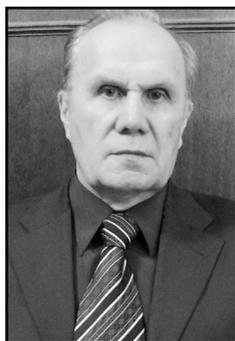


Субсидиарное управление на железной дороге



Борис ЛЕВИН



Виктор ЦВЕТКОВ



Юрий ДЗЮБА

Лёвин Борис Алексеевич – Российский университет транспорта, Москва, Россия.

Цветков Виктор Яковлевич – Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте, Москва, Россия.

Дзюба Юрий Владимирович – Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте, Москва, Россия.*

В связи с ростом скоростей железнодорожного транспорта и переходом к беспилотному управлению транспортом возрастает роль технологий оперативного управления без излишнего участия в нём со стороны центрального аппарата компаний.

Целью работы явилось исследование субсидиарного управления как новой технологии управления подвижными объектами, определение границ его эффективности.

Особенность субсидиарного управления в том, что оно эффективно не всегда, а только при определённых условиях, поэтому для его применения необходим анализ условий функционирования транспортных средств. Субсидиарное управление

является альтернативой иерархическому управлению, которое эффективнее в простых условиях.

Раскрывается сущность субсидиарности в социальной и технической областях.

Приводятся результаты исследования применения и применимости субсидиарного управления на железной дороге, анализируются его основные факторы. Проводится сравнение сигнально-блокового управления и субсидиарного управления, показаны особенности определения размеров блоков. Описаны дополнительные факторы субсидиарного управления – комплементарность, астатизм. Продемонстрирована связь субсидиарного управления и концепции цифровой железной дороги.

Ключевые слова: транспорт, управление, железная дорога, цифровая железная дорога, субсидиарное управление, цифровая экономика, блоковое управление.

*Информация об авторах:

Лёвин Борис Алексеевич – доктор технических наук, профессор, президент Российского университета транспорта, Москва, Россия, tu@miit.ru.

Цветков Виктор Яковлевич – доктор технических наук, профессор, заместитель руководителя центра стратегического анализа и развития АО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (АО «НИИАС»), Москва, Россия, svj2@mail.ru.

Дзюба Юрий Владимирович – руководитель центра стратегического анализа и развития АО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (АО «НИИАС»), Москва, Россия, u.dzuba@niiias.ru.

Статья поступила в редакцию 23.04.2019, актуализирована 30.07.2019, принята к публикации 07.08.2019.

For the English text of the article please see p. 29.

ВВЕДЕНИЕ. КОНЦЕПЦИЯ СУБСИДИАРНОСТИ

Идеи субсидиарности первоначально зародились в социальной сфере, но в настоящее время появилась возможность их реализации и в технических областях деятельности. Сущность идеи субсидиарности в технической сфере и в сфере управления состоит в переносе принятия оперативных решений с верхнего уровня на операционный уровень [1], в том числе в отношении управления филиалами [2; 3]. На транспорте повышение скоростей движения на железной дороге, управление беспилотными транспортными средствами [4; 5] делают актуальными методы оперативного управления подвижными объектами, к которым и относится субсидиарное управление.

Эффективность субсидиарного управления проявляется на примере управления транспортом мегаполиса [6; 7]. Практически невозможно составить чёткий график перевозок в условиях плотного движения и многочисленных пробок. Поэтому де-факто управление транспортом мегаполиса является многоцелевым [7; 8] и осуществляется субсидиарно.

Цель работы заключается в исследовании технологии субсидиарности и нахождении границ эффективности её применения в сфере транспорта.

Методы исследования включают системный, сравнительный и управленческий анализ.

Начальной целью идеи субсидиарности было разрешение противоречий между авторитарной личностью и обществом. Принцип субсидиарности в социальной сфере восходит к работам греческих философов Платона и Аристотеля. В католическом учении принцип субсидиарности был зафиксирован Папой Римским Львом XIII (1891 год) [9] и стал частью официальной доктрины католической церкви. С политической и гражданской точек зрения принцип субсидиарности направлен на исключение авторитарной власти, что подразумевает автономию личности и поддержание чувства собственного достоинства. Все институты общества, от семьи до международных органов, должны служить человеку, а источником политической власти является народ. Субсидиарность обязывает госу-

дарство и общество к созданию условий для полноценного развития личности, в том числе, за счёт обеспечения социально-экономических прав человека. Субсидиарность можно таким образом рассматривать как принцип, как свойство и как состояние.

