

А.А. Курносов

ЭФФЕКТЫ НЕЛИНЕЙНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОРСКИХ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Применительно к взаимодействию сложных систем рассматриваются вопросы мониторинга информационной обстановки, типы информационных взаимодействий и топологический подход к учёту многосредного взаимодействия сложных систем в подводной среде. Приведена классификация основных эффектов, возникающих при информационном взаимодействии морских техногенных объектов. Выделены три основные группы эффектов, связанные с физикой сред, с особенностями распространения энергии в этих средах и с особенностями собственно взаимодействия двух и более объектов. Приведена схема кластеризации эффектов – неопределённость, несовместимость, нелинейность, релятивистские эффекты, эффекты на границах сред. Внутри указанных кластеров в статье рассмотрены эффекты: роста интенсивности информационного обмена, появления непрогнозируемых новых связей, каузальной несовместимости, антиподов, бликов, подсветок, релятивистские эффекты. Показано, что существуют определенные различия в информационном взаимодействии объектов, находящихся в средах с разными скоростями взаимодействия и диссипацией энергии взаимодействия. Эти различия проявляются в росте интенсивности обмена в плотных средах на некоторых расстояниях «близости». При этом наблюдается появление непрогнозируемых причинно-следственных связей. В ходе обмена информацией в этих областях сингулярности, помимо эффектов, обусловленных особенностями распространения сигналов в воде, наблюдаются эффекты, связанные именно с информационным взаимодействием двух и более объектов. Отмечено, что практически все эффекты способны приводить к существенному искажению воспринимаемой объектами информации и к нарушению процесса принятия решений. Наибольшим катастрофическим потенциалом обладают эффекты несовместимости. При высоких скоростях движения морских техногенных объектов для отдельных наблюдателей возможно нарушение причинности. Показана схема нарушения причинности при взаимодействии объектов, связанная с потерями информации двух типов – релятивистского (за счёт превышения скорости перемещения объектов над скоростью взаимодействия в среде) и геометрического (за счёт выхода «быстрого» объекта из области «медленного» распространения импульса). Сделан вывод о необходимости проведения физического имитационного моделирования с использованием высокопроизводительных систем и современных математических методов на единой критериальной базе.

Сложные системы; неэргодичность; совместимость; взаимодействие; неопределённость; антиподы; блики; подсветки; фактор Лоренца; причинность; физическое имитационное моделирование.

А.А. Kurnosov

EFFECTS OF NONLINEAR INFORMATION INTERACTION OF MARINE TECHNOGENIC OBJECTS

With regard to the interaction of complex systems, the issues of monitoring the information situation, the types of information interactions and the topological approach to taking into account the multimedia interaction of complex systems in the underwater environment are considered. The classification of the main effects arising from information interaction of marine technogenic objects is given. Three main groups of effects associated with the physics of media, with the features of the propagation of energy in these media and with the features of the actual interaction of two or more objects are distinguished. The scheme of clustering of effects is given: uncertainty, incompatibility, nonlinearity, relativistic effects, effects on the boundaries of media. Within these clusters, the article considers the following effects: an increase in the intensity of information exchange, the emergence of unpredictable new connections, causal incompatibility, antipodes, glare, backlights, relativistic effects. It is shown that there are certain differences in the information interaction of objects in media with different interaction rates and dissipation of interaction energy. These differences are manifested in an increase in the intensity of exchange in dense media at some "proximity" distances. In this

case, the emergence of unpredictable causal relationships is observed. During the exchange of information in these regions of the singularity, in addition to the effects caused by the peculiarities of the propagation of signals in water, the effects associated precisely with the information interaction of two or more objects are observed. It is noted that almost all effects can lead to a significant distortion of the information perceived by objects and to a violation of the decision-making process. Incompatibility effects have the greatest catastrophic potential. At high speeds of movement of marine technogenic objects for individual observers, a violation of causality is possible. The scheme of violation of causality in the interaction of objects is shown, associated with the loss of information of two types – relativistic (due to the excess of the speed of movement of objects over the speed of interaction in the medium) and geometric (due to the exit of a "fast" object from the region of "slow" pulse propagation). It is concluded that it is necessary to carry out physical simulation using high-performance systems and modern mathematical methods on a single criterion basis.

Complex systems; non-ergodicity; compatibility; interaction; uncertainty; antipodes; glare; highlights; Lorentz factor; causality; physical simulation.

Введение. Наше стремление создавать конкурентоспособные системы, обладающие всё большей эффективностью, неизбежно ведёт к усложнению создаваемых систем и процессов взаимодействия составляющих компонент. Мы выделяем следующие определяющие характеристики таких систем – сложные неравновесные неэргодические рефлексивные открытые активные многоцелевые системы с динамической структурой, взаимодействующие во множестве трансформируемых сред.

Управление такими, лишь частично совместимыми системами возможно, однако, требует максимально полного учёта физических и информационных аспектов взаимодействия.

Мониторинг полей и сигналов. Учёт физических и информационных аспектов взаимодействия морских техногенных объектов требует создания механизма мониторинга эффективного динамического информационного поля вокруг объектов, с учётом диссипации энергии в среде, квантования по Котельникову-Найквисту, эффектов Допплера, фазовых сдвигов и задержек распространения сигналов, факторов фокусировки энергии, удлинения и бликовой структуры отраженных сигналов, характеристик излучателей и приёмников и т.п. Учёт указанных факторов относится к классу сложнейших научно-технических проблем, реализация механизмов мониторинга, чувствительных к совокупности приведенных эффектов в значимой части спектра, насчитывает в мире единицы успешных реализаций [2]. Одна из таких реализаций разработана в АО «СПМБМ «Малахит», её ядром являются механизмы мониторинга информационной обстановки; схема основных факторов, учитываемых при мониторинге только подводной обстановки представлена на рис. 1.

