

Эксперимент по измерению наблюдаемого темпа хода движущихся часов

Коллектив авторов:

1. Абдульманов¹ Тимур Маратович,
2. Антохин¹ Евгений Александрович, к.т.н.,
3. Барашков¹ Иван Александрович,
4. Белик⁴ Сергей Анатольевич,
5. Борсоев⁷ Владимир Александрович, д.т.н.,
6. Будников¹ Даниил Сергеевич,
7. Верховец³ Михаил Наильевич, аспирант,
8. Винников³ Артем Юрьевич, аспирант,
9. Власов¹ Илья Михайлович,
10. Власов Роман Юрьевич, к.т.н.,
11. Волокитин³ Илья Александрович, аспирант,
12. Ву Хан¹ Ян Ламович, аспирант,
13. Галкин¹ Евгений Юрьевич,
14. Гимишян³ Микаел Карапетович,
15. Голивцова⁸ Надежда Сергеевна,
16. Горлова⁵ Анна Андреевна, аспирант,
17. Грачев³ Константин Олегович, аспирант,
18. Григорьев³ Сергей Васильевич, к.т.н.
19. Григорьева³ Елена Ивановна,
20. Давиденко⁸ Владислав Юрьевич, аспирант,
21. Дворников¹ Сергей Васильевич,
22. Джанабаев⁹ Александр Мэлсович,
23. Дмитренко Сергей Владимирович, к.в.н.,
24. Замула³ Александр Владимирович,
25. Затонский³ Виктор Максимович, к.т.н.,
26. Зашихин¹ Сергей Борисович,
27. Земсков³ Юрий Владимирович, к.т.н.,
28. Зинченко⁴ Виктор Григорьевич,
29. Зыков¹ Александр Викторович,
30. Иванов³ Александр Александрович, аспирант,
31. Ивановский¹¹ Николай Николаевич,
32. Истомина Андрей Сергеевич, к.т.н.,
33. Каверзнев³ Евгений Геннадьевич, аспирант,
34. Калюжный³ Юрий Васильевич,
35. Качан³ Дмитрий Владимирович,
36. Киселев^{1,4} Олег Александрович,
37. Клещев¹⁴ Константин Александрович, к.т.н.,
38. Ключников⁷ Юрий Иванович,
39. Ключин^{3,4} Ярослав Григорьевич, к.ф.-м.н.,
40. Княжский¹ Александр Юрьевич, к.т.н.,
41. Кравцов³ Валерий Федорович, к.т.н.,
42. Кобахидзе¹ Николай Андреевич,
43. Ковалев¹³ Алексей Георгиевич,
44. Колесникова¹² Юлия Фаридовна, к.э.н.
45. Колтаков⁸ Василий Николаевич,
46. Коньк Денис Александрович, аспирант
47. Копосов³ Артем Вадимович, аспирант
48. Кочетов⁴ Александр Евгеньевич,
49. Криворучко¹ Юрий Тимофеевич, д.т.н.,
50. Кривогузов³ Иван Александрович,
51. Крыжановский³ Георгий Алексеевич, д.т.н., профессор, Заслуженный деятель науки и техники РФ, действительный член (академик) шести академий,
52. Кубякин¹ Антон Михайлович,
53. Лебедева³ Наталья Александровна, к.и.н.,
54. Лемешко² Роман Андреевич, аспирант,
55. Ловлин¹ Юрий Витальевич,
56. Луговой⁸ Вениамин Геннадьевич,
57. Макаров⁸ Валерий Алексеевич,
58. Малышев³ Павел Максимович, аспирант
59. Медведев¹ Александр Дмитриевич,
60. Медведская Беата Леонидовна³, аспирант
61. Моисеев^{10,4} Борис Михайлович, к.т.н.,
62. Мурсалов¹ Дмитрий Леонидович, аспирант
63. Нестерович¹ Андрей Владимирович, аспирант,
64. Николаев³ Александр Кириллович,
65. Олексин³ Сергей Львович, к.т.н.,
66. Орищук¹ Алексей Александрович,
67. Павлова¹ Вера Владимировна,
68. Петухов^{1,4} Сергей Геннадьевич, д.т.н.
69. Плавский⁴ Сергей Иванович,
70. Плясовских¹ Александр Петрович*, д.т.н.,
71. Плясовских Галина Алексеевна,
72. Потоцкий¹ Игорь Дмитриевич, аспирант,
73. Прокопов¹ Дмитрий Викторович,
74. Прокопович³ Артемий Юрьевич, аспирант,
75. Сазанов³ Василий Евгеньевич, к.т.н.
76. Самойлов³ Владимир Александрович, к.п.н.,
77. Свириденко¹ Дмитрий Иванович,
78. Сегедин³ Руслан Адольфович, к.т.н.,
79. Сухотерин¹ Вячеслав Дмитриевич, к.т.н.,
80. Тарасенко¹ Александр Владимирович,
81. Таюрский³ Евгений Сергеевич,
82. Топилин¹, Алексей Александрович, к.т.н.,
83. Топилин¹ Владимир Юрьевич,
84. Устименко⁸ Иван Михайлович,
85. Федоров³ Андрей Валерьевич, к.п.н.
86. Фридман¹ Леонид Борисович, д.т.н.
87. Хижниченко¹ Александр Евгеньевич,
88. Целинко¹ Олег Владимирович,
89. Чепель¹ Евгений Викторович, к.т.н.,
90. Чижевский¹ Вячеслав Владимирович,

91. Шапошников⁶ Александр Викторович,
92. Шайдуров³ Иван Георгиевич, к.т.н.,
93. Шатраков¹ Юрий Григорьевич, д.т.н., профессор,
Заслуженный деятель науки РФ, Лауреат
Государственных премий СССР и премий
Правительства Санкт-Петербурга,
94. Шейко³ Эдуард Викторович,

95. Шляхов³ Никита Алексеевич, аспирант,
96. Щербаков¹ Егор Сергеевич, аспирант,
97. Юрьев¹ Роман Николаевич,
98. Яковлев¹ Александр Михайлович,
99. Яковлев Андрей Вячеславович, к.т.н.,
100. Яковлев¹ Виктор Тимофеевич, д.т.н.

Место работы авторов:

¹ Акционерное общество «Всероссийский научно-исследовательский институт радиоаппаратуры» (АО «ВНИИРА»)

² ООО «Компания КОМПЛИТ»

³ ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А.А. Новикова

⁴ в настоящее время пенсионер

⁵ ФГБОУ ВО Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева

⁶ Санкт-петербургский политехнический университет Петра Великого

⁷ НОУ ДПО Институт аэронавигации, Россия

⁸ ФГУП «Госкопорация по ОрВД»

⁹ Государственное унитарное предприятие Центр «Узэроавиация», Узбекистан

¹⁰ Костромской государственной университет

¹¹ ООО «Авиапредприятие «Северсталь»

¹² Липецкий государственный педагогический университет им. С.-Тянь-Шанского

¹³ ООО «СТЦ»

¹⁴ Межгосударственный авиационный комитет (МАК)

* автор, ведущий переписку с редакционной коллегией

Аннотация. В работе приведены результаты практического эксперимента по измерению наблюдаемого темпа хода движущихся часов. В соответствии с результатами эксперимента двигающиеся к наблюдателю часы по наблюдениям идут быстрее неподвижных, а двигающиеся от наблюдателя часы по наблюдениям идут медленнее неподвижных. Этот результат противоречит специальной теории относительности (СТО), что требует своего объяснения. Эксперимент проводился с использованием моноимпульсного вторичного обзорного радиолокатора «Аврора-2» производства АО «ВНИИРА».