Применение принципа субсидиарности в технической и информационной сферах позволяет выделить особый вид управления — *субсидиарное управление*. Удвоение в условиях современного общества каждые 2–3 года объёмов информации, используемой в управлении [10], усиливает недостатки, присущие иерархическим системам, и требует поиска новых подходов к организации управления. Одним из таких решений и стало субсидиарное управление, означающее перераспределение функций управления между центральными и периферийными органами. С развитием информационного общества субсидиарное управление стали применять на транспорте (бессветофорное движение), в кибернетике (робототехника), в технологии Интернета вещей и в киберфизических системах.

В то же время применение субсидиарного управления эффективно не всегда, а только в определённых условиях.

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ПРИМЕНЕНИЯ СУБСИДИАРНОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

Обычное управление движением называют сигнально-блоковым. Оно осуществляется по сигналам, которые разрешают или запрещают движение на участках пути (рис. 1) [11].

Управление движением осуществляет центр управления (ЦУ) путём организации сигналов с помощью коммуникационного пространства. Коммуникационное пространство (связь) выполняет важнейшие функции поддержки такого управления. Поскольку другого пространства управления не было, то основным методом управления на железнодорожном транспорте было сигнально-блоковое.

Появление субсидиарного управления стало возможным благодаря внедрению спутниковых и наземных навигационных систем. Вторым фактором стало возникновение и использование бортовых информационных и аналитических устройств.



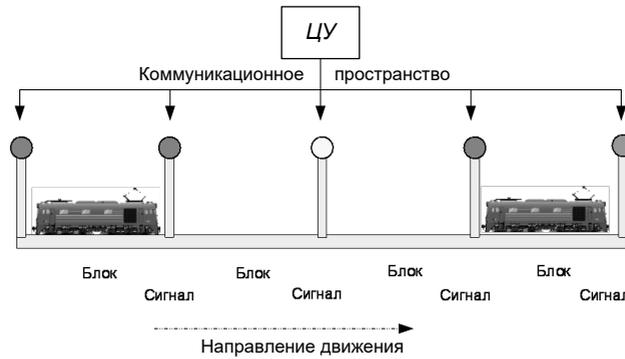


Рис. 1. Сигнально-блоковое движение.

Субсидиарное управление имеет свою специфику. Это определяется рядом принципов [12] и факторов. Важными элементами являются «пространство управления», «поле управления», «ситуация управления», «пространство решений задач управления (ПРЗУ)» (рис. 2).

Центр управления сохраняется, но в большей степени выполняет контрольные функции и вмешивается в случае чрезвычайных ситуаций. Принципиальным является появление нового средства коммуникации между подвижными объектами. Это либо глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС), либо позиционные системы наземной мобильной связи. В обоих случаях, в сравнении со схемой на рис. 1, в субсидиарном управлении появляется возможность самостоятельного позиционирования (координирования) подвижного объекта бортовыми устройствами.

Пространство управления представляет собой физическое и параметрическое пространства, которые служат источниками информации о ситуации, позиции и состоянии управляемого объекта. Основой организации такого пространства служат

спутниковые технологии и мобильные технологии позиционирования.

Поле управления есть часть реального информационного пространства, в котором возможно физическое управление объектом.

Ситуация управления есть часть поля управления и параметрическая модель информационной ситуации, в которой находится объект управления.

Информационная ситуация характеризует объект управления и все важные факторы, которые влияют на его состояние. По существу, субсидиарное управление является ситуативным (действующим «по ситуации») и относится к школе «управления при непредвиденных обстоятельствах» [13].