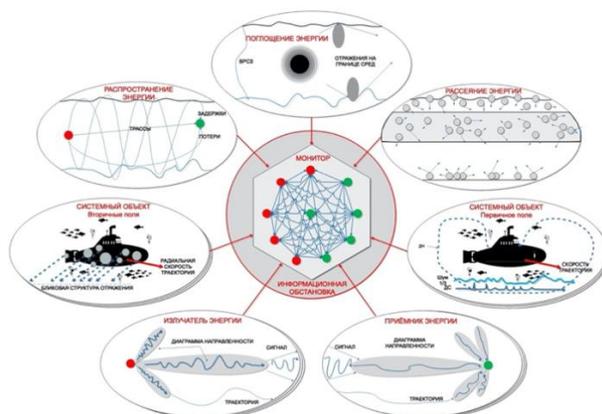


Рис. 1. Факторы, учитываемые при взаимодействии сложных систем в подводной среде (по материалам [1, 2])

Главная сложность при мониторинге информационной обстановки заключается в корректном динамическом учёте факторов изменчивости систем, существующих непрерывно и дискретно в трех измерениях времени – координатном, частотном и структурном.

Типы информационных взаимодействий объектов, учитываемых при мониторинге, на примере трех объектов, размещённых в стратифицированной нелинейной подводной среде показаны на рис. 2.

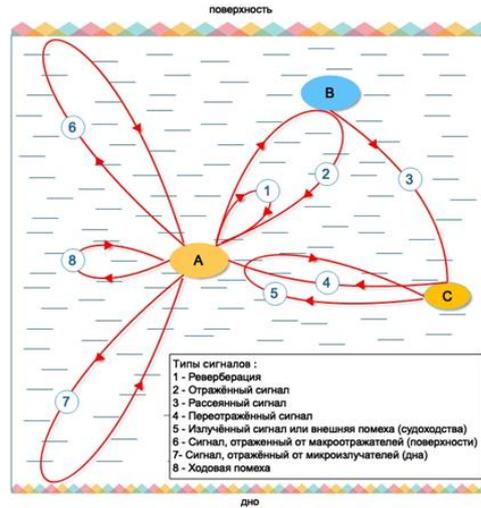


Рис. 2. Типы информационных взаимодействий объектов в одной среде с двумя границами

Более сложные, но аналогичные взаимодействия возникают при реализации многосредных задач. При этом необходимо учитывать, что многосредные системы сами образуют структуры определённой сложности, фактически увеличивающие размерность пространства взаимодействующих объектов за счёт включения в него в качестве таковых границ раздела сред (рис. 3).

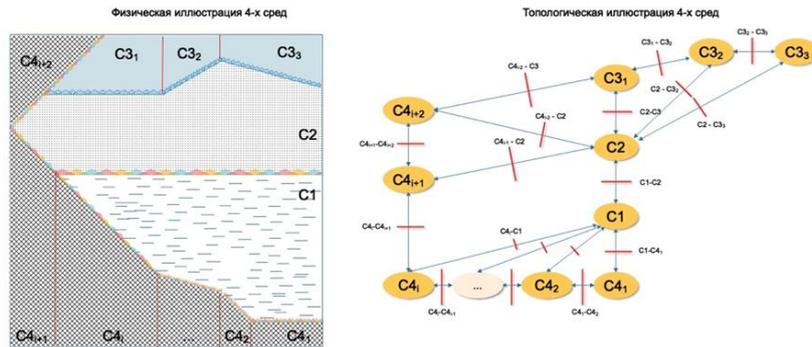


Рис. 3. Иллюстрация сложной топологии многосредных задач

Физические эффекты при информационном взаимодействии. Взаимодействие сложных систем связано с появлением ряда эффектов, обнаруживаемых при мониторинге и требующих обязательного учёта при проектировании сложных систем. К ним относятся в первую очередь эффекты, показанные на рис. 4.



Рис. 4. Основные эффекты при информационном взаимодействии сложных систем

Можно выделить три большие группы эффектов (выделены различными цветами) – связанные с физикой сред (красный цвет), с особенностями распространения энергии в этих средах (синий цвет), а также с особенностями собственно взаимодействия двух и более объектов (чёрный цвет).

Приведенные на рис. 2 основные физические эффекты известны много десятилетий и изучены достаточно хорошо (например, в [3–7]), поэтому их неполный перечень приводится здесь только для лучшего понимания сложности исследуемых процессов взаимодействия, обладающих нелинейной природой.

К рассматриваемым далее эффектам собственно взаимодействия объектов можно отнести эффекты, составляющие 5 подгрупп – неопределённости, несовместимости, релятивистских эффектов и некоторых эффектов, связанных с нелинейностью физических процессов. Все перечисленные эффекты приводят к искажениям помехосигнальной (ПСО) и информационной обстановки (ИО) в той или иной степени влияя на ситуационную осведомлённость.

Неопределённость. Эффекты неопределённости приводят к искажениям ПСО, в первую очередь, за счёт двух взаимосвязанных эффектов – резкого роста интенсивности информационного обмена в определённых ситуациях взаимодействия с высокой «плотностью» процессов взаимодействия – быстротой и необратимостью их протекания, а также непредсказуемого характера появления новых связей. Иллюстрация роста интенсивности информационного обмена, полученного в АО «СПМБМ «Малахит» при проведении имитационного моделирования, приведена на рис. 5.

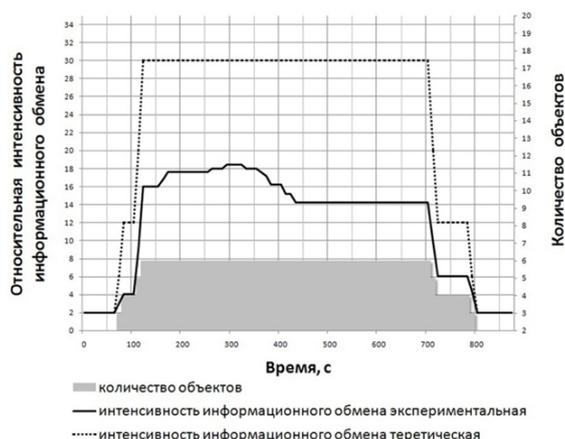


Рис. 5. Изменение интенсивности информационного обмена в зависимости от количества взаимодействующих объектов (диапазон расстояний 0–3 км)

Непредсказуемость появления новых связей обусловлена динамическим характером взаимодействия и различной величиной силы цели в зависимости от углов падения-отражения сигналов. Их предельное количество связано с количеством объектов взаимодействия N зависимостью типа (N^2-N) ; понятна величина расхождения между ожидаемым количеством связей, обычно $\approx N$: так, для 5 объектов и 5-ти ожидаемых связей количество непредсказуемых связей может составить величину порядка 20-ти.