Ключевые слова: инерциальная система отсчета, наблюдатель, относительное движение, доплеровский эффект, измерение интервалов времени, темп хода часов, движущиеся часы, специальная теория относительности, СТО, эксперимент.

Графическая аннотация

Экспериментально доказано: двигающиеся к наблюдателю часы по наблюдениям идут *быстрее* неподвижных, двигающиеся от наблюдателя часы по наблюдениям идут *медленнее* неподвижных.



Результаты эксперимента противоречат СТО

1. ВВЕДЕНИЕ

Объектом экспериментального исследования, представленного в настоящей работе, являются, с одной стороны, процессы движения материальных тел и расположенных на них часов относительно наблюдателя, а с другой стороны, технические характеристики систем навигации и наблюдения, используемых в авиации и космонавтике.

Предметом исследования является эффект изменения наблюдаемого темпа хода часов, возникающий при их движении относительно наблюдателя. Суть этого эффекта заключается в том, что при наблюдении за движущимися часами оказывается, что интервал времени, отсчитанный по

наблюдаемым показаниям движущихся часов, не равен соответствующему интервалу времени таких же неподвижных часов, расположенных в непосредственной близости от наблюдателя.

Актуальность экспериментального исследования обусловлена тем, что в настоящее время результаты СТО широко используются в технических науках, в том числе в спутниковой навигации [1-7]. При этом ошибки в технических науках, связанные с неправильной трактовкой СТО или с ее некорректным применением в лучшем случае могут привести к ошибочным результатам при проведении НИР и НИОКР. В худшем случае эти ошибки могут привести к сбоям в работе

технических средств навигации и наблюдения, используемых в авиации и космонавтике, к ухудшению их технических характеристик, и, в конечном итоге, привести к снижению безопасности авиационных и космических полетов [8].

Напротив, правильная трактовка изучаемых в СТО эффектов позволит на практике разрабатывать более совершенные, более точные и надежные средства авиационного и космического наблюдения, авиационной и космической навигации. В конечном итоге, правильный учет результатов и формул СТО позволит обеспечить Российской Федерации технологическое преимущество, а также обеспечить повышение безопасности авиационных и космических полетов.

Рассмотрим следующий вопрос. Пусть по направлению к наблюдателю или от него движутся часы (которые расположены, например, на воздушном судне), и наблюдатель следит за их показаниями с использованием радиолокатора, либо с помощью системы радиовещательного автоматического зависимого наблюдения АЗН-В, либо с использованием оптических средств наблюдения (бинокля, например), либо показания часов транслируются ему с помощью видеокамеры по кадровой съемке и канала передачи данных, по которому передаются кадры. В последнем случае наблюдатель может видеть видеоизображение часов на экране монитора, которое передается ему онлайн от видеокамеры, снимающей часы и двигающейся вместе с часами.

Возникает вопрос: наблюдаемые показания движущихся часов отсчитывают ход времени с такой же скоростью (темпом), как неподвижные часы наблюдателя? Или же движущиеся часы по наблюдениям идут быстрее неподвижных? А может быть они идут медленнее неподвижных?

Сколько времени проходит по показаниям движущихся часов, когда по неподвижным часам проходит ровно одна секунда?

По сути, ответам на эти взаимосвязанные вопросы посвящается эта работа. Авторами экспериментально доказано, что стрелки движущихся к наблюдателю часов при их наблюдении движутся быстрее, чем стрелки неподвижных часов наблюдателя. Пока по неподвижным часам проходит одна секунда, по наблюдаемым показаниям движущихся к наблюдателю часов проходит

$$\frac{1}{1-\frac{v}{c}} \text{ секунд (больше секунды),}$$

где v – скорость движения часов к наблюдателю; c – скорость света.

При движении часов от наблюдателя за одну секунду неподвижных часов показания движущихся часов изменяются, соответственно, на

$$\frac{1}{1+\frac{v}{c}} \text{ секунд (меньше секунды).}$$

Этому опытному факту противоречит СТО, которая утверждает: движущиеся часы (при их наблюдении неподвижным наблюдателем) независимо от направления движения идут медленнее неподвижных.

В соответствии со СТО за одну секунду неподвижных часов наблюдателя наблюдаемые показания движущихся часов (независимо от направления движения) изменятся на

$$\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} \text{ секунд (меньше секунды).}$$

Результаты эксперимента противоречат СТО, что требует своего объяснения.

Указанное противоречие между результатами эксперимента и СТО может быть обусловлено ошибочным пониманием СТО учеными, представляющими технические науки и разрабатывающими космическую технику, в частности спутниковые навигационные системы GPS, ГЛОНАСС и другие [1-7]. Но в таком случае теоретическая физика должна дать исчерпывающие объяснения изложенным в работе противоречиям и расхождениям между приведенными результатами эксперимента и теоретическим положениям СТО, которые сведены в таблице 5 работы.

Актуальность разрешения данного противоречия, связана, как было отмечено, с вопросом использования либо ошибочных, либо правильных выводов и формул теоретической физики при разработке систем навигации и наблюдения в авиационной и космической отраслях.

Термины, используемые в работе

В работе будут использоваться следующие термины.

Время. Показания часов.

Ход времени (синоним – ход часов). Ход показаний часов.

Наблюдаемый ход времени часов (синонимы – наблюдаемый ход времени, наблюдаемый ход часов). Наблюдаемый ход часов по их показаниям.

Во всех случаях, когда мы говорим о времени, мы имеем в виду, что имеется некоторый прибор для измерения времени, то есть часы, которые показывают текущее время. Неподвижный наблюдатель, расположенный в непосредственной близости от часов, всегда наблюдает *истинный ход* времени этих часов. Если часы движутся относительно наблюдателя, наблюдатель при

наблюдении этих часов имеет дело с *наблюдаемым ходом* времени движущихся часов, с наблюдаемыми показаниями движущихся часов.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Эффект Доплера

Эффект Доплера – это физическое явление, в соответствии с которым происходит изменение частоты колебаний, воспринимаемых наблюдателем, при движении источника колебаний и наблюдателя относительно друг друга [9, 10].

Пусть передатчик, движущийся по направлению к неподвижному приемнику, передает в эфир электромагнитные волны, например, с частотой $\nu_0 = 100$ Гц. В этом случае за 1/100 секунды в эфир передается ровно одна волна, за 1 секунду передается 100 волн.

В соответствии с эффектом Доплера приемник зафиксирует электромагнитные волны с другой частотой. В случае движения передатчика к приемнику частота принимаемых электромагнитных волн окажется равной (Рис. 1)

$$\nu = \frac{\nu_0}{1 - \frac{v}{c}},$$

где v – скорость движения передатчика к приемнику; c – скорость света.

При ненулевой скорости движения $v_{\text{ист}}$ согласно эффекту Доплера, будет наблюдаться увеличение частоты приема электромагнитных волн, то есть принимаемая частота окажется больше, чем 100 Гц. А это значит, что за 1 секунду будет принято больше, чем 100 волн. Другими словами, при движении передатчика к приемнику $\nu > \nu_0$.

В случае движения передатчика от неподвижного приемника будет иметь место соотношение

$$\nu = \frac{\nu_0}{1 + \frac{v}{c}}.$$

В соответствии с этим выражением принимаемая частота электромагнитных волн будет меньше частоты передаваемых волн, $\nu < \nu_0$.

В общем виде формулу эффекта Доплера (при движении передатчика вдоль линии, соединяющей передатчик и приемник), можно записать так:

$$\nu = \frac{\nu_0}{1 \pm \frac{v}{c}}, \quad (1)$$

где знак плюс в знаменателе – при удалении передатчика от приемника, знак минус – при его приближении к приемнику.