Пространство решения задач управления есть параметрическое информационное пространство, которое содержит опыт ранее принятых управленческих решений и служит ресурсом для принятия решений в различных вновь возникающих ситуациях. Его особенность в том, что оно находится (рис. 2) на бортовых устройствах движущихся средств. Нетрудно заметить, что рис. 2 является обобщением схемы цифровой железной дороги [14]. Задача

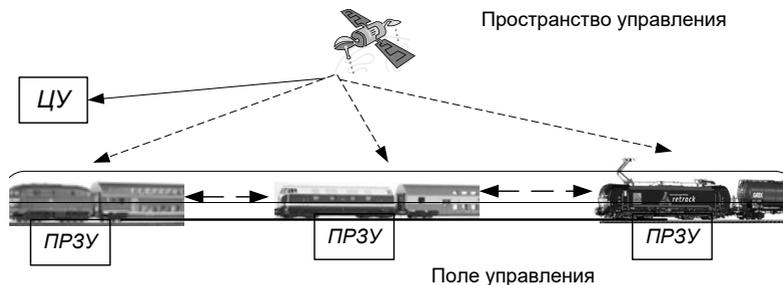


Рис. 2. Субсидиарное управление на железной дороге.

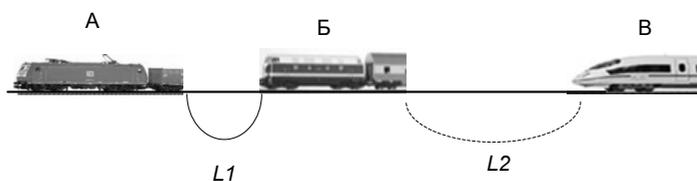


Рис. 3. Технология подвижных блоков.

ПРЗУ каждого бортового устройства заключается в том, чтобы оперативно найти готовый стереотип решения для текущей ситуации, либо разработать новый алгоритм, который затем использовать как опыт.

Другими важными факторами субсидиарного управления, помимо ситуативности, являются информационность, комплементарность, адаптивность, системность, устойчивость.

СИТУАТИВНОСТЬ

Ситуативность означает управление по складывающейся ситуации движения. Субсидиарное управление допускает возможность появления непредусмотренных помех движению. Поэтому при наличии общего плана действий (графика движения) и главной цели текущая цель определяется ситуацией, например, препятствиями на дороге, торможением впереди идущего состава и др.

Ситуативность проявляется в том, что для достижения главной поставленной цели необходимо реализовывать вспомогательные задачи. Каждая вспомогательная задача имеет свою цель, поэтому субсидиарное управление является не только ситуативным, но и многоцелевым.

В настоящее время субсидиарное управление реализуется при бесветофорном движении и разрабатывается для применения на цифровой железной дороге. На практике применяют технологию подвижных сигнальных блоков (Moving block signaling) [11]. По существу, эти блоки и задают ситуативность, что поясняется на рис. 3. Ситуативность состоит в том, что расстояние между поездами вычисляется на основе ситуационных факторов движения и влияет на характеристики движения следующего поезда.

На рис. 3 показаны три последовательно идущих поезда А, Б, В и интервалы между ними L_1 , L_2 , которые и задают по-

движные блоки. В технологии подвижных блоков (рис. 3) каждый подвижный объект (например, Б) содержит бортовую информационно-вычислительную систему [8] и осуществляет информационное взаимодействие с другими объектами (например, с впереди идущим объектом А и следующим после объектом В).

В зависимости от скорости и массы поезда рассчитывают расстояние между поездами, которое называют «длина блока» (L_1 , L_2).

Размерность блока L не является фиксированной, а рассчитывается на основе суммы компонент l_1 , l_2 , l_3 , l_4 :

$$L = l_1 + l_2 + l_3 + l_4.$$

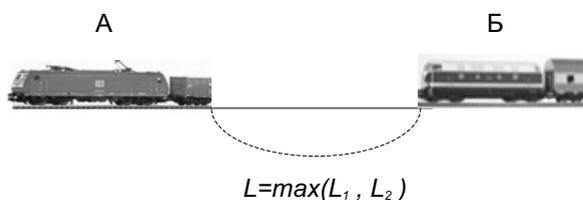
Параметр l_1 (инерционный или физический) является основным. Он рассчитывается на основе безопасного тормозного пути, регулируется по скорости, нагрузке, условиям движения и иным данным. Параметр l_2 (временной) определяется общей временной задержкой принятия решений. Чем выше быстродействие системы и оперативней алгоритмы расчёта, тем меньше влияние этого параметра. Параметр l_3 (навигационный) определяется реальной погрешностью определения местоположения на основе применяемой технологии ГНСС и используемого режима. Кроме того, при использовании мобильной локации он определяется точностью этой технологии. Параметр l_4 (управленческий) определяется задержкой управленческого сигнала с момента получения информации о состоянии объекта [1].

