирует данные, удаляет дубликаты данных, очищает данные и распределяет полезные и точные данные распределенным образом. Затем он использует математику и инженерную теорию для извлечения латентной информации и неявных знаний, в основном включая описательный анализ и прогнозный анализ.

Большие данные исключают их непосредственное восприятие и анализ человеком. Поэтому часто для этой цели применяют машинное обучение. Машинное обучение является наиболее популярной теорией моделирования и аналитики в экосистемах больших данных, что позволяет легко получать шаблоны и модели из большого объема данных. В областях ИТС теория машинного обучения также широко используется для проведения анализа данных. В зависимости от полноты набора данных, доступного для обучения, модели машинного обучения можно разделить на контролируемые, неконтролируемые и подкрепленные алгоритмы обучения. С недавним быстрым развитием искусственного интеллекта мощные модели глубокого обучения также были недавно приняты в ИТС.

Среди всех моделей контролируемого обучения в ИТС наиболее часто используются линейная регрессия, деревья решений, нейронные сети и машины опорных векторов. Функция регрессии состоит в том, чтобы объяснить связь между одной зависимой переменной и одной или несколькими независимыми переменными. Линейная регрессия является наиболее часто используемым контролируемым обучением [40]. Линейная регрессия невероятно проста, надежна, легко интерпретируется и легко кодируется. Несмотря на свою простоту, линейная регрессия особенно успешна в различных сценариях ИТС, таких как прогнозирование транспортных потоков [41], оценка скорости движения [42] и оценка маршрута движения транспорта [43].

Дерево решений — это инструмент поддержки принятия решений, который использует древовидный граф для моделирования решений и их возможных последствий [44]. Благодаря своей портативности, надежности и прозрачности, деревья решений широко используются в различных сценариях ИТС, таких как обнаружение дорожно-транспортных происшествий [45], анализ тяжести аварии [46] и выбор режима движения [47]. Однако для больших данных дерево решений не анализируется человеком, а только машинными методами.

Искусственная нейронная сеть (ANN) является популярным примером гибкого и надежного контролируемого обучения как для классификации, так и для регрессии. Обладая достаточным количеством скрытых слоев узлов обработки и обучающих данных, ANN может изучать лю-

бые нелинейные отношения между входными и целевыми данными. В качестве инструмента моделирования данных он также был принят в ИТС, таких как прогнозирование транспортных потоков [48], прогнозирование времени в пути [49], обнаружение дорожно-транспортных происшествий [50] и прогнозирование оставшихся парковочных мест [51].

ИТС являются системами, обрабатывающими и анализирующими пространственную информацию. Обработка пространственной информации требует применения методов геоинформатики. В геоинформатике исходная информация преобразовывается в геоданные, а затем в специальные модели обработки [52]. Для обработки пространственной информации применяют геоинформационное моделирование [53-55]. Для сопоставимости разных моделей разных ИТС используют методологию информационных единиц [56]. Основой анализа служат информационные модели и информационные ресурсы [57]. При анализе транспортных ситуаций необходимо использовать модели информационных ситуаций и осуществлять их систематику [58]. Результат анализа позволяет формировать пространственные знания [59] и геознания [60].

Прикладной уровень

Прикладной уровень является самым верхним уровнем в этой архитектуре. Он применяет результаты процесса обработки данных из уровня анализа данных в различных транспортных условиях, например, прогнозирование транспортного потока, управление движением, управление сигналом и аварийное спасение и т. д. Прикладной уровень — это уровень решения прикладных задач и уровень прикладных систем [61]

Big Data обеспечивает техническую поддержку для разработки и применения ИТС. Благодаря эффективному, точному и своевременному сбору, анализу и обработке данных в системе автомобильного и железнодорожного транспорта приложения *Big Data* могут обеспечить населению удобную и высокоэффективную транспортировку. Чтобы выявить проблемы, повысить эффективность ИТС, снизить затраты и получить ценную информацию, приложения *Big Data* в ИТС можно разделить на следующие шесть категорий.

Многие исследования были сосредоточены на использовании аналитики больших данных в анализе дорожно-транспортных происшествий. Используя измеренные данные о транспортных потоках, *Golob* и *Recker* [62] изучают взаимосвязи между погодой, условиями освещения, транспортным потоком и дорожно-транспортными происшествиями на городских автострадах с помощью многомерной статистической модели. В [17] байесовский вывод применяется в модели прогнозирования сбоев в режиме реального времени для снижения рисков аварий [63]

При анализе вводят классификационные и регрессионные деревья (CART), логистическую регрессию и многомерные адаптивные регрессионные сплайны (MARS) для выполнения аналитической операции с данными о травматизме в результате дорожно-транспортных происшествий. На основе семантических моделей >>>

данных система мониторинга железнодорожных активов реализована в [64] и оказалась более способной к интеграции, расширяемости и совместимости данных по сравнению с традиционными подходами. Используя данные, собранные несколькими инспекционными транспортными средствами на 330 000 км железнодорожного пути, Зарембский [65] вводит процедуру сбора, хранения и планирования обслуживания железнодорожного пути с помощью аналитики Big Data с целью оптимизации инфраструктуры и контроля затрат

Исследуя тенденции развития виртуального центра обработки данных (ЦОД) и его технические преимущества, предложена схема виртуальной системы интеллектуального транспорта ЦОД на базе VMware vSphere. Платформа моделирования больших данных предлагается в [66] для района Большого Торонто. Платформа позволяет запускать приложения для транспортировки больших данных в режиме реального времени

Использование информации о пассажирских перевозках Шанхайской железнодорожной транспортной линии. [67] позволило оценить эффективность расписания движения поездов. Этот метод апробирован в реальной системе железнодорожных перевозок, которая включает в себя более 1 миллиона пассажирских поездок и свыше 600 поездов. [68]

На прикладном уровне применяют метод интеллектуальной работы поезда (STO), который сочетает в себе преимущества автоматического управления поездом (ATO) и ручного управления. Слияние экспертных знаний и алгоритма интеллектуального анализа данных применяется в методе STO. Результаты показывают, что в потреблении энергии и комфорте езды этот предложенный метод лучше, чем ATO, а по пунктуальности и точности парковки он также лучше, чем ручное вождение. Чен и др. [69] предлагают две упрощенные модели взаимосвязи между стоп-ошибкой поезда и параметрами управления поездом с использованием данных о скорости движения поездов, данные о времени и расстоянии перед остановкой, а также внедрить один алгоритм онлайн-обучения — полиномиальный алгоритм адалина для повышения точности парковки

Результаты показывают, что предложенные упрощенные модели и алгоритмы онлайн-обучения эффективны в снижении ошибок парковки и исправлении смещения распределения стоп-ошибок поезда. Чжоу [70] применяет два типичных алгоритма машинного обучения Гауссовских процессов и Boosting для повышения точности остановки поезда за счет использования ряда исходных данных о скорости и данных о расстоянии перед остановкой. Результаты показывают, что алгоритм регрессии Гаусса получает наилучшую производительность. Хоу и др. [71] Предложены три алгоритма управления остановкой поезда, которые выбирают исходные данные о положении торможения, данные о тормозном усилии и их комбинированные данные в качестве входных данных управления. Основанные на терминальном итеративном управлении обучением (TILC), эти алгоритмы используют ошибку стоп-позиции в предыдущем процессе торможения для повышения точности остановки поезда. Чен и др. [72] использовать новую технику машинного обучения

и предложить новые алгоритмы управления онлайн-обучением для реализации автоматического управления остановкой поезда.

Заключение

В области больших данных существует большое количество заблуждений, которые мешают восприятию и пониманию этой проблемы. Первое заблуждение — это попытка связать проблему только с большими объемами данных. К большим данным относят данные с большим разнообразием типов данных, что исключает обработку обычными методами. К большим данным относят данные с плохой структурированностью, что требует их предварительной структуризации и систематизации. К большим данным относят данные с большим количеством погрешностей и нечеткой информации, что требует предварительного уменьшения нечеткости и погрешностей. Без этих видов предварительной обработки данные непригодны для использования в ИТС.