Откуда берутся «лишние» волны? Как может получиться, что за секунду (часов передатчика) передается 100 волн, а за секунду (часов приемника), при скорости движения, равной половине скорости света, принимается 200 волн?

Это легко понять на примере морских волн. Представим себе, что мы находимся на берегу моря, на который накатываются волны с частотой 10 волн за минуту. Но теперь представим себе, что мы сели на водный мотоцикл и помчались навстречу волнам. Очевидно, что теперь гребни волн будут достигаться нами чаще, чем 10 раз за минуту. Волны («лишние») уже были, только в результате нашего движения мы стали достигать каждую следующую волну быстрее, по сравнению с тем, если мы неподвижно стоим на берегу.

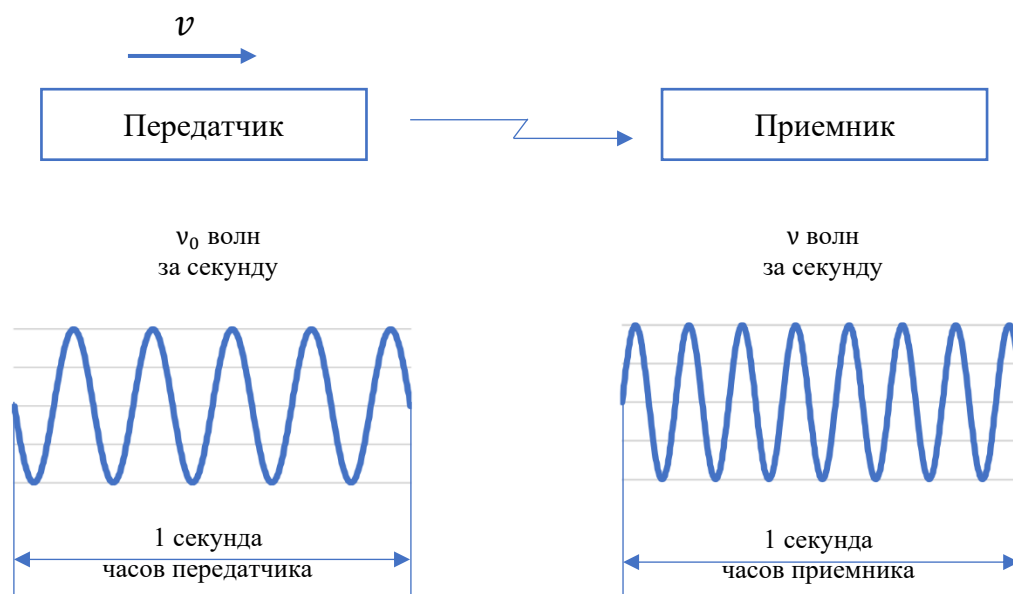


Рис. 1. Эффект Доплера. Движение передатчика к приемнику

Если представить себе на глади тихого озера механический генератор волн, который с некоторой скоростью перемещается от одного берега к другому, то мы увидим, что впереди этого генератора волны расположены чаще, гребни волн находятся ближе друг к другу, чем позади генератора. Волны впереди движущегося генератора будут достигать берега по ходу движения чаще, чем волны позади генератора. «Лишние» волны, достигшие переднего (по ходу движения генератора) берега, уже были сгенерированы. Просто из-за движения генератора они находятся ближе друг к другу (по сравнению с тем, если бы генератор оставался неподвижным), и соответственно чаще достигают переднего берега.

Примерно аналогичная картина наблюдается при движении передатчика электромагнитных волн относительно приемника: «лишние» волны уже были сгенерированы, но они стали достигать приемника из-за движения передатчика чаще по сравнению с тем, если бы передатчик был неподвижным.

Вывод формул для интервалов времени, отсчитываемых по движущимся часам

Представленные ниже соотношения для интервалов времени, отсчитываемых по движущимся часам, получены в работах одного из авторов [11-15].

Предположим, что наблюдаемым объектом является движущееся к наблюдателю воздушное судно (или движущийся к Земле космический корабль), за которым обеспечивается наблюдение сразу четырьмя способами.

1 способ – передача с воздушного судна (корабля) электромагнитной волны частотой 100 Гц. Начало каждой сотой волны соответствует началу очередной секунды по часам самолета. Будем считать, что каждая сотая волна (одна из ста), начинающаяся вместе с началом каждой новой секунды, имеет увеличенную амплитуду – для того, чтобы в приемнике фиксировать моменты хода секунд часов передатчика.

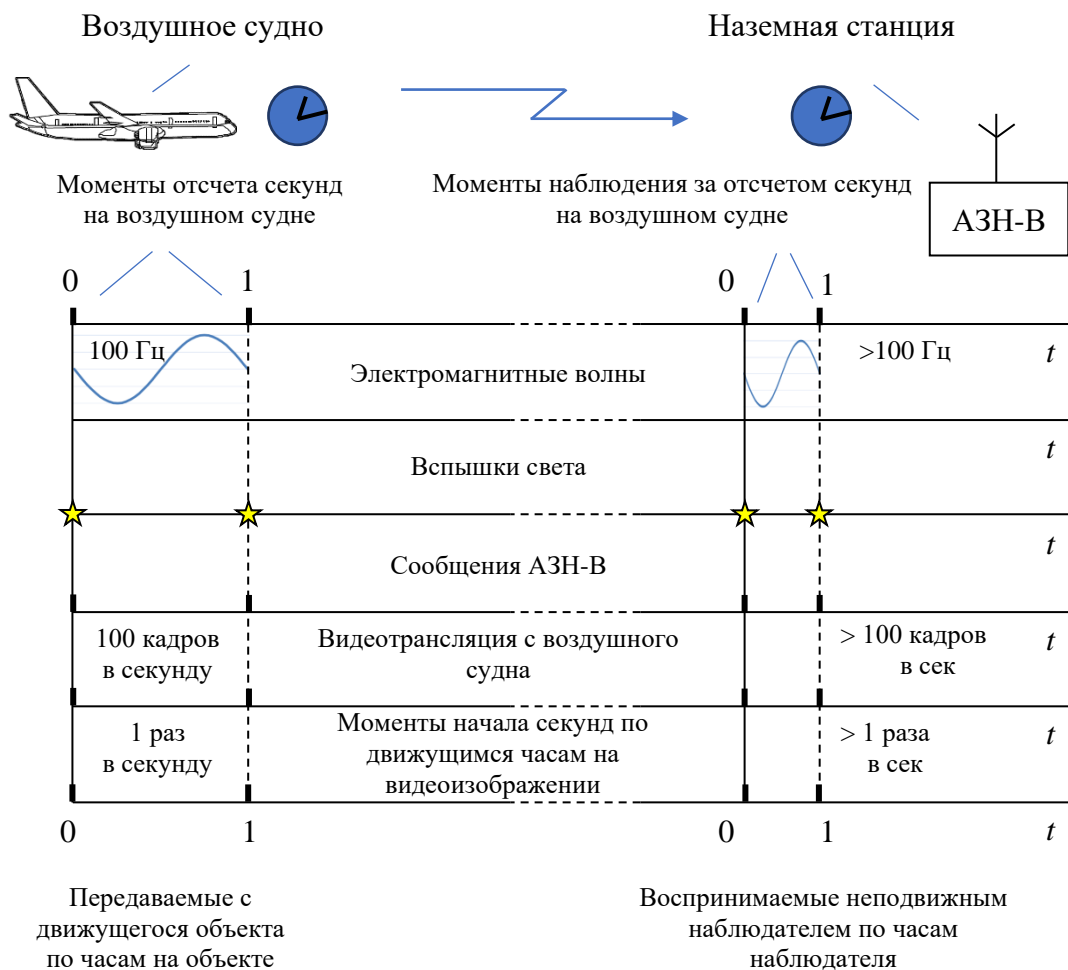


Рис. 2. Наблюдение за приближающимся воздушным судном

2 способ – наблюдение за вспыхивающей на самолете (корабле) лампочкой. Лампочка вспыхивает с частотой один раз в секунду, вспышки происходят в моменты начала секунд по часам самолета.