Линейный размер блока изменяется в реальном времени в зависимости от ситуации. Очевидно, что длина блока для разных транспортных средств существенно различается. Чем выше скорость и больше масса поезда, тем крупнее должен быть блок. На рис. 3 условно показано, что один блок меньше другого: $L_1 < L_2$.

Верхняя граница подвижного блока (рис. 3) для объекта (Б) определяется либо



Рис. 4. Расчёт блока безопасности движения при субсидиарном управлении.



положением хвоста предшествующего поезда (А), либо другими препятствиями, независимыми от связи с бортовыми датчиками. Это могут быть объекты на трассе, фиксируемые с помощью видео-, инфракрасных изображений, акустических сигналов, данных от радиорелейных станций.

В общем случае говорят о дальнем обзоре или «слепом» обзоре. «Слепой» обзор означает обзор пути, невидимого из кабины машиниста в отсутствие оптической видимости, но фиксируемого с помощью технических средств. Дальний цифровой обзор предупреждает о непредвиденных препятствиях на пути и является всепогодным.

При бессветофорном железнодорожном движении на принципе субсидиарного управления появляется особенность, которая отсутствует при обычном сигнальном движении (рис. 1). Водитель (машинист) должен контролировать не только впереди идущий транспорт, но и объект, следующий за управляемым им, во избежание наезда позади идущего транспорта.

Для субсидиарного управления движением поездов это выражается в том, что длина блока безопасности, рассчитываемая бортовым компьютером, должна учитывать впереди и позади идущие поезда. Это показано на рис. 4.

На рис. 4 показано, что длина блока между поездами выбирается как максимальная из двух блоков L_1, L_2 (рис. 3).

Использование субсидиарного управления увеличивает эффективность и пропускную способность. Исключается дополнительная работа по установке меток и сигнальных устройств. Такая схема движения реализована на МЦК (Московское центральное кольцо). Использование подвижных блок-участков даёт увеличение эффективности движения с возможностью его интегрального регулирования [15]. Интегральное регулирование осуществляется с учётом временного интервала попутного следования, а не фиксированного

расстояния между поездами. Таким образом, в случае высокой скорости сохраняется большая дистанция между поездами, а в случае низкой она уменьшается.

ДРУГИЕ ФАКТОРЫ СУБСИДАРИАНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ

Адаптивность. Адаптивность субсидиарного управления вытекает из необходимости изменения условий движения согласно текущей ситуации и гибкому графику движения. Она обусловлена необходимостью структурной перестройки схемы движения и локальной цели управления. Структурная перестройка информационной модели управления облегчается при наличии элементарных составляющих, из которых можно формировать или с использованием которых перестраивать модель управления. В информационном управлении такими составляющими являются информационные единицы [16], которые также являются аналогом элементов сложной системы. Информационные единицы есть основа любой информационной конструкции, включая модель управления транспортом. Адаптивная модель включает виртуальное блоковое управление и допускает использование систем с переменной структурой, требующей элементарной основы, из которой она создаётся. Такой основой и являются информационные единицы. Иными словами, адаптивность требует включения в субсидиарное управление некоего механизма, обеспечивающего адаптацию к меняющимся условиям и ситуациям.

Информационность. Информационность тесно связана с цифровой экономикой и по существу является одной из форм её реализации. Поиск «проблемного пространства» и «пространства решений» включает сбор информации и её обработку. Информационное субсидиарное управление применяет информационные модели и информационные техно-

логии для анализа и управления движением. Необходимо различать информационный менеджмент и информационное управление [17]. Информационное управление имеет корни в техническом управлении. Менеджмент больше связан с организационным управлением. Субсидиарное управление является техническим и связано с информационным управлением. Информационность связана с использованием бортовых вычислительных устройств и неких ресурсов для хранения информации о ситуациях.