- Большие данные, в первую очередь, содержат проблемы, которые только в случае их решения создают положительный эффект. Необходимо выделить несколько парадигм, связанных с обработкой больших данных.
- Большие данные — это не просто большие данные, а очень большие данные. Нельзя к большим данным относить объемы в мегабайтах или гигабайтах. Объемы больших данных — это терабайты или пета байты.
- Большие данные исключают применение обычного программного обеспечения. Большие данные требуют применения специального программного обеспечения. Если данные обрабатывают обычным программным обеспечением, это не большие данные.
- Большие данные повышают информативность о ситуации, но только после их обработки.
- Большие данные содержат большое количество неполной информации или информации с погрешностями. Это требует использования дополнительных методов по первичной обработке информации.
- Большие данные требуют предварительной обработки и сжатия информации.
- Большие данные увеличивают время обработки информации.
- Большие данные имеют повышенную сложность, превосходящую сложность когнитивного восприятия. Если человек в состоянии понять и анализировать исходные данные, то это не большие данные. Сложность больших данных лежит за пределами человеческого восприятия.
- Большие данные позволяют решать глобальные задачи, которые обычными методами не решаются. Например, прогноз погоды в масштабе всего земного шара.

Таким образом, большие данные создают больше первичных проблем, но их решение приносит большие преимущества. Сформировалось новое понятие «аналитика больших данных». Аналитика больших данных предоставляет ИТС новый технический метод для обработки и использования больших данных. ИТС мо- >>>

жет извлечь выгоду только применяя аналитику больших данных в разных аспектах. В академических кругах была проделана значительная работа по использованию аналитики больших данных в управлении и контроле железнодорожных перевозок. Одним из примеров технического обслуживания на основе аналитики больших данных является проведение голландскими железными дорогами *Axle Box Acceleration* (ABA). ■

Список литературы

1. Fan C. et al. Advanced data analytics for enhancing building performances: From data-driven to big data-driven approaches // *Building Simulation*. — Tsinghua University Press, 2021. — Т. 14. — № 1. — С.3-24.
2. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Информационные процессы в пространстве «больших данных» // *Мир транспорта*. 2017. — Т.15, №6(73). — С.20-30.
3. Буравцев А.В., Цветков В.Я. Облачные вычисления для больших геопространственных данных // *Информация и космос*. 2019. — №3. — С.110-115.
4. Fathi M. et al. Big data analytics in weather forecasting: A systematic review // *Archives of Computational Methods in Engineering*. — 2021. — С.1-29.
5. Dogan A., Birant D. Machine learning and data mining in manufacturing // *Expert Systems with Applications*. — 2021. — Т. 166. — С.114060.
6. Розенберг И. Н., Цветков В. Я. Концептуальное пространственное смешивание при анализе объектов транспортной инфраструктуры // *Наука и технологии железных дорог*. — 2019. Т.3.— 3(11). — С.3-16.
7. Barbazza E., Klazinga N. S., Kringos D. S. Exploring the actionability of healthcare performance indicators for quality of care: a qualitative analysis of the literature, expert opinion and user experience // *BMJ quality & safety*. — 2021. — Т. 30. — №. 12. — С.1010-1020.
8. Terrén-Serrano G., Martínez-Ramón M. Comparative analysis of methods for cloud segmentation in ground-based infrared images // *Renewable Energy*. — 2021. — Т. 175. — С.1025-1040.
9. M. Chen, S. Mao, and Y. Liu, "Big data: A survey," *Mobile Netw. Appl.*, vol. 19, no. 2, pp. 171–209, Apr. 2014.
10. H. Chen, R. H. Chiang, and V. C. Storey, "Business intelligence and analytics: From big data to big impact," *MIS Quart.*, vol. 36, no. 4, pp. 1165–1188, 2012.
11. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Среда поддержки интеллектуальных систем // *Транспорт Российской Федерации*. — 2011. -№ 6. — С.6-8.
12. M. Mayilvaganan and M. Sabitha, "A cloud-based architecture for bigdata analytics in smart grid: A proposal," in *Proc. IEEE Int. Conf. Comput. Intell. Comput. Res. (ICIC)*, Dec. 2013, pp. 1–4.
13. Цветков В.Я., Розенберг И.Н. Интеллектуальные транспортные системы — Saarbrücken, 2012. — 297с.
14. Pivoto D. G. S. et al. Cyber-physical systems architectures for industrial internet of things applications in Industry 4.0: A literature review // *Journal of manufacturing systems*. — 2021. — Т. 58. — С.176-192.
15. Цветков В.Я. Управление с применением кибер-физических систем // *Перспективы науки и образования*. — 2017. — №3(27). — С.55-60.
16. Guerrero Ibañez J., Contreras Castillo J., Zeadally S. Deep learning support for intelligent transportation systems // *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*. — 2021. — Т. 32. — №. 3. — С.e4169.
17. Q. Shi and M. Abdel-Aty, "Big data applications in real-time traffic operation and safety monitoring and improvement on urban expressways," *Transp. Res. C, Emerg. Technol.*, vol. 58, pp. 380–394, Sep. 2015.
18. S.-H. An, B.-H. Lee, and D.-R. Shin, "A survey of intelligent transportation systems," in *Proc. Int. Conf. Comput. Intell.*, Jul. 2011, pp. 332–337.
19. D. Corrigan, P. Zikopoulos, K. Parasuraman, T. Deutsch, D. Deroos, and J. Giles, *Harness the Power of Big Data the IBM Big Data Platform*. 1st ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, Nov. 2012.
20. Y. Liu, X. Weng, J. Wan, X. Yue, and H. Song, "Exploring data validity in transportation systems for smart cities," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 55, no. 5, pp. 26–33, 2017.
21. H. Nishiuchi, J. King, and T. Todoroki, "Spatial-temporal daily frequent trip pattern of public transport passengers using smart card data," *Int. J. Intell. Transp. Syst. Res.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–10, 2013.
22. M. A. Munizaga and C. Palma, "Estimation of a disaggregate multimodal public transport Origin–Destination matrix from passive smartcard data from Santiago, Chile," *Transp. Res. C, Emerg. Technol.*, vol. 24, pp. 9–18, Oct. 2012.
23. K. A. Chu and R. Chapleau, "Enriching archived smart card transaction data for transit demand modeling," *Transp. Res. Rec., J. Transp. Res. Board*, pp. 63–72, Dec. 2008.
24. X. Wang, S. Zhao, and L. Dong, "Research and application of traffic visualization based on vehicle GPS big data," in *Proc. Int. Conf. Intell. Transp.*, 2016, pp. 293–302.
25. C. Asensio, J. López, R. Pagán, I. Pavón, and M. Ausejo, "GPSbased speed collection method for road traffic noise mapping," *Transp. Res. D, Transp. Environ.*, vol. 14, no. 5, pp. 360–366, 2009.