3 способ – передача с воздушного судна (корабля) сообщений радиовещательного автоматического зависимого наблюдения (АЗН-В, ADS-B). Каждое сообщение АЗН-В содержит данные о местоположении воздушного судна (корабля), скорости, опознавательном индексе и другой информации, полученной от бортовых систем. Пусть все сообщения передаются с объекта в моменты начала секунд по часам самолета (раз в секунду) и содержат в себе информацию о времени передачи сообщения в эфир. Будем считать, что из принятого наблюдателем сообщения извлекается время передачи информации в эфир, которое сразу же отображается на электронном табло времени АЗН-В.

4 способ – видеонаблюдение за кабиной экипажа и за расположенными в кабине часами. Трансляция видеоизображения часов и кабины экипажа ведется онлайн с использованием видеокамеры покадровой съемки и радиоканала передачи данных. Переданные кадры принимаются приемником и сразу же отображаются на видеозэкране. На видеоизображении отображаются часы самолета, за показаниями которых следит наблюдатель. Пусть трансляция видеоизображения происходит с частотой $\nu_{ист} = 100$ кадров в секунду. Другими словами, в эфир каждую секунду передается ровно 100 кадров, сменяющих друг друга через каждую $1/100$ долю секунды (по часам воздушного судна). Пусть кадры транслируемого видеоизображения передаются одновременно и синхронно с отдельными электромагнитными волнами: одновременно с одной волной передается один кадр.

Таким образом, за ходом времени наблюдатель будет следить с помощью принятых электромагнитных волн (наблюдая волны увеличенной амплитуды, соответствующие началу очередной секунды на часах воздушного судна); наблюдая за вспышками света, которые, по сути, отражают ход секундной стрелки на часах воздушного судна; с помощью электронного табло времени АЗН-В; а также с использованием часов воздушного судна, видеоизображение которых покадрово транслируется онлайн и отображается на экране (рис. 2).

Наблюдение хода времени движущихся к наблюдателю часов

Очевидно, что неподвижный наблюдатель с использованием приемника зафиксирует

увеличение частоты электромагнитных волн в соответствии с эффектом Доплера. При этом воспринимаемая приемником частота $\nu_{набл}$ будет равна:

$$\nu_{набл} = \frac{\nu_{ист}}{1 - \frac{v}{c}},$$

где $\nu_{ист}$ – истинная (собственная) частота источника излучения; v – скорость движения передатчика к приемнику.

Заметим, что передаваемые волны излучались в эфир с привязкой ко времени: начало каждой сотой передаваемой волны с увеличенной амплитудой совпадало с началом каждой новой секунды. В соответствии с этим наблюдатель будет видеть не только увеличение частоты принимаемых волн, но также и синхронное с каждой принимаемой сотой волной увеличение наблюдаемой частоты вспышек света. Другими словами, вспышки света будут видны одновременно с началом очередной сотой принимаемой волной увеличенной амплитуды. Вспышки света, по наблюдениям, будут вспыхивать чаще, чем раз в секунду.

Поскольку вспышки света происходят в моменты начала очередной секунды, то для наблюдателя вспышки света являются визуальными сообщениями о смене секунд часов на удаленном объекте.

Очевидно, наблюдаемая частота вспышек будет равна:

$$f_{набл} = \frac{f_{ист}}{1 - \frac{v}{c}} = \frac{1}{1 - \frac{v}{c}}, \quad (2)$$

где $f_{ист}$ – истинная (собственная) частота вспышек на воздушном судне, равная одной вспышке в секунду (1 Гц).

Очевидно также, что синхронно с принимаемыми волнами увеличенной амплитуды и наблюдаемыми вспышками света наблюдатель будет принимать сообщения АЗН-В, в соответствии с которыми показания секунд на электронном табло времени АЗН-В будут меняться одновременно с началом каждой сотой принимаемой волны увеличенной амплитуды и одновременно с наблюдениями вспышек света.

Другими словами, показания секунд на табло времени АЗН-В будут меняться в точном соответствии с формулой (2), а это значит, что при движении воздушного судна к наблюдателю секундная стрелка на табло времени АЗН-В будет двигаться быстрее секундной стрелки неподвижных часов, расположенных рядом с наблюдателем. За $\Delta t_{ист}$ секунд по часам наблюдателя на электронном табло времени АЗН-В пройдет

$$\Delta t_{набл} = \frac{\Delta t_{ист}}{1 - \frac{v}{c}} \text{ секунд.}$$

Ход времени на табло АЗН-В ускорится в $\mu = \frac{1}{1-\frac{v}{c}}$ раз по сравнению с ходом времени неподвижных часов наблюдателя.

Поскольку кадры видеоизображения передавались с частотой 100 кадров в секунду или один кадр приходился на одну волну, то устройство, принимающее транслируемое видеоизображение будет принимать один кадр в то время, как приемник будет принимать одну волну. Но раз частота принимаемых волн увеличится по сравнению с частотой передачи, то частота приема кадров видеоизображения также увеличится пропорционально. За секунду устройство приема примет $100\mu = 100 \frac{1}{1-\frac{v}{c}}$ кадров, то есть больше, чем 100 кадров в секунду. Например, при скорости движения космического корабля к Земле равной 0,75 скорости света устройство приема за секунду примет 400 кадров. А это значит, что на видеоизображении часов, передаваемом с воздушного судна (или космического корабля), наблюдатель увидит, что секундная стрелка этих часов движется синхронно с наблюдаемыми вспышками света, и с секундной стрелкой на электронном табло времени АЗН-В. За 1 секунду по неподвижным часам наблюдателя при скорости космического корабля 0,75 скорости света на электронном табло времени АЗН-В пройдет четыре секунды! При этой скорости движения наблюдаемые показания часов на электронном табло времени АЗН-В будут идти в 4 раза быстрее часов на Земле.

Предположим, что с использованием видеотрансляции мы наблюдаем за космонавтами на космическом корабле, который быстро, на скорости, сравнимой со скоростью света, приближается к Земле. 100 кадров, которые были записаны и переданы по радиоканалу за одну секунду, будут приняты и воспроизведены за время меньше секунды. Следовательно, наблюдая за видеотрансляцией космонавтов на видеоэкране, мы увидим, что движения и речь космонавтов являются ускоренными в $\mu = \frac{1}{1-\frac{v}{c}}$ раз. При скорости приближения космического корабля к Земле 0,75 c движения и речь космонавтов на видеотрансляции будут наблюдаться ускоренными в 4 раза!

Таким образом, ускорение наблюдаемого хода времени движущихся к наблюдателю часов есть неизбежное следствие эффекта Доплера, в соответствии с которым воспринимаемая

приемником частота колебаний увеличивается – а это значит, что и воспринимаемый (наблюдаемый) ход времени приближающихся к наблюдателю часов, по которым измеряется частота, увеличивается с тем же самым коэффициентом пропорциональности.