Антиподы. В отдельную подгруппу можно выделить искажения ПСО, вызванные сложным характером формирования отражённых сигналов – так называемые антиподы [8]. Антипод – информационный портрет объекта, полученный при его облучении активными радиолокационными или гидроакустическими сигналами. По существу, радиолокационный/гидроакустический антиподы являются самостоятельными характеристиками информационного портрета корабля.

Эффект появления антиподов связан с физическими особенностями формирования эхосигналов вблизи границ раздела сред; особенность антиподов заключается в том, что уровень сигнала антипода зачастую выше, чем уровень сигнала, отражённого от реального объекта; в зоне прямой видимости величины средней эффективной поверхности рассеяния самого корабля и его антипода одинаковы по порядку величин [10, 11–13]. Распознавание объектов вообще, а морских техногенных объектов – в частности, основывается на анализе их информационных портретов с высоким разрешением по двум координатам. Часть портрета оказывается занята антиподом объекта, так что все процедуры распознавания и определения истинных координат объектов следует проводить с учетом этого фактора.

На рис. 6 приведена схема формирования антипода, а на рис. 7 приведены численные характеристики типового антипода для портрета надводного корабля. Аналогичные эффекты возникают применительно к подводным объектам, находящимся вблизи границ раздела сред.

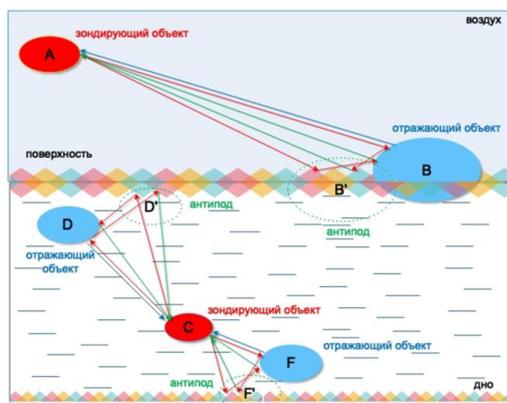


Рис. 6. Схема формирования антиподов у границ раздела сред

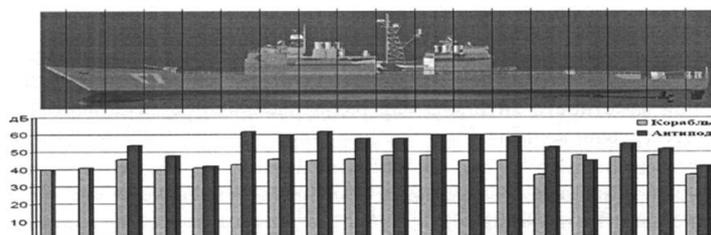


Рис. 7. Гистограммы распределения интенсивности отражений от корабля и его антипода (приводится по данным [8])

Бликовая структура. Этот эффект можно считать очень похожим на эффект антиподов, однако его природа несколько другая. Если появление антиподов связано с наличием границы раздела сред и с тонкими механизмами формирования сигналов, отражающихся квазиодновременно от реального объекта и от границы раздела сред, то появление бликовой структуры в отражённом сигнале связано с различной силой отражений от объекта, неоднородного внутренне.

Обычно модель такого объекта представляют набором n -сфер с эквивалентными радиусами R_n , отстоящими друг от друга на расстояние l_n .

Схема формирования отраженного сигнала с бликовой структурой показана на рис. 7; разницу в сигналах, отражённых от подводного объекта с кормового и отличного от кормового и траверзного направлений прихода тонального акустического сигнала иллюстрирует рис. 8 (приводится по данным [9]).

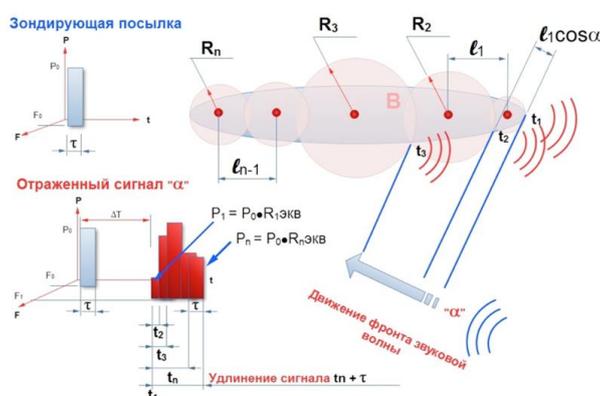


Рис. 8. Схема формирования отражённого сигнала с бликовой структурой

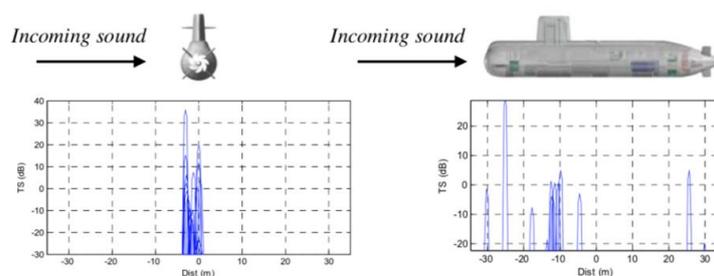


Рис. 9. Иллюстрация сигналов, отраженных подводным объектом с кормового и отличающегося от траверзного направлений (по материалам [9])

Подсветки. Эффект подсветки проявляется в ситуациях взаимодействия как минимум двух, как правило – не менее трех объектов, один из которых является наблюдателем, второй – наблюдаемым, а третий – источником сильных, зачастую ненаправленных сигналов (или помех). В таких случаях наблюдаемые объекты, даже обладающие высокой скрытностью, это качество теряют за счёт отражения сигналов (помех) в сторону объекта-наблюдателя.

Это происходит потому, что энергии сигнала (помех), отражённого от наблюдаемого объекта оказывается достаточно для его подсветки в системах обнаружения объекта-наблюдателя. Иллюстрация схемы подсветки приведена на рис. 10.