26. J. C. Herrera, D. B. Work, R. Herring, X. Ban, Q. Jacobson, and A. M. Bayen, "Evaluation of traffic data obtained via GPS-enabled mobile phones: The mobile century field experiment," *Transp. Res. C, Emerg. Technol.*, vol. 18, no. 4, pp. 568–583, Aug. 2010.
27. Маркелов В.М., Цветков В. Я. Геомониторинг// Славянский форум, 2015. — 2(8). — С.177-184.
28. K. G. Courage, M. Doctor, S. Maddula, and R. Surapaneni, "Video image detection for traffic surveillance and control," *Transp. Res. Center, Univ. Florida, Gainesville, FL, USA, Tech. Rep. TD100:FL96119*, Mar. 1996.
29. C. Grant, B. Gillis, and R. Guensler, "Collection of vehicle activity data by video detection for use in transportation planning," *J. Intell. Transp. Syst.*, vol. 5, no. 4, pp. 343–361, 2000.
30. M. Kadaieaswaran, V. Arunprasath, and M. Karthika, "Big data solution for improving traffic management system with video processing," *Int. J. Eng. Sci.*, vol. 7, no. 2, 2017.
31. J. Lopes, J. Bento, E. Huang, C. Antoniou, and M. Ben-Akiva, "Traffic and mobility data collection for real-time applications," in *Proc. IEEE Intell. Transp. Syst. (ITCC)*, Sep. 2010, pp. 216–223.
32. J. Lopes, J. Bento, E. Huang, C. Antoniou, and M. Ben-Akiva, "Traffic and mobility data collection for real-time applications," in *Proc. IEEE Intell. Transp. Syst. (ITCC)*, Sep. 2010, pp. 216–223.
33. X. Wang, C. Wang, J. Zhang, M. Zhou, and C. Jiang, "Improved rule installation for real-time query service in software-defined Internet of vehicles," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 18, no. 2, pp. 225–235, Feb. 2017.
34. R. King, "Traffic management in a connected or autonomous vehicle environment," in *Proc. Auto. Passenger Veh.*, May 2015, pp. 1–20.
35. P. Bedi and V. Jindal, "Use of big data technology in vehicular ad-hoc networks," in *Proc. Int. Conf. Adv. Comput., Commun. Inform. (ICACCI)*, Sep. 2014, pp. 1677–1683.
36. P. Bedi and V. Jindal, "Use of big data technology in vehicular ad-hoc networks," in *Proc. Int. Conf. Adv. Comput., Commun. Inform. (ICACCI)*, Sep. 2014, pp. 1677–1683.
37. M. Tan, I. W. Tsang, and L. Wang, "Towards ultrahigh dimensional feature selection for big data," *J. Mach. Learn. Res.*, vol. 15, pp. 1371–1429, Apr. 2014.
38. A. Mahajan and A. Kaur, "Predictive urban traffic flow model using vehicular big data," *Indian J. Sci. Technol.*, vol. 9, no. 42, pp. 1–8, 2016.
39. H. A. Najada and I. Mahgoub, "Anticipation and alert system of congestion and accidents in vanet using big data analysis for intelligent transportation systems," in *Proc. IEEE Symp. Ser. Comput. Intell. (SSCI)*, Dec. 2016, pp. 1–8.
40. G. A. Seber and A. J. Lee, *Linear Regression Analysis*, vol. 936. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2012.
41. H. Sun, H. Liu, H. Xiao, R. He, and B. Ran, "Use of local linear regression model for short-term traffic forecasting," *Transp. Res. Rec., J. Transp. Res. Board*, pp. 143–150, Jan. 2003.
42. Z. Shan, D. Zhao, and Y. Xia, "Urban road traffic speed estimation for missing probe vehicle data based on multiple linear regression model," in *Proc. 16th Int. IEEE Conf. Intell. Transp. Syst. (ITCC)*, Oct. 2013, pp. 118–123.
43. N. Zenina and A. Borisov, "Regression analysis for transport trip generation evaluation," *Inf. Technol. Manage. Sci.*, vol. 16, no. 1, pp. 89–94, 2013.
44. J. R. Quinlan, "Induction of decision trees," *Mach. Learn.*, vol. 1, no. 1, pp. 81–106, 1986.
45. H. J. Payne and S. Tignor, "Freeway incident detection algorithms based on decision trees with states," *Transp. Res. Rec.*, vol. 682, pp. 30–37, Jan. 1978.
46. J. Abellán, G. López, and J. De Oña, "Analysis of traffic accident severity using decision rules via decision trees," *Expert Syst. Appl.*, vol. 40, no. 15, pp. 6047–6054, 2013.
47. C. Xie, J. Lu, and E. Parkany, "Work travel mode choice modeling with data mining: Decision trees and neural networks," *Transp. Res. Rec., J. Transp. Res. Board*, pp. 50–61, Jan. 2003.
48. E. I. Vlahogianni, M. G. Karlaftis, and J. C. Golias, "Optimized and meta-optimized neural networks for short-term traffic flow prediction: A genetic approach," *Transp. Res. C, Emerg. Technol.*, vol. 13, no. 3, pp. 211–234, 2005.
49. J. Van Lint, S. P. Hoogendoorn, and H. J. van Zuylen, "Accurate freeway travel time prediction with state-space neural networks under missing data," *Transp. Res. C, Emerg. Technol.*, vol. 13, nos. 5–6, pp. 347–369, Oct./Dec. 2005.
50. X. Jin, R. L. Cheu, and D. Srinivasan, "Development and adaptation of constructive probabilistic neural network in freeway incident detection," *Transp. Res. C, Emerg. Technol.*, vol. 10, no. 2, pp. 121–147, 2002.
51. X. Zhu, J. Guo, and W. Huang, "Short-term forecasting of remaining parking spaces in parking guidance systems," in *Proc. 95th Annu. Meeting Transp. Res. Board*, 2016.
52. Цветков В.Я. Создание интегрированной информационной основы ГИС// Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофото-съемка. — 2000. — №4. — С.150-154.
53. Бучкин В.А. Цифровое моделирование и геоинформационное моделирование // Славянский форум. -2020. — 2(28). — С.15-23.
54. Цветков В. Я. Ситуационное моделирование в геоинформатике // Информационные технологии. — 2014. — №6. — С.64-69.
55. Цветков В.Я. Основы геоинформационного моделирования // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. — 1999. — №4. — С.147 -157.
56. Цветков В.Я. Паралингвистические информационные единицы в образовании// Перспективы науки и образования. — 2013. — 4(4). — С.30-38.
57. Tsvetkov V. Ya. Information Models and Information Resources // *European Journal of Technology and Design*, 2016, 2 (12), pp.79-86.
58. Цветков В.Я. Систематика информационных ситуаций // Перспективы науки и образования. — 2016. — №5 (23). — С.64-68.
59. Цветков В.Я. Формирование пространственных знаний. — М.: МАКС Пресс, 2015. — 68 с.
60. Tsvetkov V. Ya. Geoknowledge // *European Journal of Technology and Design*. — 2016, 3(13), pp. 122-132.
61. Цветков В.Я. Прикладные системы // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. — 2005. — №3. — С.76- 85.

62. T. F. Golob and W. W. Recker, "Relationships among urban freeway accidents, traffic flow, weather, and lighting conditions," *J. Transp. Eng.*, vol. 129, no. 4, pp. 342–353, 2003.
63. G. Xiong, F. Zhu, H. Fan, X. Dong, W. Kang, and T. Teng, "Novel ITC based on space-air-ground collected big-data," in *Proc. IEEE Int. Conf. Intell. Transp. Syst.*, Oct. 2014, pp. 1509–1514.
64. Tutcher, "Ontology-driven data integration for railway asset monitoring applications," in *Proc. IEEE Int. Conf. Big Data*, Oct. 2014, pp. 85–95.
65. A. M. Zarembski, "Some examples of big data in railroad engineering," in *Proc. IEEE Int. Conf. Big Data*, Oct. 2014, pp. 96–102.
66. I. R. Kamel, H. Abdelgawad, and B. Abdulhai, "Transportation big data simulation platform for the greater toronto area (GTA)," in *Smart City 360°*. New York, NY, USA: Springer, 2016, pp. 443–454.
67. Z. Jiang, C.-H. Hsu, D. Zhang, and X. Zou, "Evaluating rail transit timetable using big passengers' data," *J. Comput. Syst. Sci.*, vol. 82, no. 1, pp. 144–155, 2016.
68. J. Yin, D. Chen, and Y. Li, "Smart train operation algorithms based on expert knowledge and ensemble CART for the electric locomotive," *Knowl.-Based Syst.*, vol. 92, pp. 78–91, Jan. 2016.
69. D. Chen, T. Tang, C. Gao, and R. Mu, "Research on the error estimation models and online learning algorithms for train station parking in urban rail transit," *China Railway Sci.*, vol. 31, no. 6, pp. 122–127, 2010.
70. J. Zhou, "Applications of machine learning methods in problem of precise train stopping," *Comput. Eng. Appl.*, vol. 46, no. 25, pp. 226–230, 2010.
71. Z. Hou, Y. Wang, C. Yin, and T. Tong, "Terminal iterative learning control based station stop control of a train," *Int. J. Control*, vol. 84, no. 7, pp. 1263–1274, 2011.
71. D. Chen, R. Chen, T. Tang, and Y. Li, "Online learning algorithms for train automatic stop control using precise location data of balises," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 14, no. 3, pp. 1526–1535, Sep. 2013.

УДК 001.895; 629.066; 656.029; 656.3

Жизненный цикл диспетчерских центров управления железнодорожными перевозками

Rail Operations Control Centres Lifecycle

Озеров А.В., Начальник Международного управления, АО «НИИАС»,

E-mail: A.Ozerov@vniias.ru, Москва, Россия

Ozerov A.V., Head of International Department, JSC NIAS,

E-mail: A.Ozerov@vniias.ru, Moscow, Russia

Бересток Н.О., Главный технолог Центра реализации комплексных проектов, АО «НИИАС»,

E-mail: N.Berestok@vniias.ru, Москва, Россия

Berestok N.O., Senior process engineer of Complex Project Implementation Centre, JSC NIAS,

E-mail: N.Berestok@vniias.ru, Moscow, Russia

Аннотация

В статье описаны основные этапы жизненного цикла диспетчерских центров управления (ДЦУП) на железнодорожном транспорте в условиях цифровой трансформации и быстрого устаревания компьютерной техники. Произведена оценка среднего срока службы диспетчерских центров управления применительно к разным поколениям ДЦУП и предложен общий подход к оценке срока службы ДЦУП, с учетом факторов состояния здания, уровня технической оснащенности, надежности и соответствия оборудования современным задачам диспетчерского управления.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, диспетчерский центр управления перевозками, жизненный цикл, срок службы, диспетчерское управление, техническая оснащенность, надежность, цифровая трансформация.