На *Рис. 3* изображены совмещенные шкалы времени: снизу – неподвижных часов наблюдателя, сверху – наблюдаемых показаний движущихся к наблюдателю часов. В нулевой момент времени по часам наблюдателя $t_{\text{ист}} = 0$ движущиеся часы находятся на расстоянии r_0 , поэтому сдвиг шкал в этот момент времени составляет величину

$$\tau_0 = \frac{r_0}{c}.$$

Другими словами, наблюдаемые показания движущихся часов в нулевой момент времени будут отставать от показаний неподвижных часов на τ_0 секунд.

Через одну секунду, при $t_{\text{ист}} = 1$, расстояние до часов окажется равным $r_1 = r_0 - v$, где v – это расстояние, пройденное часами за секунду (скорость), и в момент времени по часам наблюдателя, равный одной секунде, сдвиг шкал оказывается равным

$$\tau_1 = \frac{r_1}{c}.$$

Так как при движении часов к наблюдателю $r_1 < r_0$, то и сдвиг шкал со временем уменьшается, $\tau_1 < \tau_0$.

Очевидно поэтому, интервал времени, отсчитанный по показаниям движущихся к наблюдателю часов $\Delta t_{\text{набл}}$ больше соответствующего интервала времени, отсчитанного по неподвижным часам наблюдателя $\Delta t_{\text{ист}}$. Пока по неподвижным часам проходит 2 секунды, наблюдаемые показания движущихся часов изменятся больше чем на 2 секунды (*Рис. 3*).

На *Рис. 4* изображены совмещенные шкалы времени неподвижных и движущихся от наблюдателя часов, при $t_{\text{ист}} = 0$, $t_{\text{набл}}$ также равно 0 (в нулевой момент времени движущиеся часы находились в непосредственной близости от наблюдателя, при этом сдвига шкал нет). С течением времени расстояние до наблюдаемых часов увеличивается, поэтому $\tau_3 > \tau_2 > \tau_1$. Поэтому при удалении часов от наблюдателя наблюдаемый интервал времени $\Delta t_{\text{набл}}$ всегда меньше истинного интервала времени $\Delta t_{\text{ист}}$, что наглядно видно из рисунка.

Воспринимаемые наблюдателем движущиеся часы



Рис. 3. Движение часов к наблюдателю. Движущиеся часы по наблюдениям идут быстрее неподвижных

Воспринимаемые наблюдателем движущиеся часы

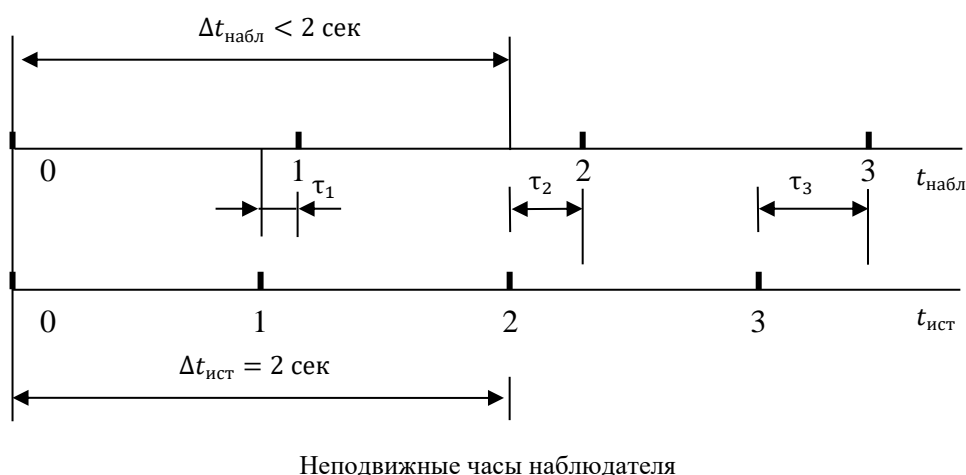


Рис. 4. Движение часов от наблюдателя. Движущиеся часы по наблюдениям идут медленнее неподвижных

Пока по неподвижным часам проходит 2 секунды, по наблюдаемым движущимся часам проходит меньше 2 секунд (рис. 4).

Вывод формулы для измерения наблюдаемого хода времени движущихся к наблюдателю часов

Рассмотрим движение воздушного судна, на котором имеются часы, к наблюдателю. Будем считать, что часы воздушного судна и часы наблюдателя синхронизированы, то есть показания часов воздушного судна, наблюдаемые, например, с использованием технологии АЗН-В, в непосредственной близости от часов наблюдателя, отстают от показаний часов наблюдателя на величину

$$\Delta t = \frac{r}{c},$$

где r – расстояние между этими часами в момент синхронизации.

Пусть показания часов воздушного судна раз в секунду в моменты начала очередной секунды передаются наблюдателю с использованием АЗН-В сообщений, и наблюдатель видит показания этих часов на электронном табло АЗН-В.

Рассмотрим два сообщения АЗН-В, которые переданы с воздушного судна в моменты времени t_1 и t_2 , интервал времени между этими сообщениями равен $\Delta t = t_2 - t_1$. В момент передачи первого сообщения расстояние до воздушного судна составляло величину r_1 , поэтому по часам наблюдателя первое сообщение наблюдалось им в

момент времени $t'_1 = t_1 + \frac{r_1}{c}$. За промежуток времени между сообщениями Δt воздушное судно со скоростью v пройдет расстояние $\Delta r = v\Delta t$, и в момент передачи второго сообщения оно окажется на расстоянии $r_2 = r_1 - \Delta r = r_1 - v\Delta t$. Поэтому второе сообщение будет наблюдаться наблюдателем в момент времени

$$t'_2 = t_2 + \frac{r_2}{c} = t_2 + \frac{r_1 - v\Delta t}{c}.$$

Найдем интервал времени между наблюдениями сообщений

$$\Delta t' = t'_2 - t'_1 = t_2 + \frac{r_1 - v\Delta t}{c} - t_1 - \frac{r_1}{c} = t_2 - t_1 - \frac{v\Delta t}{c} = \Delta t \left(1 - \frac{v}{c}\right).$$

Перепишем это соотношение в виде:

$$\Delta t_{\text{ист}} = \Delta t_{\text{набл}} \left(1 - \frac{v}{c}\right)$$

или

$$\Delta t_{\text{набл}} = \frac{\Delta t_{\text{ист}}}{1 - \frac{v}{c}}.$$

В этом выражении $\Delta t_{\text{ист}} = t'_2 - t'_1$ – интервал времени, прошедший между моментами наблюдения сообщений АЗН-В по часам наблюдателя; $\Delta t_{\text{набл}}$ – интервал времени между сообщениями, который наблюдался на электронном табло АЗН-В. Другими словами, пока по часам наблюдателя проходит интервал времени $\Delta t_{\text{ист}}$, на электронном табло АЗН-В проходит интервал времени $\Delta t_{\text{набл}}$. Часы на электронном табло АЗН-В идут быстрее, чем часы наблюдателя. За одну секунду по неподвижным часам наблюдателя на электронном табло АЗН-В проходит $\frac{1}{1 - \frac{v}{c}}$ секунд (больше секунды). Так, например, в случае приближения космического корабля к Земле со скоростью 0,99 скорости света, наблюдаемые на Земле показания часов корабля будут идти в 100 раз быстрее! То есть за одну секунду по Земным часам по наблюдаемым показаниям часов корабля пройдет 1 минута и 40 секунд!