Комплементарность. При наличии сложных схем управления движением или множества управляемых могут возникать противоречия, своего рода паразитические циклы при реализации управленческих решений. Однако управление эффективно только тогда, когда такие противоречия в управленческой схеме минимизированы, что становится возможным при наличии комплементарности технологий управления [18]. Отсюда следует, что её обеспечение в технологических и информационных средствах управления является важным фактором subsidiарного управления в целом. Это новый фактор, характерный именно для subsidiарного управления транспортом, который требует проведения дополнительного (комплементарного) анализа для обеспечения согласованности действий.

Системность. Subsidiарное управление использует сочетание методов, основанных на ранее полученном опыте, и ситуационные, как следствие, управление легче осуществлять и анализировать, когда оно представляет собой целостную систему. Это приводит к необходимости применять системный подход [19, 20] для организации subsidiарного управления. Системный подход подразумевает использование элементов как составляющих системы, и в subsidiарном управлении такими элементами являются упомянутые выше информационные единицы.

Устойчивость. Subsidiарное управление должно быть устойчивым при наличии помех движению. Это приводит к понятию астатического управления, основанного на выдерживании параметров движения при наличии помех внешней среды. Оно заметно при движении морских судов

[21–23], не применяется при сигнально-блоковом движении железнодорожного транспорта, но слабо проявляется и при бесветофорном движении, то есть, при subsidiарном управлении. Эта теория может быть перенесена в область subsidiарного управления на железнодорожном транспорте. Она включает разработку алгоритмического обеспечения, основанного на применении оптимизационных методов теории управления и идеологии автоматизированного компьютерного проектирования. В отличие от известных методов синтеза законов управления, улучшающих отдельные динамические характеристики, многоцелевой подход поддерживает состояние объекта управления комплексно. В частности, важно, чтобы объект управления обладал свойством астатизма по регулируемому ключевому параметру, которое состоит в возможности сводить ошибку параметров движения к нулю при наличии внешнего воздействия. Моделирование таких систем является нетривиальной задачей, постановка и решение которой с привлечением современных математических и компьютерных методов существенно зависит от типа объекта, его параметров и назначения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование subsidiарного управления на железнодорожном транспорте даёт возможность организовать гибкий и более плотный график движения поездов. Subsidiарное управление включает многоцелевое управление рядом объектов и использует общий механизм и правила, что делает возможным реализацию такого движения на интеллектуальном транспорте и в киберфизических системах. Subsidiарное управление является альтернативой иерархическому управлению [24] с жёстким графиком движения. Оно допускает гибкое планирование при достижении стратегической цели.

Анализ subsidiарного управления контекстно выявляет два важных фактора: модель информационной ситуации и модели информационных единиц. Всё subsidiарное управление строится на создании и использовании модели информационной ситуации. Информационные единицы



служат основой адаптивности, системности и устойчивости управления. Субсидиарное управление особенно эффективно при ситуационном управлении [25, 26] в условиях динамического изменения условий движения, влияния факторов внешней среды и высокой интенсивности движения (характерных для мегаполиса). Однако применение этого подхода на железнодорожном транспорте требует специальных математических методов анализа условий движения, которые в обычном управлении транспортом не используют.

Сущность субсидиарного и астатического управления состоит в минимизации участия человека в управлении. Эффект субсидиарного управления состоит в повышении оперативности принятия решений. Можно рассматривать субсидиарные системы управления как реактивные, то есть оперативно реагирующие на изменение ситуации движения. Преимущество таких систем в том, что их можно применять и при автоматизированном, и при интеллектуальном управлении транспортом. Это позволяет накапливать опыт автоматизированного управления для переноса его в интеллектуальное управление транспортом и в транспортные киберфизические системы [27].