Abstract

This paper addresses the railway operations control centres (OCC) life cycle stages in the context of the digital transformation of railway transport and rapid ageing of computer equipment. The authors evaluated the average lifetime of Rail Operations Control Centres in relation to different generations of ROCCs and proposed a general approach to the evaluation of a ROCC lifetime considering the factors of a building condition, equipment level, equipment reliability and compliance with the current tasks of traffic control.

Keywords: Railway transport, Rail Operations Control Centres (ROCC), lifecycle (LC), lifetime, traffic control, equipment level, reliability, digital transformation.



Введение

На фоне стремительного развития компьютерных технологий, средств связи и информатизации, в последнее десятилетие значительно возросла роль диспетчерских центров управления (ДЦУП) в общей структуре организации перевозочного процесса на железных дорогах разных стран. Вычислительные возможности современных программно-аппаратных средств позволяют оперировать гораздо большим объемом данных с гораздо большей скоростью и позволяют автоматизировать все большее количество операций диспетчерского управления, относящихся к его основным задачам.

Оборотная сторона этого процесса — возможный пересмотр представления о продолжительности периода эксплуатации (сроке службы) современного ДЦУП в связи с быстрым устареванием оборудования и необходимостью более частой его замены в сравнении с диспетчерскими центрами управления предыдущих поколений. В [1] предложена классификация эволюции центров управления перевозками, согласно которой текущее состояние современных диспетчерских центров определяется как ДЦУП 3.0, а целевое состояние в среднесрочной перспективе характеризуется как ДЦУП 4.0. Под целевым состоянием ДЦУП понимается совокупность взаимосвязанных функциональных задач ДЦУП и технических средств для их реализации, соответствующих заданным в концепции требованиям.

В литературе мало исследована фактическая продолжительность эксплуатации ДЦУП в разных странах мира и не представлены критерии расчета средней продолжительности срока службы ДЦУП в зависимости от его функциональных задач и уровня технической оснащенности. В этой связи в 2021 г. АО «НИИАС» в рамках проектной деятельности Международного союза железных дорог (МСЖД) было проведено международное исследование, в котором были собраны из открытых источников и проанализированы данные о диспетчерских центрах управления в разных странах мира, включая такие данные, как годы строительства, ввода в эксплуатацию, модернизации и т.д. [2]. Некоторые результаты исследования получили развитие в данной статье.

Этапы жизненного цикла ДЦУП

Согласно ГОСТ Р 54504-2011, жизненный цикл (ЖЦ) объекта железнодорожного транспорта — это «совокупность взаимосвязанных, последовательно осуществляемых процессов установления требований, создания, применения и утилизации объекта железнодорожного транспорта, происходящих в течение периода времени, который начинается с этапа создания концепции объекта железнодорожного транспорта и заканчивается после этапа утилизации объекта железнодорожного транспорта» [3].

Если воспользоваться стандартной V-образной моделью ЖЦ железнодорожного объекта, то ЖЦ ДЦУП можно поделить на три больших стадии — разработка концепции и технических требований в рамках тендерной стадии, создание и эксплуатация диспетчерского центра управления перевозками (Рис. 1).

Концепция определяет цели и задачи создания ДЦУП, направления дальнейшего развития, описывает текущую модель управления перевозками, а также включает технико-экономическое обоснование создания ДЦУП для управления движением. При разработке концепции анализируется лучший международный опыт и проводится SWOT-анализ выбранных стратегий (сценариев) развития с учетом целого ряда факторов, определяются технические решения.

На основе концепции и существующих технических условий формируются технические требования к ДЦУП, которые включают технические требования как к зданию, средствам электроснабжения, кондиционированию, размещению диспетчерского персонала, так и к программному обеспечению, которое будет обеспечивать информационное сопровождение ДЦУП.

После этого разрабатывается техническое задание для проведения конкурсов и закупок. Как правило, техническое задание формируется отдельно для программного обеспечения и для здания, где будет размещаться ДЦУП. Важными моментами в техническом задании являются требования, которые предъявляются к оборудованию, каналам связи, к эргономике рабочих мест диспетчерского персонала, а также функциональные требования к информационно-управляющей системе ДЦУП. Также на тендерной стадии нормируются целевые показатели производственной эффективности диспетчерского управления. Этим заканчивается подготовительный этап в создании ДЦУП.

Непосредственно создание ДЦУП начинается с проектирования. На этом этапе осуществляется компоновка диспетчерского зала, разрабатывается технология управления движением и пр. Качество проектирования определяет в последующем удобство рабочего места для диспетчерского персонала, отказоустойчивость оборудования ДЦУП, возможность дальнейшей реконфигурации и обновления программного и аппаратного обеспечения, включения новых функциональных возможностей и новых диспетчерских участков и объектов управления.

После разработки проектной документации осуществляется ее экспертиза, а также, как правило, производится оценка качества проектных работ. Наличие согласованной и утвержденной проектной документации позволяет перейти к следующему этапу — к строительным работам, закупке и поставке оборудования, монтажным и пуско-наладочным работам, которые также включают установку программного обеспечения, интеграционные тесты, верификацию и валидацию системы. Цикл работ по данному этапу завершается приемкой объекта и подписанием отчетной документации, подтверждающей, что здание для ДЦУП построено или реконструировано в соответствии с техническим заданием, а также подписанием актов о вводе в эксплуатацию здания и программно-аппаратного обеспечения, которые означают начало эксплуатации ДЦУП.

Заключительным этапом жизненного цикла ДЦУП является его модернизация и/или вывод из эксплуатации. Период эксплуатации определяется возмож-



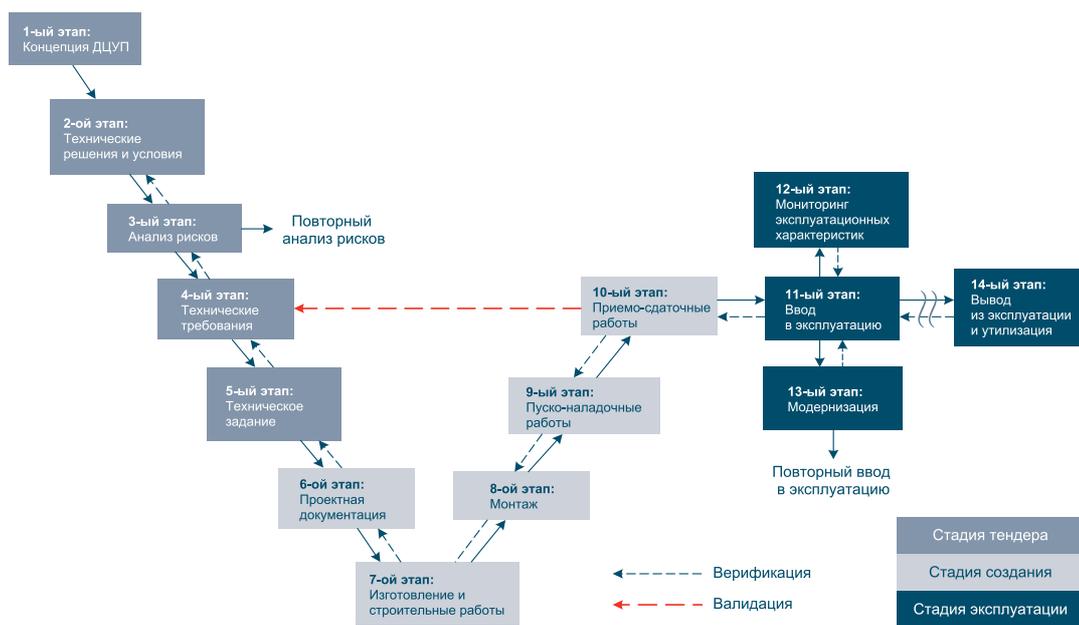


Рисунок 1. Жизненный цикл ДЦУП

Таблица 1. Срок службы ЦУП разного поколения

Поколение ДЦУП	Средний срок службы ДЦУП
ДЦУП 1.0	50 лет
ДЦУП 2.0	40 лет
ДЦУП 3.0	15 лет
ДЦУП 4.0	7-10 лет

ностью поддержания технического оснащения ДЦУП (здания, программного и аппаратного обеспечения) в состоянии, обеспечивающем эффективное управления перевозочным процессом по заданным параметрам.

Срок службы ДЦУП

С учетом классификации поколений ДЦУП и проведенного сравнительного анализа, можно предложить следующую шкалу срока службы ДЦУП, см. Табл. 1.