Рис. 10. Схема подсветки

Данный эффект может рассматриваться как положительный в задачах поиска скрытых объектов и как отрицательный – в задачах уклонения от обнаружения.

Совместимость. Одним из важнейших следствий взаимодействия является несовместимость систем, вступающих в это взаимодействие, преимущественно информационное; по степени сложности различают атрибутивную, сигнальную и каузальную совместимость. Факторы рискованного взаимодействия, приводящие к эффектам несовместимости, составляют 5 групп, показанных на рис. 11.

Эффекты несовместимости носят непредсказуемый динамический характер, близкий по типу к фазовым переходам [14] (рис. 12). В случае проявления системной эмерджентных свойств можно говорить о высокой степени совместимости элементов взаимодействующих систем, вплоть до полной. В случае ухудшения результата (от прогнозируемого) можно говорить о появлении эффектов несовместимости, вплоть до полной. Кроме того, предлагается считать проявления несовместимости свойством, характеризующим именно сложные системы.

Рисунок 12 иллюстрирует изменения состояния системы при переходе из текущего состояния А в желательное состояние С. При отсутствии несовместимости в системе и наличии системы управления с обратной связью, система перейдет в желательное состояние и получит эффект (с-а); при проявлении факторов несовместимости конечный результат может быть непредсказуем и дать один из трех возможных вариантов – «чудесный» F с эффектом (f-a); нежелательный «допустимый» D с ухудшением состояния системы, но в области допустимых состояний (d-a); нежелательный «ужасный» E с резким ухудшением состояния системы за пределами области допустимых состояний (e-a). Координация управления при таком переходе невозможна, неопределённость результата будет расти с ростом количества факторов неопределённости и усложнением системы

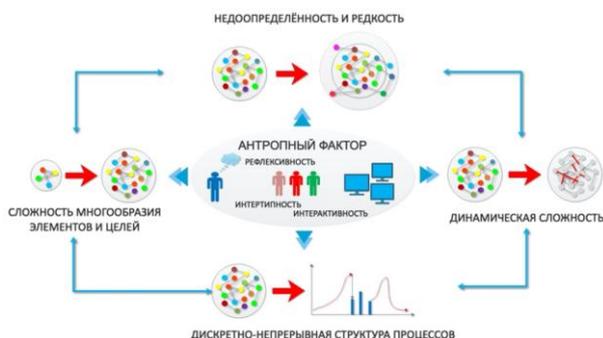


Рис. 11. Факторы рискованного взаимодействия сложных систем

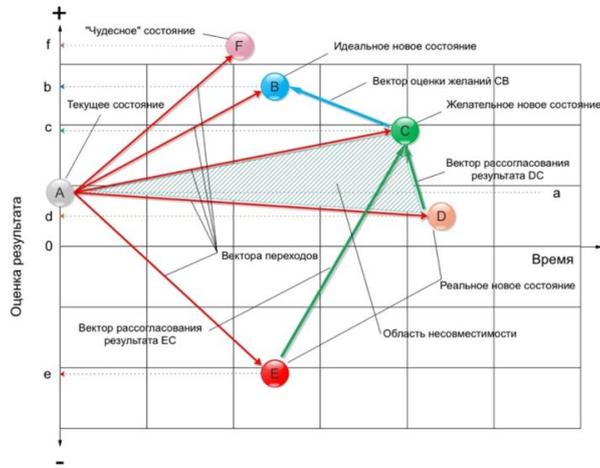


Рис. 12. Характер проявления несовместимости сложных систем

Тем не менее, управление частично совместимыми системами возможно, однако требует максимально полного учёта физических аспектов взаимодействия объектов, образующих сложную систему. Особенно трудоёмкой для исследований и корректировок является каузальная совместимость, требующая высокопроизводительного физического имитационного моделирования динамики каузальных гиперграфов.

Релятивистские эффекты. Специальная теория относительности (СТО) рассматривает ситуации взаимодействия движущихся объектов с сигналами информационного взаимодействия, обладающими постоянной скоростью в среде, которая не может превышать скорости света. Морские техногенные объекты движутся со скоростями, не превышающими десятков метров в секунду, однако скорость информационного взаимодействия в подводной среде составляет величину порядка $1.5 \times 10^3 \text{ м/с}$. То есть в подводной среде, без всяких нарушений положений СТО, возможно перемещение объектов со скоростями, превышающими скорость информационного взаимодействия. Кроме того, объекты других доменов, взаимодействующие с морскими техногенными объектами и движущиеся со скоростями, существенно превышающими скорость звука в воде, по взаимодействию будут связаны именно со скоростью звука в воде (так, например, самолет, получающий информацию о местонахождении подводного объекта от радиогидроакустического буя, реально работает с двухканальной системой, в которой скорость получения информации определяется самым медленным из каналов – гидроакустическим). Таким образом, большое количество объектов, взаимодействующих с морскими техногенными объектами, независимо от их природы, будут привязаны к скорости информационного взаимодействия порядка $1.5 \times 10^3 \text{ м/с}$ (см. рис. 13, линии электромагнитного (красным цветом) и гидроакустического (синим цветом) взаимодействия на рис. 13 изображены условно, для того, чтобы подчеркнуть существование различных по скорости и структуре каналов взаимодействия.).

Будем рассматривать три системы координат (СК) в принятой в СТО терминологии «штрихованных» инерциальных систем: неподвижную СК ОХ; 1-ую подвижную СК ОХ' (см. рис. 14), связанную непосредственно с движущимся объектом; 2-ую подвижную СК ОХ'', связанную с излучаемыми гидроакустическими сигналами.