Аналогичные выкладки, сделанные для случая движения наблюдаемых часов от наблюдателя, приводят к выводу формулы

$$\Delta t_{\text{набл}} = \frac{\Delta t_{\text{ист}}}{1 + \frac{v}{c}}.$$

За одну секунду по неподвижным часам наблюдателя наблюдаемые показания движущихся от наблюдателя часов изменятся на

$$\frac{1}{1 + \frac{v}{c}} \text{ секунд (меньше секунды).}$$

При скорости движения космического корабля от Земли равной скорости света, то есть при $v = c$ за одну секунду по земным часам по наблюдаемым показаниям часов космического корабля пройдет 0,5 секунд. В этом случае часы корабля, по

наблюдениям на Земле будут идти в 2 раза медленнее земных часов.

В общем случае соотношение между наблюдаемым $\Delta t_{\text{набл}}$ и истинным $\Delta t_{\text{ист}}$ интервалами времени имеет вид [12]

$$\Delta t_{\text{набл}} = \frac{\Delta t_{\text{ист}}}{1 \pm \frac{v}{c}},$$

где знак плюс в знаменателе – при удалении часов от наблюдателя, знак минус – при их приближении к наблюдателю.

Объяснение эффекта ускорения наблюдаемого хода времени движущихся к наблюдателю часов

Эффект ускорения наблюдаемого хода времени движущихся к наблюдателю часов объясняется довольно просто следующим образом.

Рассмотрим, например, сообщения АЗН-В, которые содержат информацию о времени передачи в эфир. По этой информации в наземной станции АЗН-В осуществляется наблюдение о ходе часов на наблюдаемом объекте, движущемся к наблюдателю.

Будем считать, что сообщения передаются в эфир в момент начала каждой очередной секунды по движущимся часам.

Поскольку наблюдаемый объект с часами движется по направлению к наземной станции (наблюдателю), то каждое следующее сообщение передается в эфир в момент, когда объект будет ближе к наземной станции (чем в момент передачи предыдущего сообщения). Это значит, что каждому следующему сообщению требуется меньше времени, чтобы «добраться» до наземной станции. А это в свою очередь означает, что сообщения будут приходить в наземную станцию чаще, по сравнению с тем, если бы объект был неподвижен. Частота прихода сообщений о моментах наступления по часам объекта очередной секунды, будет больше одного раза в секунду. Другими словами, секунды по сообщениям будут сменять друг друга чаще, чем секунды неподвижных часов наземной станции. Наблюдатель на земле будет наблюдать, что время по часам движущегося к нему объекта будет бежать быстрее, чем время по его собственным часам.

Очевидно также, что при удалении объекта с часами от наземной станции в силу того, что в момент передачи каждого следующего сообщения наблюдаемый объект будет находиться дальше, чем в момент передачи предыдущего сообщения, сообщения будут приходить в наземную станцию реже, чем раз в секунду. Другими словами, при удалении наблюдаемых часов наблюдатель будет отмечать, что ход наблюдаемого времени замедлился, стрелки удаляющихся часов будут

двигаться медленнее, чем стрелки его неподвижных часов.

Простая иллюстрация эффекта ускорения наблюдаемого хода времени движущихся к наблюдателю часов

Мы видели, что при приближении объекта с расположенными на нем часами к наблюдателю, имеет место эффект ускорения наблюдаемого хода времени этих часов. Почему и как это происходит? Объясним это «на пальцах».

Представим себе, что в космическом пространстве на расстоянии 4 световых часа (то есть на расстоянии, которое луч света проходит за 4 часа) расположен космический корабль, часы которого идут синхронно с земными часами. Показания часов космического корабля передаются на Землю с помощью видеосвязи онлайн, в режиме реального времени.

В 12 часов дня по земному времени на видеоизображении часов корабля, транслируемом на Земле, будет наблюдаться 8 часов. Очевидно, что разница показаний земных часов и транслируемых на Земле показаний часов корабля будет составлять 4 часа – это время требуется, чтобы донести на Землю видеосигнал с изображением корабельных часов (рис. 5).

Предположим теперь, что космический корабль начал двигаться к Земле, и через месяц (год) приблизился к Земле на расстояние 3 световых часа. При этом в 12 часов дня по земным часам на видеоизображении часов корабля будут наблюдаться показания 9 часов. Разница показаний земных и корабельных часов будет составлять 3 часа.

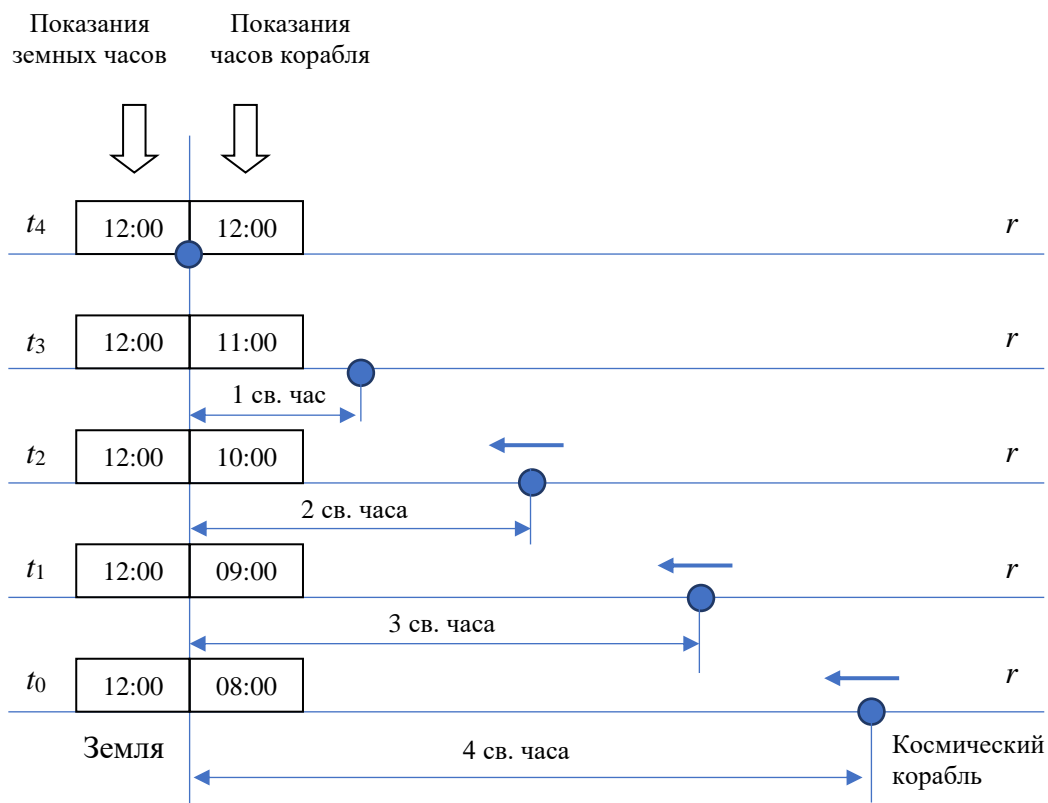


Рис. 5. По мере движения космического корабля к Земле наблюдаемые показания часов корабля отстают от показаний земных часов все меньше и меньше. Это значит, что наблюдаемый темп хода приближающихся к Земле часов выше темпа хода земных часов

Еще через месяц (год) корабль приблизился к Земле на расстояние 2 световых часа. В 12 часов дня корабельные часы покажут при этом 10 часов. Разница 2 часа.

Еще через месяц (год) корабль окажется на расстоянии 1 световой час от Земли. В 12 часов дня корабельные часы покажут 11 часов. Разница составит 1 час.

И наконец, еще через месяц (год) корабль совершит посадку на Земле. В 12 часов дня на Земле часы корабля покажут такое же время.