ЛИТЕРАТУРА

1. Цветков В. Я. Применение принципа субсидиарности в информационной экономике // Финансовый бизнес. – 2012. – № 6. – С. 40–43.
2. Manolopoulos D. The concept of autonomy in the subsidiary management research: A conceptual investigation // Journal of Transnational Management. – 2006. – Т. 11. – № 4. – С. 45–62. – DOI: 10.1300/J482v11n04_04.
3. Paterson S. L., Brock D. M. The development of subsidiary-management research: review and theoretical analysis // International Business Review. – 2002. – Т. 11. – № 2. – С. 139–163. – DOI: 10.1016/S0969-5931(01)00053-1.
4. Murthy S. N. [et al]. Methodology for implementation of unmanned vehicle control on FPGA using system generator // 2008 7th International Caribbean Conference on Devices, Circuits and Systems. – IEEE, 2008. – С. 1–6. – DOI: 10.1109/iccdcs.2008.4542645.
5. Cummings M. L. [et al]. The impact of human – automation collaboration in decentralized multiple unmanned vehicle control // Proceedings of the IEEE. – 2011. – Т. 100. – № 3. – С. 660–671. – DOI: 10.1109/jproc.2011.2174104.
6. Liu Y. [et al]. Metropolis parking problems and management planning solutions for traffic operation effectiveness // Mathematical Problems in Engineering Vol. 2012, Article ID678952, 6 p. [Электронный ресурс]: <http://dx.doi.org/10.1155/2012/678952>. Доступ 07.08.2019.
7. Fadare S. O., Ayantoyinbo B. B. A study of the effects of road traffic congestion on freight movement in Lagos metropolis // European Journal of Social Sciences. – 2010. – Т. 16. – № 3. – С. 429–437. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/287900193_A_study_of_the_effects_of_road_traffic_congestion_on_freight_movement_in_lagos_metropolis Доступ 07.08.2019.
8. Tsvetkov V. Ya. Multipurpose Management // European Journal of Economic Studies. – 2012. – № 2. – pp. 140–143.
9. Leo X. Rerum Novarum. 1891 // Catholic Social Thought: The Documentary Heritage. – 1931. [Электронный ресурс]: http://w2.vatican.va/content/leo-xiii/en/encyclicals/documents/hf_l-xiii_enc_15051891_rerum-novarum.html. Доступ 07.08.2019.
10. Ожерельева Т. А. Закон Ципфа в информационном поле // Славянский форум. – 2017. – № 2. – С. 62–67.
11. Щенников А. Н. Применение виртуальных блоков в управлении транспортом // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – № 1. – С. 17–26.
12. Козлов А. В. Принципы субсидиарности // Славянский форум. – 2018. – № 2. – С. 28–35.
13. Цветков В. Я. Развитие технологий управления // Государственный советник. – 2015. – № 4. – С. 5–10.
14. Лёвин Б. А., Цветков В. Я. Цифровая железная дорога: принципы и технологии // Мир транспорта. – 2018. – № 3. – С. 50–61.
15. Цветков В. Я. Интегральное управление высокоскоростной магистралью // Мир транспорта. – 2013. – № 5. – С. 6–9.
16. Романов И. А. Применение информационных единиц в управлении // Перспективы науки и образования. – 2014. – № 3. – С. 20–25.
17. Замышляев А. М. Информационное управление в транспортной сфере // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 4(4). – С. 11–24.
18. Щенников А. Н. Комплементарность при обработке информации // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2019. – № 1. – С. 24–30.
19. Кудж С. А. Системный подход // Славянский форум. – 2014. – № 1. – С. 252–257.
20. Козлов А. В. Системный анализ субсидиарных систем // Славянский форум. – 2019. – № 1. – С. 116–122.
21. Веремей Е. И., Корчанов В. М., Коровкин М. В., Погожев С. В. Компьютерное моделирование систем управления движением морских подвижных объектов. – СПб.: СПбГУ, 2002. – 370 с.
22. Лукомский Ю. А., Корчанов В. М. Управление морскими подвижными объектами. – СПб.: Элмор, 1996. – 320 с.
23. Сотникова М. В. Многоцелевые законы цифрового управления подвижными объектами // Дис... док. ф.-м. н. – СПб.: СПбГУ, 2007. – 371 с.
24. Угольницкий Г. А. Иерархическое управление устойчивым развитием – М.: Физматлит, 2010. – 336 с.
25. Дышленко С. Г. Ситуационный анализ в транспортной сети // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – № 1. – С. 26–33.
26. Коваленков Н. И. Ситуационное управление в сфере железнодорожного транспорта // Государственный советник. – 2015. – № 2. – С. 42–46.
27. Лёвин Б. А., Цветков В. Я. Киберфизические системы в управлении транспортом // Мир транспорта. – 2018. – № 2. – С. 138–145. ●