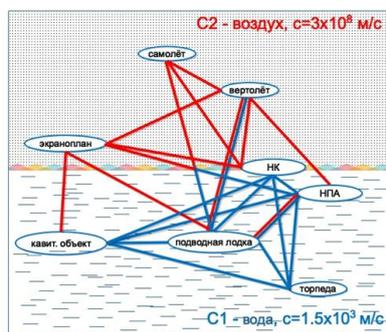


Рис. 13. Взаимодействующие объекты и среды взаимодействия

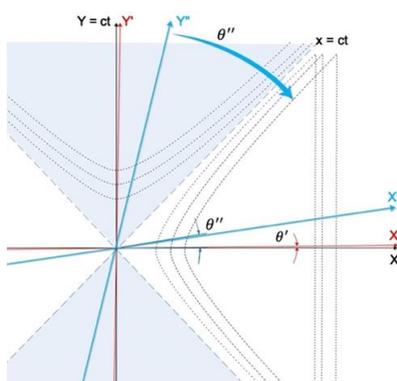


Рис. 14. Системы координат инерциальных систем и гиперболы инварианта Минковского

Рассмотрим следующие скорости некоторых потенциально-взаимодействующих в морской среде объектов [15–22] и соответствующие релятивистские коэффициенты β и γ :

Таблица 1

Скорости объектов и релятивистские коэффициенты

N п/п	Тип объекта	v' , м/с	β'	β''	γ'	γ''	θ'	θ''
1	Необитаемый подводный аппарат	3	10^{-8}	2×10^{-3}	1	1,000002	$5,73 \times 10^{-7}$	0,12
2	Надводный корабль	15	5×10^{-8}	0,01	1	1,00005	$2,86 \times 10^{-6}$	0,57
3	Подводная лодка	20	$6,67 \times 10^{-8}$	0,013	1	1,000084	$3,82 \times 10^{-6}$	0,76
4	Торпеда	30	10^{-7}	0,02	1	1,0002	$5,73 \times 10^{-6}$	1,15
5	Вертолёт	75	$2,5 \times 10^{-7}$	0,05	1	1,0012	$1,43 \times 10^{-5}$	2,86
6	Экраноплан/ ракетоторпеда / НПА типа «Посейдон»	100	$3,33 \times 10^{-7}$	0,067	1	1,0022	$1,89 \times 10^{-5}$	3,81
7	Самолёт	200	$6,66 \times 10^{-7}$	0,133	1	1,009	$3,82 \times 10^{-5}$	7,41
8	Дозвуковая ракета	300	10^{-6}	0,2	1	1,021	$5,7 \times 10^{-5}$	11,31
9	Суперкавитирующий объект 1	750	$2,5 \times 10^{-6}$	0,5	1	1,155	$1,43 \times 10^{-4}$	26,57
10	Сверхзвуковая ракета	900	3×10^{-6}	0,6	1	1,25	$1,71 \times 10^{-4}$	30,96
11	Суперкавитирующий объект 2	1500	5×10^{-6}	1	1	∞	$2,86 \times 10^{-4}$	45

Примечания к табл. 1:

1. Коэффициент $\beta' = \frac{v'}{c}$, где v' – скорость объекта относительно ОХ, c – скорость электромагнитного взаимодействия в среде С ($c = 3 \times 10^8$), $\beta'' = \frac{v''}{c''}$, где v'' – скорость объекта, c'' – скорость гидроакустического взаимодействия в среде С'' ($c' = c'' \sim 1.5 \times 10^3$)

2. Лоренц-фактор $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$ с индексами, соответствующими индексам β .

3. Углы поворота осей систем координат относительно ОХ и ОХ' соответственно: $\theta' = \arctg \frac{v'}{c}$, $\theta'' = \arctg \frac{v''}{c''}$

4. β, γ – соответствуют неподвижной системе координат ОХ, β', γ' – соответствуют 1-ой подвижной системе координат ОХ' (см. рис. 1), связанной непосредственно с движущимся объектом. β'', γ'' – соответствуют 2-ой подвижной системе координат ОХ'', связанной с излучаемыми объектами гидроакустическими сигналами.

Как и следовало ожидать, между неподвижной ОХ и подвижной ОХ' системами координат релятивистские эффекты практически отсутствуют, сводясь к величинам шестого-седьмого порядков малости; оси систем координат ОХ и ОХ' можно считать взаимно совпадающими (угол $\theta' \sim 0$), поэтому далее можно считать эти оси совпадающими, а под скоростью взаимодействия в среде понимать скорость распространения гидроакустических волн c'' .

Однако применительно к осям ОХ' и ОХ'' всё обстоит иначе – поскольку коэффициент β'' для реально взаимодействующих в подводной среде объектов принимает далеко не малые значения; а поворот-сжатие косоугольной системы координат ОХ'' относительно (ОХ, ОХ') измеряется значительными величинами.

Как следует из СТО [23], в случае, когда $\beta'' > 1$ - инвариант s^2 пространства-времени Минковского, определяемый как $s^2 = c''^2 t^2 - x^2$, принимает отрицательное значение, становясь пространственно-, а не времениподобным. Это ведёт к нарушению причинности, степень которой можно оценивать, например, по значению Лоренц-фактора γ'' . При превышении значения $\beta''=1$, взаимодействие между объектами становится невозможным в силу превышения объектами скорости звука в воде (области на рис. 14, лежащие за пределами «звукового» конуса).

Причинность же для неподвижного наблюдателя сохраняется, поскольку никакого нарушения положений СТО не происходит – перемещения всех объектов происходит со скоростями, много меньшими скорости света. Но для реальных объектов, взаимодействующих с конечной скоростью взаимодействия c'' , и обладающих принципиальной возможностью движения со скоростями, большими, чем скорость взаимодействия, такое нарушение причинности совершенно объяснимо.

Естественно, что большинство реальных взаимодействующих объектов, показанных на рис. 13 и в табл. 1, обладают существенно более низкими скоростями, чем приведенные предельные значения; но даже для них релятивистские эффекты будут достаточно заметны, по крайней мере, несоизмеримо заметнее, чем для типовых моделей, рассматриваемых СТО.