Очевидно, что между уровнем технической оснащенности ДЦУП и продолжительностью его эксплуатации существует определенная корреляция. Не менее очевидно, что данная корреляция имеет линейный характер: чем ниже уровень технической оснащенности ДЦУП, тем больше срок его службы, но меньше количество и масштаб выполняемых автоматизированных функциональ-

ных задач. Это можно изобразить в виде графика (Рис. 2), из которого хорошо видно, что продолжительность срока службы ДЦУП обратно пропорциональна уровню автоматизации и уменьшается с увеличением количества автоматизированных функций:

Для проведения более точной оценки срока службы ДЦУП необходима декомпозиция комплекса технических средств ДЦУП на базовые элементы с последующим оценением веса влияния элементов на общую техническую оснащенность ДЦУП по общим критериям оценки. Предполагается также, что срок службы ДЦУП может зависеть от целого ряда факторов:

- экономический фактор;
- техническое развитие инфраструктуры, которой управляет ДЦУП;
- развитие технических средств связи;
- развитие информационных технологий;
- развитие компьютерной техники;



Таблица 2.
Экспертная оценка значений

Количественная оценка	Характеристика уровней	Необходимость прекращения эксплуатации ДЦУП
1,00 — 0,80	Очень высокий	Не требуется
0,80 — 0,64	Высокий	Возможно
0,64 — 0,37	Средний	Желательно
0,37 — 0,20	Низкий	Необходимо
0,20 и менее	Очень низкий	Необходимо

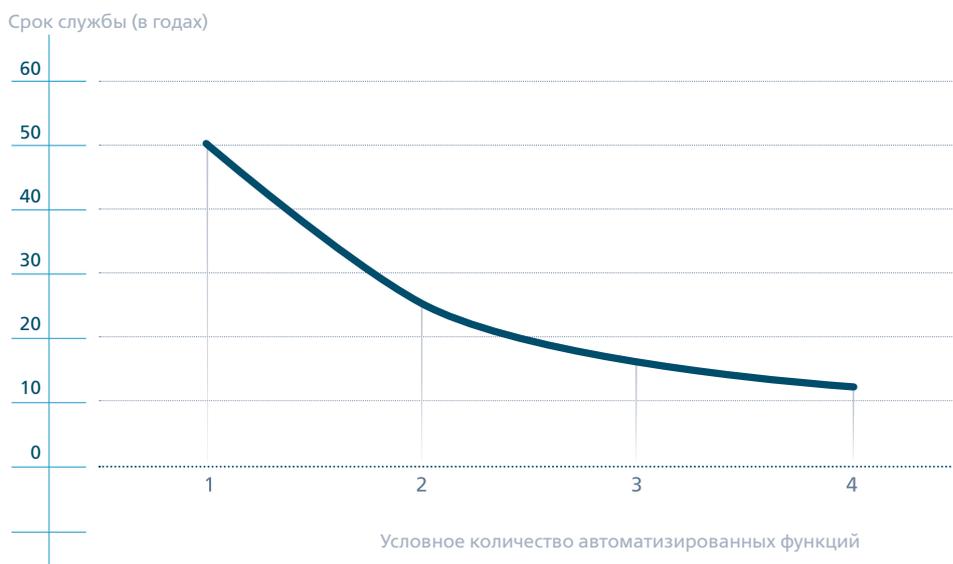


Рисунок 2.
График зависимости срока службы от количества автоматизированных функций ДЦУП

- возможность поддержания ДЦУП в технически работоспособном состоянии;
- изменение требований информационной безопасности и кибербезопасности;
- изменение технологии диспетчерского управления;
- изменение технических требований, предъявляемых к эксплуатации здания ДЦУП.

Понятно, что срок службы ДЦУП зависит от надежности оборудования ДЦУП. Очевидно, что чем больше эксплуатируется оборудование, тем больше отказов может возникнуть в работе компьютерной техники. Средний срок службы компьютерного оборудования ДЦУП, указанный в паспорте, обычно составляет 5-7 лет. Что в свою очередь требует постоянной замены для увеличения продолжительности эксплуатации ДЦУП, а быстрое развитие компьютерной техники влияет на производство запасных частей.

Все это естественным образом приводит к необходимости постоянного мониторинга эксплуатационных характеристик оборудования, периодической модернизации ДЦУП с продлением ЖЦ и пересмотру первоначальной концепции и/или первоначальных технических требований.

Расчетная оценка срока службы ДЦУП

Срок службы ДЦУП является сложной величиной, зависящей от состояния здания ДЦУП и технологии его содержания, технического состояния оборудования и технологии диспетчерского управления. При этом очень важно иметь методику оценки, по которой можно было бы с достаточной точностью оценить текущий уровень эффек-



тивности ДЦУП с точки зрения указанных факторов и вовремя принять решение о его модернизации или выводе из эксплуатации.

В отсутствие отработанной методики предлагается проводить оценку срока службы ДЦУП через количественную оценку таких параметров, как состояние здания ДЦУП, надежность работы оборудования и соответствие используемой технологии диспетчерского управления современным требованиям, предъявляем к перевозочному процессу, по следующей формуле:

$$f = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3, \text{ где}$$

P_1 — значение количественной оценки состояния здания ДЦУП;

P_2 — значение количественной оценки технического оборудования ДЦУП;

P_3 — значение количественной оценки современности технологии диспетчерского управления.

Все значения $P_1 - P_3$ находятся в интервале от 0 до 1. Интерпретация (экспертная оценка) полученных значений f представлена в Табл. 2.

В свою очередь значения параметров P предлагается рассчитывать по формулам:

$$P_1 = 1 - C/100,$$

где C — процент износа здания, по оценке БТИ.

$$P_2 = \frac{(1 \cdot N_1) + (0,5 \cdot N_2) + (0,1 \cdot N_3)}{N} \cdot \left(1 - \frac{O}{N}\right), \text{ где}$$

N_1 — количество оборудования, отработанное время которого составляет менее 50% от установленного срока службы;

N_2 — количество оборудования, отработанное время которого составляет более 50% от установленного срока службы;

N_3 — количество оборудования, отработанное время которого превышает установленный срок службы;

N — общее количество оборудования;

O — количество отказов за расчетное время.

Значение P_3 определяется методом экспертных оценок.

Заключение

Полагаем, что описанная в данной статье зависимость срока службы ДЦУП от уровня технической оснащенности будет приобретать еще большее значение в условиях идущей цифровой трансформации управления перевозочным процессом ОАО «РЖД» [4]. Безусловно, железнодорожные компании во всем мире заинтересованы в том, чтобы цифровое оборудование диспетчерских центров управления было функциональным, надёжным, недорогим с точки зрения технического обслуживания, совместимым и легко модернизируемым в течение всего жизненного цикла ДЦУП. Чтобы обеспечить выполнение указанных требований, необходимо учитывать их на этапе формирования технического задания, а также впоследствии эффективно управлять устареванием оборудования на этапе эксплуатации ДЦУП. Отдельный и не менее актуальный аспект — регулярное обновление средств информационной безопасности и киберзащиты.

Управление устареванием оборудования ДЦУП представляет собой комплексный план мероприятий, направленных на оптимизацию процесса снижения рисков, связанных с прекращением производства определённых запчастей, единиц оборудования и программного обеспечения. На регулярной основе должен выполняться мониторинг эксплуатационных характеристик оборудования ДЦУП, а также мониторинг рынка оборудования, чтобы спрогнозировать, какие компоненты систем и в какие сроки могут устареть. С этой целью в некоторых зарубежных железнодорожных компаниях функционируют специализированные подразделения, отвечающие за управление жизненным циклом цифрового оборудования. Главные задачи таких подразделений — контроль цепочки поставок, проверка статуса каждого из компонентов применительно к перспективам его устаревания и внесение соответствующих изменений в номенклатуру закупаемой продукции.