Заметим теперь, что по мере движения корабля к Земле разница между показаниями земных часов и транслируемыми на Землю показаниями часов корабля уменьшалась от 4 часов до нуля. Это значит, стрелки часов на транслируемом и наблюдаемом на Земле изображении часов корабля двигались быстрее, чем стрелки земных часов. Другими словами, наблюдаемый темп хода времени приближающихся к Земле часов в процессе движения был выше истинного темпа хода времени земных часов, что и требовалось доказать.

Если аналогичным образом рассмотреть движение космического корабля от Земли, то легко убедиться, что наблюдаемый темп хода времени удаляющихся часов меньше темпа хода времени земных часов.

Еще одна простая иллюстрация эффекта наблюдения ускоренного хода времени движущихся к наблюдателю часов

Пусть неподвижный наблюдатель рассматривает часы, которые расположены рядом с ним, в зеркале (рис. 6).

В тот момент, когда часы наблюдателя будут показывать время t_0 , в отражении зеркала он увидит, что зеркальное отражение его часов показывает другое время $t_{отр} = t_0 - \Delta t = t_0 - \frac{2d}{c}$, где d – расстояние от наблюдателя до зеркала. Расстояние $2d$ луч света проходит за время $\Delta t = \frac{2d}{c}$, поэтому показания часов в отражении зеркала будут отставать от показаний часов наблюдателя на величину Δt .

Пусть далее зеркало начинает двигаться к наблюдателю до тех пор, пока не приблизится к нему вплотную. По мере движения зеркала расстояние d будет уменьшаться, а это значит, что показания часов в отражении зеркала будут отставать от показаний часов наблюдателя все меньше и меньше. Раз так, то это значит, что по мере приближения зеркала к наблюдателю стрелки часов в отражении будут двигаться быстрее стрелок часов наблюдателя. Часы в отражении приближающегося зеркала с точки зрения наблюдателя будут идти быстрее его неподвижных часов до тех пор, пока зеркало не приблизится вплотную к нему. Когда зеркало окажется рядом с ним, часы в отражении покажут то же самое время, что и настоящие часы.

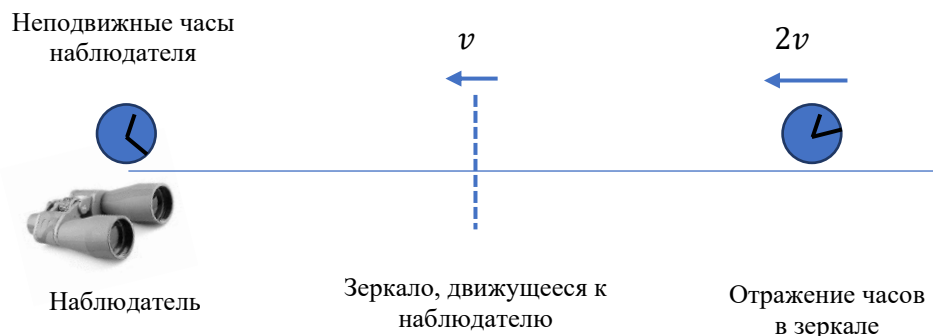


Рис. 6. Движение часов в зеркальном отражении

При приближении реальных часов к наблюдателю на качественном уровне происходит примерно то же самое, что и в рассматриваемом примере, а именно: наблюдатель видит, что приближающиеся к нему часы отстают от его собственных часов, но по мере движения это отставание уменьшается. Это значит, что по его

наблюдениям движущиеся к нему часы идут быстрее неподвижных.

Один из выводов: наблюдаемый темп хода движущихся часов прямо пропорционален воспринимаемой частоте электромагнитных волн

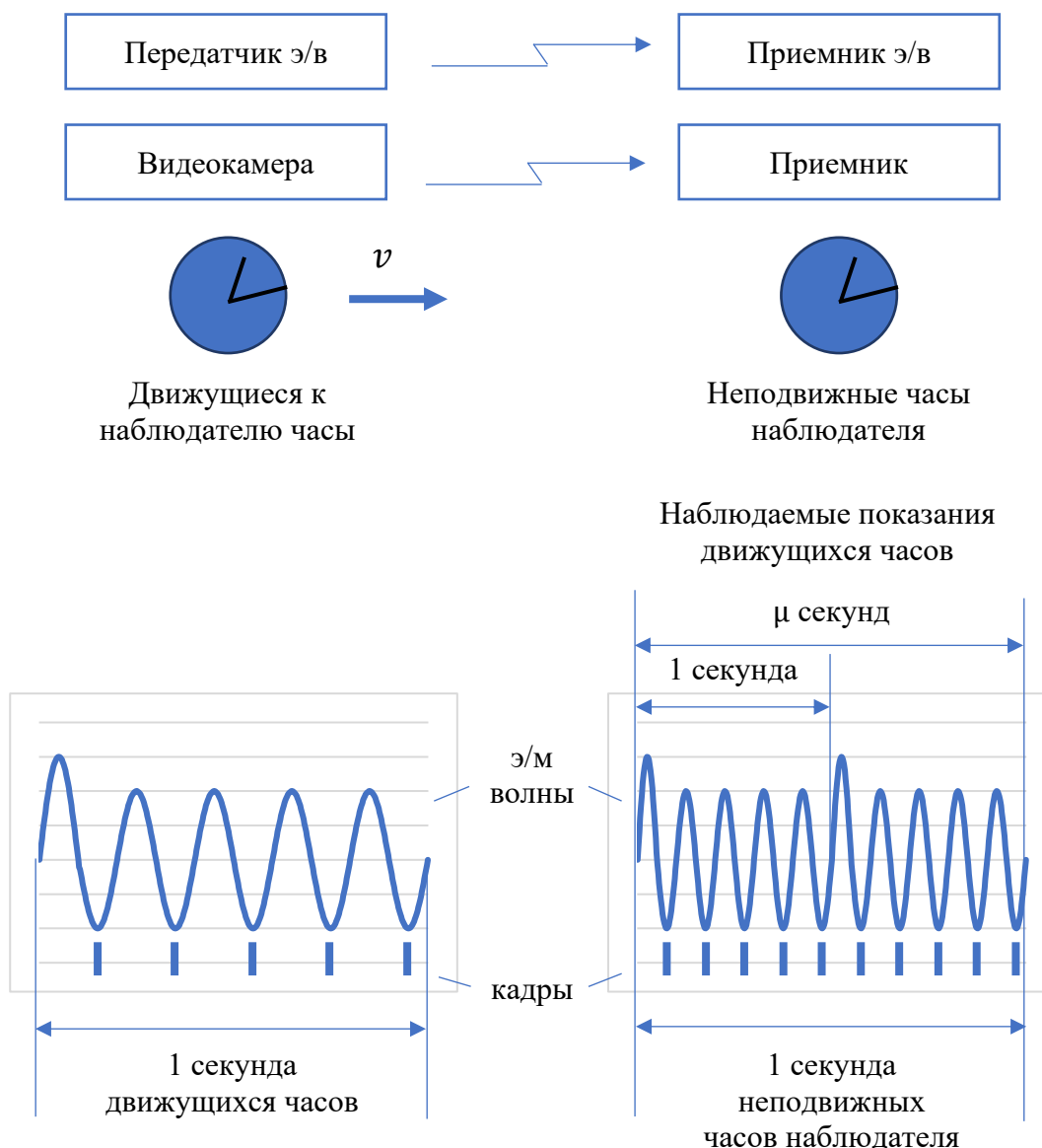


Рис. 7. Передача и прием электромагнитных волн и кадров видеозображения. Каждая первая полуволна, начинающаяся одновременно с началом очередной секунды, имеет большую амплитуду. За 1 секунду неподвижных часов по движущимся часам проходит μ секунд

Ниже в этой работе будем называть наблюдаемым темпом хода времени движущихся часов количество секунд μ , прошедших по наблюдаемым показаниям движущихся часов за то время, пока по неподвижным часам наблюдателя проходит ровно одна секунда (Рис. 7).