Приведенные простейшие оценки релятивистских искажений, возникающих при взаимодействии относительно быстро движущихся объектов в подводной среде показывают наличие не ничтожных искажений времён, частот, расстояний и параметров характеристик направленности осцилляторов – фактически, можно считать, что при взаимодействии N объектов возникает (N2-N) «миров», отличающихся указанными параметрами взаимодействия. Если сконцентрировать внимание на проблеме причинности, то можно предположить, что в определённых случаях может иметь место нарушение причинности в связи с «разновременностью» событий, происходящих в этих «мирах» [24]. Естественно, что нарушение

причинности происходит для конкретного наблюдателя, производящего оценку ситуации; сама сеть отношений между причинно-следственными связями в случае наличия причинно-следственной инвариантности всегда будет одинаковой (если только этот наблюдатель в силу искажённости ситуации для него не изменит саму сеть отношений своими действиями). На рис. 15,а) показан абстрактный причинно-следственный граф как результат событий (синие круги) и процессов (красные стрелки), происходящих в некой системе из N неподвижных объектов (на рисунке не показана); горизонтальные слоения этого графа (красный пунктир) вдоль вертикального направления соответствуют обычному последовательному течению «координатного» времени, все события в одном слое происходят одновременно для всех N -объектов. В случае относительного перемещения объектов (зелёная стрелка) все наблюдатели на объектах испытают индивидуальные последовательности событий, например так, как показано на рис. 15,б). А это значит, что слоение, которое они естественным для себя образом построят, будет отличаться от слоения рис. 15,а,б) – рис. 15,в). Поскольку наблюдателям, перемещающимся по зелёной стрелке, неизвестен «истинный» причинно-следственный граф, то они создадут свои собственные версии, где слоения будут горизонтальными; и чтобы сохранилась основная структура и углы каузального графа, они осуществят скейлинг с масштабным коэффициентом, пропорциональным фактору Лоренца γ – рис. 15,г). Как видно, при этом восприятие наблюдателями последовательности событий становится несколько иным, что не может не оказывать влияния на процесс принятия решения.

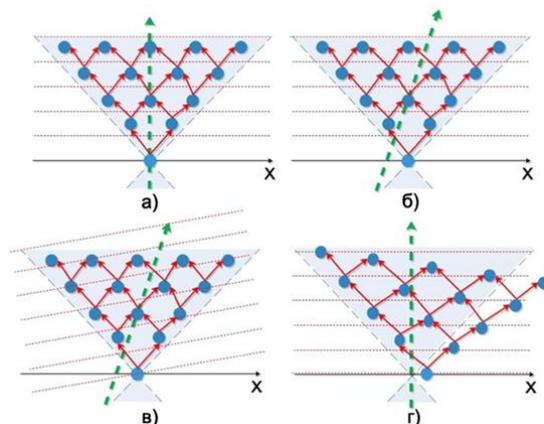


Рис. 15. Схема нарушения причинности за счёт релятивистских эффектов

Несложно показать аналогичным вышеприведенному образом, что для взаимодействующих через подводную среду объектов искажения будут иметь место и для характеристик направленности осцилляторов, продольного и поперечного эффектов Допплера и т.п.

Последний эффект помещён в подраздел релятивистских эффектов постольку, поскольку он тоже связан с понятием *relatio* (отношения), хотя и рассматривается с позиций Галилеевской механики. Относительно близкие величины скоростей распространения информации и движения морских техногенных объектов приводят при взаимодействии к потере контакта за счёт выхода объекта из зоны локации за время распространения звуковой волны до объекта (такой же эффект имеет место и при отражении сигнала). Также имеют место Допплеровские сдвиги частот за счёт наличия радиальных скоростей взаимного перемещения объектов. Иллюстрация потери контакта приведена на рис. 16.

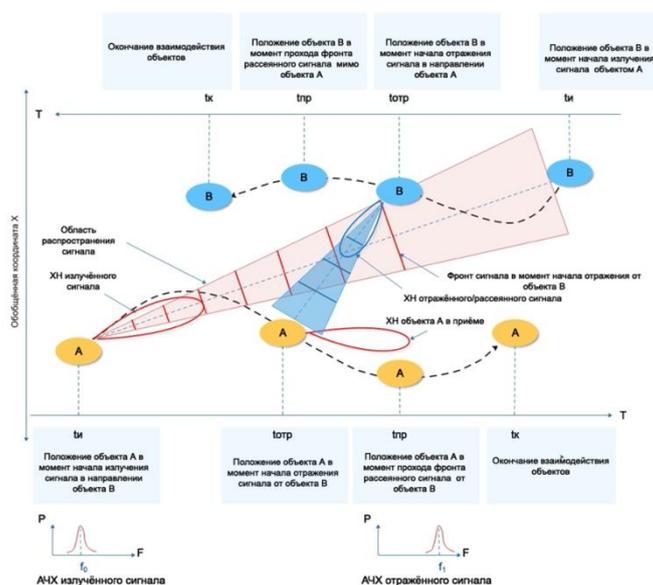


Рис. 16. Информационное взаимодействие двух объектов в подводной среде

Заключение. Существуют определенные различия в информационном взаимодействии объектов, находящихся в средах с разными скоростями взаимодействия и диссипацией энергии взаимодействия. Эти различия проявляются в росте интенсивности обмена в плотных средах на некоторых расстояниях «близости». При этом наблюдается появление непрогнозируемых причинно-следственных связей. В ходе обмена информацией в этих областях сингулярности помимо эффектов, обусловленных особенностями распространения сигналов в воде, наблюдаются эффекты, связанные именно с информационным взаимодействием двух и более объектов.

Необходимо сосредоточиться на проблематике обеспечения управления системами с неполной совместимостью, поскольку именно эффекты несовместимости обладают наибольшим катастрофическим потенциалом.

Существуют искажения ПСО, вызываемые антиподами, бликами и подсветками. А потери информации можно разделить на два типа:

- ◆ релятивистский – за счёт превышения скорости перемещения объектов над скоростью взаимодействия в среде (в пределах предельной скорости взаимодействия – скорости света);
- ◆ геометрический – за счёт выхода «быстрого» объекта из области «медленного» распространения импульса.

При высоких скоростях движения морских техногенных объектов для отдельных наблюдателей возможно нарушение причинно-следственных связей.

Практически все эффекты способны приводить к потерям или существенному искажению воспринимаемой объектами информации и к нарушению процесса принятия решений.