Очевидно, что подобная работа должна проводиться и на Российских железных дорогах, в том числе путем разработки методики и цифровых инструментов оценки состояния технической оснащенности и эффективности функционирования ДЦУП в меняющихся условиях, а также путем разработки и применения инструментов мониторинга и анализа рынка оборудования для ДЦУП. ■

Список литературы

1. Розенберг Е.Н. Центры управления перевозками: эволюция и целевое состояние / Розенберг Е.Н., Озеров А.В., Бересток Н.О. // Наука и техника железных дорог, выпуск 3(19), 2021. — С. 9-14.
2. Research Project "Role, Design Methods and Future of Rail Operations Control Centers (Ctrl4Rail)". UIC, 2021. Препринт.
3. ГОСТ Р 54504-2011. Безопасность функциональная. Политика, программа обеспечения безопасности. Доказательство безопасности объектов железнодорожного транспорта. М.: Стандартинформ, 2013.
4. Озеров А.В. Информационные технологии управления перевозками / Озеров А.В., Дроздов А.В., Фоменков Д.Ю., Бересток Н.О. // Железнодорожный транспорт. — 2021. № 12. — С. 32-34

УДК 625.173.1

Соблюдение технологии работ для повышения уровня технического состояния железнодорожной инфраструктуры

Compliance with the Technology of Works to Increase the Level of Technical Condition of the Railway Infrastructure

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

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

Коваленко Н. А., к.т.н., доцент, Российский университет транспорта (РУТ),
E-mail: nina-alex-kov@mail.ru, Москва, Россия

Kovalenko N.A., Ph.D.(Tech.), Associate Professor, Russian University of Transport (MIIT),
E-mail: nina-alex-kov@mail.ru, Moscow, Russia

Аннотация



Безопасность железнодорожных перевозок определяется в большой степени состоянием путевого хозяйства. На примере инцидента со сходом поезда вследствие излома рельсов, проведена оценка важности соблюдения технологии ремонтных работ. Выполненным моделированием и произведенными расчетами установлено, что коэффициент запаса прочности по напряжениям в наиболее нагруженном сечении рельса составил при слабом (мягком, сразу после ремонта) подрельсовом основании 1.3, при жестком (стабилизированном) подрельсовом основании — 1.7. В случае разрушения принимающей шпалы, коэффициент запаса прочности по напряжениям в наиболее нагруженном сечении составил как при слабом, так и при жестком подрельсовом основании (принимающая шпала отсутствует) — 0,82. На основании проведенных исследований установлено, что стратегической задачей повышения эксплуатационной надежности пути является достижение равноресурсности в эксплуатации его элементов.

Ключевые слова: излом рельсов; принимающая шпала; изолирующий стык; подрельсовое основание; запас прочности по напряжениям.

Abstract



The safety of rail transportation is determined to a large extent by the state of the track facilities. On the example of an incident with a derailment of a train due to a broken rail, an assessment was made of the importance of observing the technology of repair work. By the performed modeling and calculations, it was found that the stress safety factor in the most loaded section of the rail was 1.3 with a weak (soft, immediately after repair) sub-rail base, 1.7 with a hard (stabilized) sub-rail base. In case of destruction of the receiving sleeper, the coefficient of safety margin for stresses in the most loaded section was 0.82 for both weak and rigid under-rail base (there is no receiving sleeper). Based on the conducted research, it has been established that the strategic objective of improving the operational reliability of the track is to achieve equal resource in the operation of its elements.

Keywords: Rail breakage; receiving sleeper; insulating joint; sub-rail base; stress safety margin. >>>

Введение

Вызывает беспокойство состояние путевого хозяйства на сети железных дорог [1]. В частности, отмечается увеличение количества сходов подвижного состава на сети по причинам разрушения рельсов, изолирующих стыков с накладками АпАТЭК, а также сварных стыков, выполненных алюминотермитным способом. Отмечается неудовлетворительная обстановка с изломами рельсов, по состоянию на март 2021г. на сети железных дорог обнаружено 70 случаев изломов (за аналогичный период прошлого года — 42 случая) из них 28 изломов алюминотермитных сварных стыков (в 2020г. — 8 случаев). Кроме того, например, с начала 2021 года по сети допущено 5 случаев схода подвижного состава по причине разрушения рельсов в зоне изолирующих стыков с накладками АпАТЭК. Таким образом, своевременное обследование и ремонт состояния путевого хозяйства имеет большое значение для повышения безопасности перевозок.

Материалы и методы

В качестве примера оценки текущего состояния путевого хозяйства рассмотрим историю и последствия аварии в виде схода поезда, произошедшего в марте 2021г. на перегоне Южно-Уральской железной дороги. На наш взгляд, данный инцидент следует отнести к случаю по неудовлетворительному состоянию рельсов, изолирующих стыков, в том числе, АпАТЭК и путевого хозяйства инфраструктурного комплекса.

Комиссией было установлено, что «Причиной схода вагонов ... явился излом рельса в сечении, где расположено отверстие диаметром 22 мм на расстоянии 60см от торца рельса в изолирующем стыке, с последующими дополнительными изломами рельса и его разрушением на большое количество кусков (найлены 37 фрагментов, но это не полное их количество) на длине около 4 м» (рисунок 1).

Характеристика участка пути места произошедшего схода. Класс линии — 2, класс пути — 3, специализация — О (особогрузонапряженная), путь уложен при модернизации линии в 2013 году. Пропущенный тоннаж по рассматриваемому пути на момент произошедшего схода составил 766,0 млн. т брутто, грузонапряженность линии 96,524 млн. ткм брутто/км в год.

Характеристика рельса, разрушившегося в результате схода поезда: тип рельса Р65, дата проката рельса — январь 2017 г. (на шейке рельса указано К 1 2017), категория рельса — ДТ350, износ головки рельса: вертикальный — 2,5 мм, боковой по рабочей грани — 14 мм.

Информация по оценке состояния участка пути накануне произошедшего схода.

На данном участке с 2017 года не был выполнен средний ремонт пути, который должен быть запланированным в соответствии с пунктом 12 Приложения №1 «Правил технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации, утверждённым Министерством транспорта Российской Федерации от 21 декабря 2010 г. № 286 с изменениями в соответствии с Приказом Минтранса РФ от 09.02.2018 г. № 54» (далее ПТЭ).



Рисунок 1.
Фрагменты разрушения рельса при сходе вагонов

На примыкающих концах рельса, на котором смонтирован изолирующий стык, была нарушена эпюра шпал (в сторону её увеличения), которая предусматривается в соответствии с п. 3.11.10 и п. 3.11.11 «Инструкции по текущему содержанию пути, утвержденной распоряжением ОАО «РЖД» от 14.11.2016 г. № 2288р». Предстыковая шпала с отдающего конца рельса имела раскол.

Примерно за два месяца до схода, в январе, при производстве зимнего комиссионного осмотра на данном участке выявлены замечания в виде угла в плане 36 мм на длине 24 м и свехнормативного зазора 26 мм в изолирующем стыке по левой рельсовой нити (на которой в дальнейшем произошел сход подвижного состава). Эти неисправности, согласно акту комиссии, были устранены.

Приблизительно за месяц до схода, 8 февраля 2021г., при рабочем проходе диагностического комплекса ЭРА на данном участке (километре) были обнаружены неисправности в виде бокового износа рабочей грани рельса от 16,6 мм до 19,5 мм, что соответствует оценке «неудовлетворительно».

На этом же участке пути в феврале и марте производились работы по замене упругой прокладки на промежуточных скреплениях ЖБР-65 ПШМ, которые эксплуатируются на этом участке пути. Далее, на данном участке пути выполнялись работы по регулировке ширины колеи.

В материалах расследования, а также в отчетах по текущему содержанию участка пути, где произошел сход, например, в «Журнале учета работ по текущему содержанию и оценке состояния пути и путевых устройств (ПУ-74), отсутствуют материалы, в которых было бы указано о выполнении работ по осмотру данного изолирующего стыка АпАТЭК со снятием накладок.

Результаты

Для установления возможных причин схода подвижного состава, были исследованы следующие вопросы: Какие силовые факторы (в частности, эпюры растягивающих и сжимающих напряжений) на верхней и нижней >>>

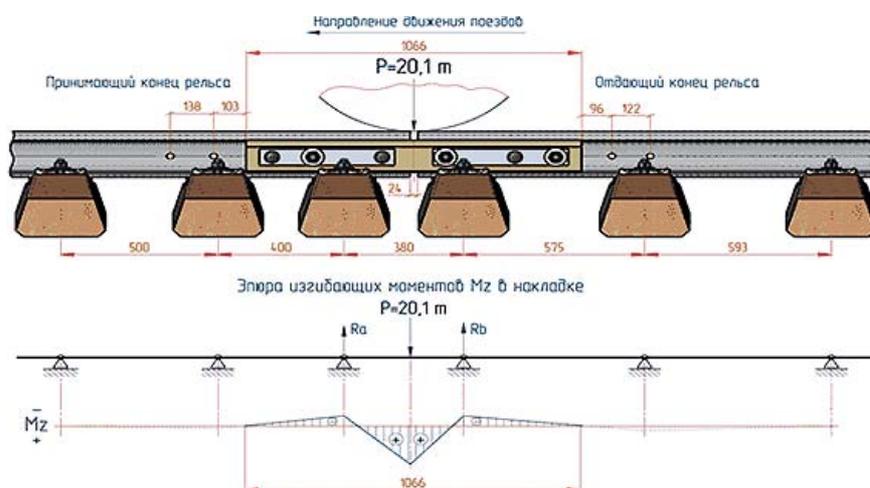


Рисунок 2. Расчетная схема места разрушения рельса при сходе вагонов при неразрушенной шпале