Приведенные особенности необходимо учитывать при исследовании процессов информационного взаимодействия объектов в различных средах. Учёт эффектов, возникающих при взаимодействии морских техногенных объектов, представляет собой серьёзную научно-техническую проблему, требующую проведения физического имитационного моделирования с использованием высокопроизводительных систем и современных математических методов на единой критериальной базе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Курносоев А.А. Способ учета каузальной совместимости в сложных технических системах // Сб. трудов 24-й международной конференции «Системный анализ, управление и навигация». – 2019. – С. 109-111.
2. The Sonar Simulation Toolset, Release 4.6: Science, Mathematics, and Algorithms Applied Physic Laboratory University of Washington.
3. Сташкевич А.П. Акустика моря. – Л.: Судостроение, 1966. – 350 с.
4. Урик Р.Дж. Основы гидроакустики: пер. с англ. / под общ. ред. Е.И. Шендерова. – Л.: Судостроение, 1978. – 448 с.
5. Румынская И.А. Основы гидроакустики. – Л.: Судостроение, 1979. – 213 с.
6. Бреховских Л.М., Годин О.А. Акустика слоистых сред. – М.: Наука, 1989. – 416 с.
7. Свердлин Г.М. Прикладная гидроакустика. – Л.: Судостроение, 1990.
8. Штагер Е.А. Радиолокационные антиподы кораблей. – СПб.: ЦНИИ им. А.Н. Крылова, 2011. – 169 с.
9. Lennart V., Jörgen P. A fast target strength model and its application with a multipath propagation model // UACE2017 4th Underwater Acoustics Conference and Exhibition. – P. 405-412.
10. Штагер Е.А. Отражение радиоволн от кораблей и других морских объектов. – СПб.: ВВМ, 2004. – 418 с.
11. Штагер Е.А. Рассеяние радиоволн объектами сложной формы. – М.: Радио и связь, 1986. – 184 с.
12. Штагер Е.А., Штагер Д.Е. Область существования эффекта усиления обратного рассеяния волн вблизи шероховатой границы раздела // Радиотехника и электроника. – 1990. – Т. 35, № 2.
13. Алексеев А.Г., Штагер Е.А., Козырев С.В. Физические основы технологии Stealth. – СПб.: ВВМ, 2007. – 282 с.
14. Дорофеев В.Ю., Курносоев А.А., Лопота А.В., Половко С.А. Глобальные цели, принципы проектирования, механизмы взаимодействия, дестабилизирующие эффекты и рациональная организация разработки RIC-систем // Известия ЮФУ. Технические науки. 2019. – № 1 (203). – С. 85-98.
15. Интернет ресурс: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%83%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BF%D0%B5%D0%B4%D0%B0_%D1%84%D0%B8%D1%80%D0%BC%D1%8B_Diehl_BGT_Defence (дата обращения: 08.07.2020).
16. Интернет ресурс: https://wiki.wargaming.net/ru/Navy:%D0%A2%D0%BE%D1%80%D0%BF%D0%B5%D0%B4%D1%8B_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8_%D0%B8_%D0%A1%D0%A1%D0%A1%D0%A0 (дата обращения: 08.07.2020).
17. Интернет ресурс: <http://brahmos.com/ru-content.php?id=10&sid=10> (дата обращения: 14.07.2020).
18. Интернет ресурс: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D1%81%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D0%BA%D0%B5%D1%82%D0%B0 (дата обращения: 14.07.2020).
19. Интернет ресурс: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D1%83%D0%BD%D1%8C_%D1%8D%D0%BA%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD (дата обращения: 14.07.2020).
20. Шахиджанов Е.С., Сулов Ю.В. Скоростные подводные ракеты подводных лодок // Сб. «Роль российской науки в создании отечественного подводного флота». – М.: Наука, 2007.
21. Интернет ресурс: <https://rg.ru/2019/03/19/posejdon-smogut-ispolzovat-dlia-glubinno-go-issledovaniia-mirovogo-okeana.html> (дата обращения: 14.07.2020).
22. Интернет ресурс: <https://www.scmp.com/news/china/article/1580226/shanghai-san-francisco-100-minutes-chinese-supersonic-submarine>.
23. Мандельштам Л.И. Лекции по оптике, теории относительности и квантовой механике. – М.: Наука, 1972. – 440 с.
24. Вольфрам С. Путь к фундаментальной теории физики. – <https://writings.stephenwolfram.com/2020/04/finally-we-may-have-a-path-to-the-fundamental-theory-of-physics-and-its-beautiful/> (дата обращения: 18.08.2020).