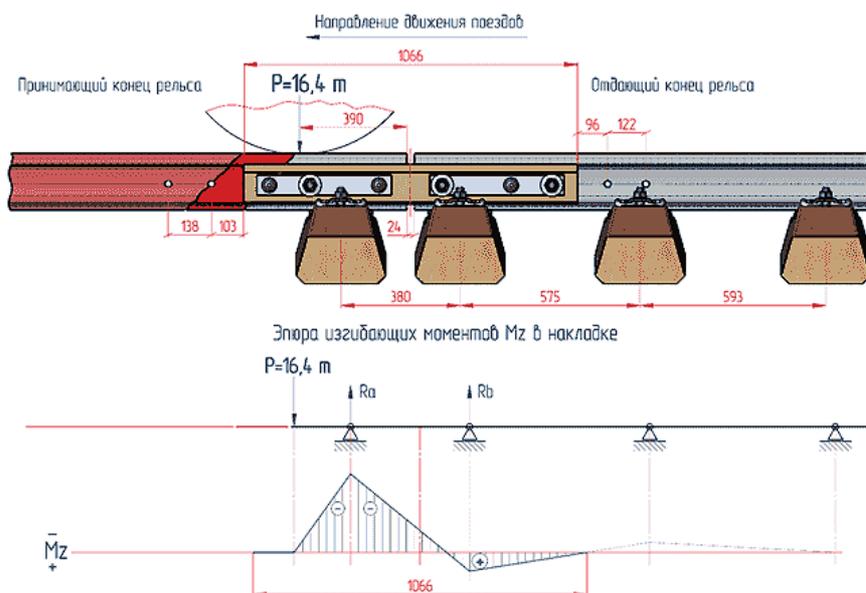


Рисунок 3. Расчетная схема места разрушения рельса при сходе вагонов при разрушенной шпале

опорных поверхностях должны иметь место в рельсах при их изломе, зафиксированном на фото (рисунок 1), а также в композитных накладках при их изломе, отмеченных в Акте Комиссией, при неразрушенной и разрушенной шпале под принимающим рельсом? Выполненным моделированием [2, 3] и произведенными расчетами [4, 5] установлено, что максимальный изгибающий момент в сечении по оси принимающей шпалы действует при неразрушенной шпале (рисунок 2).

На верхней опорной поверхности (под головкой рельса) будет растянутая зона, на нижней опорной поверхности (над подошвой рельса) — сжатая зона (на схеме указана в виде знаков «минус»). В сечении зазора стыка изгибающий момент и напряжения невелики.

Расчетами установлено, что коэффициент запаса прочности по напряжениям в наиболее нагруженном сечении композитных накладок по оси принимающей шпалы составил при слабом (мягком) подрельсовом основании 1.3, при жестком — 1.7.

Выполненные аналогичное моделирование и произведенные расчеты при эксплуатации пути с разрушенной шпалой под принимающим концом рельса (рисунок 3) максимальный изгибающий момент действует в сечении по оси принимающей шпалы (или её условном расположении).

При разрушенной шпале под принимающим рельсом (рисунок 3) на верхней опорной поверхности (под головкой рельса) будет сжатая зона, на нижней опорной >>>

поверхности (над подошвой отдающего конца рельса) — растянутая зона. В ослабленном сечении 4-го отверстия в накладках (при счете слева направо) изгибающий момент меньше, чем по оси отдающей шпалы, однако здесь меньше и момент сопротивления сечения накладок.

В случае разрушения принимающей шпалы, коэффициент запаса прочности по напряжениям в наиболее нагруженном сечении композитных накладок по оси отдающей шпалы составил как при слабом, так и при жестком подрельсовом основании (принимающая шпала отсутствует) 0,82.

На разработанной модели (рисунок 3) при разрушении принимающей шпалы (или ее отсутствии) надрыв накладок изолирующего стыка прогнозируется в ослабленном болтовым отверстием сечения, расположенном на расстоянии, порядка, 48 мм от оси шпалы.

Обсуждение

Для установления возможной причины схода подвижного состава, были исследованы вопросы: Возможно ли установить — при какой величине упругой просадки рельсов, уложенных на шпалах с расчетным модулем упругости подрельсового основания, произойдет излом композитных накладок от вертикальной нагрузки? Каково значение данной вертикальной нагрузки?

При проведении исследований и выполнения расчетов рассматриваются схемы нагружения и эпюры изгибающих моментов в рельсах и накладках, приведенные на расчетных схемах рисунков 2 и 3. Значения модулей упругости подрельсового основания принимаются равными: 23 МПа при слабом или мягком основании (при разрушенной шпале) и 121 МПа при жестком основании (при не разрушенной шпале). Установлено, что для достижения предельных напряжений в композитных накладках от воздействия вертикальных сил давления колес на рельсы в зоне стыка, необходимо приложить силу 86,4 тс от одного колеса или 172,8 тс от колесной пары при слабом основании, при жестком основании — 129,0 тс от одного колеса или 258 тс от колесной пары при неразрушенных шпалах и не изломавшихся рельсах. Вертикальные прогибы головки рельса по оси стыка составят в случае подрельсового основания с жесткостью 23 МПа — 36 мм, при жесткости основания 121 МПа — 24 мм.

В процессе исследований рассматривалась задача для ответа на вопрос: Возможно ли установить соотношение расчетной величины нагрузки, при которой возможен излом накладок, и фактически реализуемых в стыковой зоне при осевых нагрузках 25 тс?

При расчетной динамической силе от колеса при осевой нагрузке 25 тс (от колеса — 12,5 тс) в зоне стыкового зазора с учетом ударного взаимодействия составит 20,1 тс (расчетная схема 1). Соотношение фактически действующих сил и сил, приводящих к излому накладок, составит: $86,4/20,1 = 4,3$ раза при слабом и $129,0/20,1 = 6,4$ раза при жестком основании.

Таким образом, для излома композитных накладок от воздействия вертикальных сил от колес на рельсы в зоне стыка при не разрушенных шпалах и не излома-

вшихся рельсах необходимо приложить силы в 4,3 и 6,4 раза превышающие реализующиеся при осевых нагрузках 25 тс при слабом и жестком основании соответственно.

Результатами исследований и выполненных расчетов установлено, что наиболее вероятной причиной схода вагонов, произошедших в марте 2021 года является излом рельса в районе первого отверстия под перемычку диаметром 22 мм, вызванного усталостными процессами деградации рельсовой стали (пропущенный тоннаж более 766 млн. т брутто при нормативной величине 700 млн. т брутто. Нормативный тоннаж установлен в соответствии с «Правилами технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации», утверждёнными Министерством транспорта Российской Федерации от 21 декабря 2010 г. № 286 с изменениями в соответствии с Приказом Минтранса РФ от 09.02.2018 № 54» (далее, ПТЭ).

На основании проведенных исследований по случаю схода подвижного состава установлено, что стратегической задачей повышения эксплуатационной надежности пути является достижение равноресурсности в эксплуатации его элементов [6, 7]. Продление (увеличение) жизненного цикла элементов конструкции пути и повышение их надежности возможно за счет оптимизации ремонтной схемы и своевременного выполнения планируемых ремонтов, что приведет к снижению затрат на текущее содержание, позволит, в целом, уменьшить затраты на материалы и снизить трудозатраты [8, 9].

В «Технических условиях на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути и Паспорте параметров железнодорожного пути и показателей его функционирования», в редакции распоряжения ОАО «РЖД» от 19 января 2018 года № 101р, нормативная потребность работ по капитальному ремонту пути для каждого участка с различной грузонапряженностью и установленными скоростями движения поездов, определяющими класс пути, рассчитывается по формуле:

$$W_{\text{norm}} = \frac{L_i \cdot G_{\text{god}}}{Q_{\text{norm}} \cdot f_i} = \frac{L_i}{N_{\text{god}} \cdot f_i}, \quad (1)$$

где W_{norm} - нормативная потребность работ, км;
 G_{god} — грузонапряженность, млн. ткм брутто/км в год;
 $Q_{\text{norm}}, N_{\text{god}}$ — тоннаж в млн. т брутто или количество лет, соответствующие нормативному периоду между капитальными ремонтами пути;
 L_i — развёрнутая длина участка пути данного класса, км;
 f_i — коэффициент, учитывающий дополнительные эксплуатационные факторы, например, наличие средней длины плетей меньше нормативной; наличие на участках недостаточной толщины чистого щебня; невыполнение шлифовки рельсов; близость мест погрузки угля или руды и другие.