REFERENCES

1. *Kurnosov A.A.* Sposob ucheta kausal'noy sovmestimosti v slozhnykh tekhnicheskikh sistemakh [Method of accounting for causal compatibility in complex technical systems], *Sb. trudov 24-y mezhdunarodnoy konferentsii «Sistemnyy analiz, upravlenie i navigatsiya»* [Collection of works of the 24th international conference "System analysis, control and navigation"], 2019, pp. 109-111.
2. The Sonar Simulation Toolset, Release 4.6: Science, Mathematics, and Algorithms Applied Physic Laboratory University of Washington.
3. *Stashkevich A.P.* Akustika moray [Acoustics of the sea]. Leningrad: Sudostroenie, 1966, 350 p.
4. *Urik R.Dzh.* Osnovy gidroakustiki [Basics of hydroacoustics]: trans. from English, under the general ed. E.I. Shenderova. Leningrad: Sudostroenie, 1978, 448 p.
5. *Rumynskaya I.A.* Osnovy gidroakustiki [Fundamentals of hydroacoustics]. Leningrad: Sudostroenie, 1979, 213 p.
6. *Brekhovskikh L.M., Godin O.A.* Akustika sloistykh sred [Acoustics of layered media]. Moscow: Nauka, 1989, 416 p.
7. *Sverdlin G.M.* Prikladnaya gidroakustika [Applied hydroacoustics]. Leningrad: Sudostroenie, 1990.
8. *Shtager E.A.* Radiolokatsionnye antipody korably [Radar antipodes of ships]. Saint Petersburg: TSNII im. A.N. Krylova, 2011, 169 p.
9. *Lennart B., Jörgen P.* A fast target strength model and its application with a multipath propagation model, *UACE2017 4th Underwater Acoustics Conference and Exhibition*, pp. 405-412.
10. *Shtager E.A.* Otrazhenie radiovoln ot korablei i drugikh morskikh ob'ektov [Reflection of radio waves from ships and other marine objects]. Saint Petersburg: VVM, 2004, 418 p.
11. *Shtager E.A.* Rasseyaniye radiovoln ob'ektami slozhnoy formy [Scattering of radio waves by objects of complex shape]. Moscow: Radio i svyaz', 1986, 184 p.
12. *Shtager E.A., Shtager D.E.* Oblast' sushchestvovaniya efekta usileniya obratnogo rasseyaniya voln vblizi sherokhovatoy granitsy razdela [The region of existence of the effect of amplification of backscattering of waves near a rough interface], *Radiotekhnika i elektronika* [Radio engineering and electronics], 1990, Vol. 35, No. 2.
13. *Alekseev A.G., Shtager E.A., Kozyrev S.V.* Fizicheskie osnovy tekhnologii Stealth [Physical bases of Stealth technology]. Saint Petersburg: VVM, 2007, 282 p.
14. *Dorofeev V.Yu., Kurnosov A.A., Lopota A.V., Polovko S.A.* Global'nye tseli, printsipy proektirovaniya, mekhanizmy vzaimodeystviya, destabiliziruyushchie efekty i ratsional'naya organizatsiya razrabotki RIC-sistem [Global aims, design principles, interaction mechanisms, destabilizing effects and rational organization of ric-system development], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskoe nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2019, No. 1 (203), pp. 85-98.
15. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%83%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BF%D0%B5%D0%B4%D0%B0_%D1%84%D0%B8%D1%80%D0%BC%D1%8B_Diehl_BGT_Defence (accessed 08 July 2020).
16. Available at: https://wiki.wargaming.net/ru/Navy:%D0%A2%D0%BE%D1%80%D0%BF%D0%B5%D0%B4%D1%8B_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8_%D0%B8_%D0%A1%D0%A1%D0%A1%D0%A0 (accessed 08 July 2020).
17. Available at: <http://brahmos.com/ru-content.php?id=10&sid=10> (accessed 14 July 2020).
18. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D1%81%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BF%D0%B0%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D0%BA%D0%B5%D1%82%D0%B0 (accessed 14 July 2020).
19. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D1%83%D0%BD%D1%8C_%D1%8D%D0%BA%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD (accessed 14 July 2020).
20. *Shakhidzhanov E.S., Suslov Yu.V.* Skorostnye podvodnye rakety podvodnykh lodok [High-speed submarine missiles], *Sb. «Rol' rossiyskoy nauki v sozdanii otechestvennogo podvodnogo flota»* [Collection "The role of Russian science in the creation of the domestic submarine fleet"]. Moscow: Nauka, 2007.

21. Available at: <https://rg.ru/2019/03/19/posejdon-smogut-ispolzovat-dlia-glubinnogoissledovaniia-mirovogo-okeana.html> (accessed 14 July 2020).
22. Available at: <https://www.scmp.com/news/china/article/1580226/shanghai-san-francisco-100-minutes-chinese-supersonic-submarine>.
23. Mandel'shtam L.I. Lektsii po optike, teorii otositel'nosti i kvantovoy mekhanike [Lectures on optics, theory of relativity and quantum mechanics]. Moscow: Nauka, 1972, 440 p.
24. Wolfram S. Put' k fundamental'noy teorii fiziki [The Path to the Fundamental Theory of Physics]. Available at: <https://writings.stephenwolfram.com/2020/04/finally-we-may-have-a-path-to-the-fundamental-theory-of-physics-and-its-beautiful/> (accessed 18 August 2020).

Статью рекомендовал к опубликованию к.т.н. С.А. Матвеев.

Курносков Андрей Алексеевич – АО «СПМБМ «Малахит», АО ОСК; e-mail: ajkur@mail.ru; 196135, Санкт-Петербург, ул. Фрунзе, 18; тел.: +78122421538; к.т.н.; зам. главного конструктора специализации.

Kurnosov Andrey Alexeevich – SPMDB "Malachite", USBC JSC; e-mail: ajkur@mail.ru; 18 Frunze str., Saint-Petersburg, 196135, Russia; phone: +78122421538; cand. of eng. sc.; deputy chief designer.

УДК 004.9:004.8

DOI 10.18522/2311-3103-2020-5-100-110

Д.М. Елькин, В.В. Вяткин

ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ НА ОСНОВЕ СТАНДАРТА МЭК 61499*

Количество транспортных средств на дорогах общего пользования постоянно увеличивается, а развитие дорожной инфраструктуры происходит низкими темпами, а не качественное управление транспортом влечет за собой повышение стоимости перевозок, увеличение аварийности, уровня шума, а также загрязнение окружающей среды. Вследствие этого, возникает необходимость применения передовых алгоритмов и подходов к управлению транспортом, чтобы максимально использовать существующую дорожную сеть и увеличить пропускную способность дорог. В ходе последних исследований выявлено, что на участках дорожной сети с высокой интенсивностью и изменчивостью трафика, наиболее эффективны адаптивные подходы к управлению дорожным движением. Суть применяемых на сегодняшний день подходов к адаптивному управлению заключается в том что, они основаны на анализе транспортной загруженности и изменяют фазы работы светофора в зависимости от полученных данных в режиме реального времени. Адаптивное управление транспортными потоками показывает намного более лучшие результаты по сравнению с жестким управлением, существенно уменьшает транспортные задержки, время в пути и выбросы вредных веществ в атмосферу, поэтому современные исследователи разрабатывают новые и усовершенствуют существующие подходы и алгоритмы адаптивного управления транспортом. Например, активно развиваются подходы к управлению трафиком, основанные на концепции IoT и использовании облачных вычислений. Так же разрабатываются концепции применения агентного подхода к адаптивному управлению. В работе предлагается способ управления транспортными потоками и автоматизации дорожной инфраструктуры с использованием агентного подхода. Предлагаемый подход включает распределенное управление различными элементами дорожной сети и их прямую взаимосвязь друг с другом. Для реализации этой концепции был использован открытый стандарт распределенных систем управления и автоматизации МЭК 61499, а для проверки возможности реализации использованы несколько моделей транспортных пересечений, одно из которых создано на основе реальных данных и SUMO - пакет микроскопического и непрерывного моделирования дорожного движения.

IoT; управление дорожным движением; интеллектуальные транспортные системы; ИТС; транспортные потоки; транспортные заторы.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-37-90102.