Численные значения приведенных выше величин берутся из технического паспорта дистанции пути. Потребный объём работ разных видов (V_i) по участкам определяются по формуле:

$$V_i = w_{\text{kap}} \times n_i, \quad (2)$$

где w_{kap} — нормативная потребность работ по капитальному ремонту пути;
 n_i — количество повторений работ различного вида за период между капитальными ремонтами пути. >>>

Таблица 1.
Пример рекомендаций жизненного цикла работы железнодорожного пути на особогрузонапряженных участках (О)

Код группы (специализация)	Класс пути	Периодичность выполнения капитального ремонта I-ого (КРН) и II-ого (КРС) уровней (числитель — млн. тонн брутто, знаменатель — годы)				Ремонтные схемы: виды путевых работ и очередность их выполнения за межремонтный цикл
		железобетонные шпалы		деревянные шпалы		
		новые материалы	старогодные материалы	новые материалы	старогодные материалы	
0	1, 2	1400	—	—	—	КРН-В-В-РС-В-П-КРН

Важнейшей операцией продления сроков работы балластного слоя является его необходимая своевременная очистка и пополнение образовавшегося дефицита новым балластом. Результаты исследований научных работников и специалистов железнодорожного транспорта [10, 11] свидетельствуют о том, что для восстановления максимальной работоспособности балласта необходимо производить средние ремонты (С), или ремонты РС. В качестве других видов необходимых промежуточных ремонтов предусматриваются подъёмочный ремонт (П) и планово-предупредительный ремонт (В).

Схема проведения ремонтов от капитального до капитального, представляет собой жизненный цикл работы пути [12, 13, 14].

Исследованиями [15] для полигона Западно-Сибирской магистрали установлено, что уровень загрязнения балласта частицами менее 25мм существенно увеличивается при пропуске тоннажа до 200 млн. т. Далее наблюдается, практически, равномерный рост загрязнения балласта, практически, до величины наработки тоннажа 1200 млн. т. Установлено, что, например, при достижении величины 700 млн. т загрязненность балласта составляет порядка 28%, а при пропущенном тоннаже 1200 млн. т — около 33%.

При исследовании загрязненности щебеночного балласта частицами диапазона от 5 до 0,1 мм наблюдается равномерный рост загрязненности балластной призмы на всем протяжении межремонтного периода. Структура загрязнителей при сверхнормативном пропущенном тоннаже (более 700 млн. т) составляет 16% для фракции от 25 до 5мм, для фракции от 5 до 0,1 мм — 12% и при размере частиц загрязнителей до 0,1 мм порядка 6%.

Установлено что, загрязненность балласта для 5 — 6-летнего периода эксплуатации для загрязнителей фракции до 0,1 мм получены зависимости величины загрязнения щебеночного балласта от толщины балластного слоя. Выявлена тенденция уменьшения доли таких частиц при увеличении толщины балласта, например, для слоя до 30 см она составляет 38%, при толщине 40 см загрязненность составляет в среднем 32%. При увеличении толщины на 10 см, то есть до толщины порядка 50 см, наблюдается снижение загрязненности еще на 15%.

Условием эффективности организации ремонтов пути является минимизация суммарных затрат, связанных с выполнением путевых ремонтных работ и задер-

жек поездов, с учетом количества и продолжительностью требуемых «окон» (закрытия перегона).

Выводы

Исследованиями [15] разработаны рекомендации по величине предельного значения допустимого засорения щебеночного балласта более 30% для Транссибирской магистрали, которое возникает при величине пропущенного тоннажа 500 млн. т (или, порядка, восьми лет). В среднем для Среднесибирского региона пропущенный тоннаж для достижения предельного засорения балласта составляет порядка 800 млн. т (или 10 лет эксплуатации). Такие рекомендации могут служить ориентиром для проведения ремонтов пути с использованием машин для глубокой очистки балласта.

Наиболее пагубным в условиях интенсивной эксплуатации пути (при грузонапряженности линии 100 млн. ткм брутто/км в год и более), приводящим к накоплению в пути различных неисправностей в виде, например, углов в плане, угона рельсов, вызвавшего сверхнормативный зазор и других, является нарушение нормативных требований продолжительности эксплуатации и невыполнения номенклатуры промежуточных ремонтов и текущего содержания.

Выводами комиссии установлено, что для высокой интенсивности эксплуатации пути, характерной для рассматриваемых условий, необходимо предусматривать повышенную потребность производства работ по замене упругой прокладки на скреплениях, в частности ЖБР-65ПШМ, регулировку ширины колеи, а также эффективное выполнение мероприятий по текущему содержанию участков пути и изолирующих стыков.

Применяемая в настоящее время периодичность и схема выполнения ремонтов и планово-предупредительной правки железнодорожного пути на особогрузонапряженных участках (таблица 1) не удовлетворяет перспективным техническим требованиям к конструкции железнодорожного пути и системе его технического обслуживания, обеспечивающей наработку свыше нормативной как по пропущенному тоннажу, так и по годам эксплуатации.

При выполнении расчетов учитываются только переменные факторы, зависящие от организации и технологии выполнения работ. ■

Список литературы

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008г. № 1734-р «Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года» (в ред. распоряжения Правительства РФ от 11.06.2014 № 1032-р).
2. Ицкович, Г.М. Руководство к решению задач по сопротивлению материалов: учебное пособие для вузов / Г.М. Ицкович, А.С. Минин, А.И. Винокуров; Под общ. ред. Л.С. Минина. — М.: Высшая школа, 2001. — 592 с.
3. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. Издание четвертое, переработанное и дополненное Издательство СКАД СОФТ Издательство Ассоциации строительных вузов Издательство ДМК Пресс Москва 2011. — 736 с.
4. Александров, А.В. Сопротивление материалов: Учеб. Для вузов / А.В. Александров, В.Д. Потапов, Б.П. Державин; Под ред. А.В. Александрова. — 3-е изд. Испр. — М.: Высш. шк., 2003. — 560 с.
5. Горшков, А.Г. Сопротивление материалов: Учеб. пос. 2-е изд., испр. / А.Г. Горшков, В.Н. Трошин, В.И. Шалашилин. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. — 544 с.
6. Гринь Е.Н., Коваленко Н.И. Факторный анализ оценки состояния пути // Путь и путевое хозяйство. 2013. № 1. С. 22-23.
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.
8. Kovalenko Nikolay, Ponomarev Valentin, Kovalenko Nina, Fomina Nadegda, Kovalenko Aleksandr (2020). Assessment of the Mitigation of Consequences Resulting from Incidents at the Railway. / 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 184-194.
9. Kovalenko Nikolai, Grin Elena, Kovalenko Nina (2020) The determination of the repairs of railway track considering the reliability and risk level, E3S Web of Conferences, Vol. 157 06031 (2020). doi.org/10.1051/e3sconf/202015706031 Springer, 20 March 2020, pp 92-99.
10. Гапенко Ю.В. Стабилизация пути после глубокой очистки балласта // Путь и путевое хозяйство. 1997. № 10. — С.13–16.
11. Tsvetkov V.Ya. Conceptual Model of the Innovative Projects Efficiency Estimation // European Journal of Economic Studies, 2012, Vol. (1), №1. — p. 45-50.
12. Методика классификации железнодорожных линий ОАО «РЖД», утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 04 марта 2015г. № 551р.
13. Путевые машины. Учебник для вузов ж.д. транспорта/С.А. Соломонов, М. В. Попович, В.М. Бугаенко и др.; под ред. С. А. Соломонова. — М.: Желдориздат, 2000. — 756 с.
14. Путевые машины для выправки железнодорожного пути, уплотнения и стабилизации балластного слоя. Технологические системы. Учебное пособие для вузов ж.д. транспорта / Атаманюк А.В., Бредюк В.Б., Бугаенко В.М. и др.; под ред. Поповича М.В., Бугаенко В.М. — М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. — 285 с.
15. Величко Д.В. Толстикова Н.А. Анализ загрязненности щебеночного балласта // Известия Транссиба / Омский государственный университет путей сообщения. — Омск. — 2016. — № 3 (27). — С. 110 — 117.

Контакты

Редакция

8 (916) 433-60-72
journal@vniias.ru

Главный редактор —
Розенберг Игорь Наумович

Заместитель главного редактора —
Цветков Виктор Яковлевич

Редактор —
Колосов Дмитрий Эдуардович

Россия, Москва, 109029,
Нижегородская ул. 27, стр 1

+7 (495) 967 77 06

info@vniias.ru