Другими словами, наблюдаемый темп хода времени движущихся часов μ , показывает, во сколько раз движущиеся часы по наблюдениям идут быстрее (если $\mu > 1$) или медленнее (если $\mu < 1$) неподвижных часов наблюдателя, расположенных рядом с ним. Так, например, если наблюдаемый темп хода времени движущихся часов μ равен

значению 2, то это значит, по наблюдениям движущиеся часы идут в 2 раза быстрее неподвижных. Иными словами, при $\mu = 2$, в то время как по неподвижным часам проходит ровно одна секунда, показания движущихся часов при их наблюдении изменятся ровно на $\mu = 2$ секунды (Рис. 7).

Каждая первая полуволна, начинающаяся вместе с началом каждой новой секунды, имеет увеличенную амплитуду для того, чтобы в приемнике фиксировать моменты хода секунд часов передатчика.

Очевидно, что (это наглядно видно из рисунка 7) отношение воспринимаемой приемником частоты электромагнитных волн $v_{набл}$ к частоте передачи $v_{ист}$ в точности равно отношению частоты принимаемых (и затем воспроизводимых) приемником видеоизображения кадров $v_{набл}^{kadr}$ к частоте снимаемых и передаваемых в эфир кадров $v_{ист}^{kadr}$ и равно наблюдаемому темпу хода времени движущихся часов μ :

$$\frac{v_{набл}}{v_{ист}} = \frac{v_{набл}^{kadr}}{v_{ист}^{kadr}} = \mu.$$

Следовательно, как это вытекает из (1) имеет место соотношение:

$$\mu = \frac{1}{1-\frac{v}{c}}$$

и

$$\frac{\Delta t_{набл}}{\Delta t_{ист}} = \mu = \frac{1}{1-\frac{v}{c}}$$

Таким образом мы доказали теоретически, что имеют место фундаментальные соотношения

$$\frac{v_{набл}^{kadr}}{v_{ист}^{kadr}} = \frac{v_{набл}}{v_{ист}} = \frac{\Delta t_{набл}}{\Delta t_{ист}} = \frac{1}{1-\frac{v}{c}} = \mu. \quad (3)$$

При удалении наблюдаемых часов от наблюдателя, вместо знака минус в знаменателе перед отношением v/c ставят знак плюс, при этом наблюдаемый темп хода времени движущихся часов μ меньше единицы.

Физический смысл этого выражения состоит в том, что отношение наблюдаемой частоты передаваемых с объекта видео кадров к истинной частоте передачи видео кадров равно отношению наблюдаемой частоты колебаний приемника к истинной частоте передатчика и равно отношению наблюдаемого по движущимся часам интервала времени к истинному интервалу времени. Величина этого отношения равна наблюдаемому темпу хода времени движущихся часов μ .

Один из интересных результатов, который вытекает из полученного соотношения (3), заключается в том, что наблюдаемый темп хода времени движущихся часов прямо пропорционален воспринимаемой частоте электромагнитных волн:

$$\mu = \frac{v_{набл}^{kadr}}{v_{ист}^{kadr}} = \frac{v_{набл}}{v_{ист}}$$

Величина μ , представляющая собой коэффициент прямой пропорциональности в эффекте Доплера,

$$\mu = \frac{1}{1-\frac{v}{c}}$$

имеет физический смысл наблюдаемого темпа хода времени движущихся часов.

В настоящей работе полученное теоретически соотношение (3) подтверждается экспериментально.

3. ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗЫ О ДОСТОВЕРНОСТИ ФОРМУЛЫ, ВЫРАЖАЮЩЕЙ ИЗМЕНЕНИЕ НАБЛЮДАЕМОГО ТЕМПА ХОДА ДВИЖУЩИХСЯ ЧАСОВ

Формула, выражающая изменение наблюдаемого темпа хода движущихся часов в соответствии с (3) выглядит следующим образом:

$$\Delta t_{набл} = \frac{\Delta t_{ист}}{1 \pm \frac{v}{c}}, \quad (4)$$

где $\Delta t_{набл}$ и $\Delta t_{ист}$ – соответственно интервалы времени, отсчитываемые по часам на движущемся объекте и по неподвижным часам наблюдателя.

Данное соотношение можно переписать в виде:

$$\frac{\Delta t_{набл}}{\Delta t_{ист}} = \frac{1}{1 \pm \frac{v}{c}}. \quad (5)$$

Рассмотрим вопрос оценки достоверности этого соотношения методами математической статистики.

3.1. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Будем использовать следующие термины и определения.

Статистическая гипотеза – некоторое утверждение о свойствах генеральной совокупности.

Нулевая гипотеза и альтернативная гипотеза.

Утверждения относительно одного или нескольких параметров, или о распределении, которые проверяют с помощью статистического критерия.

Нулевая гипотеза (H_0) – предположение, обычно сложное, относят к утверждению, подвергаемому проверке, в то время как альтернативную гипотезу (H_1) относят к утверждению, которое будет принято, если нулевую гипотезу отвергают.

Статистический критерий. Статистический метод принятия решений о том, стоит ли отвергнуть нулевую гипотезу в пользу альтернативной или нет.

Уровень значимости (критерия). Заданное значение верхнего предела вероятности ошибки первого рода. Уровень значимости обычно обозначают α .

Ошибка первого рода. Ошибка, состоящая в отбрасывании нулевой гипотезы, поскольку статистика принимает значение, принадлежащее критической области, в то время как эта нулевая гипотеза верна.

Примечание – Фактически ошибка первого рода является принятием неверного решения. Поэтому предпочтительно, чтобы вероятность такой ошибки была настолько мала, насколько это возможно.

Ошибка второго рода. Принятие нулевой гипотезы в том случае, когда она не верна.

Примечание – Фактически ошибка второго рода является принятием неверного решения. Поэтому желательно, чтобы вероятность такой ошибки была настолько мала, насколько это возможно.

Вероятность ошибки первого рода.

Вероятность допустить ошибку первого рода. Она всегда меньше уровня значимости критерия или равна ему.

Критическое значение. Значение, ограничивающее критическую область.

Критическая область. Множество возможных значений статистики, лежащей в основе критерия, для которого отвергают нулевую гипотезу.

3.2. ПОНЯТИЕ ДОВЕРИТЕЛЬНОГО ИНТЕРВАЛА

Пусть имеется случайная величина X с математическим ожиданием m и дисперсией D , которые неизвестны. Над величиной X произведено n независимых опытов, давших результаты X_1, X_2, \dots, X_n .

В качестве оценки для математического ожидания m используют среднее арифметическое наблюдаемых значений

$$\tilde{m} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}.$$

Оценку для дисперсии D находят по формуле

$$\tilde{D} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \tilde{m})^2}{n-1}.$$

Среднее квадратическое отклонение оценки \tilde{m} равно

$$\sigma_{\tilde{m}} = \sqrt{\frac{\tilde{D}}{n}}.$$

В математической статистике чтобы дать представление о точности и надежности оценки математического ожидания (и других параметров) используют *доверительный интервал* I_β и *доверительную вероятность* β .

Доверительный интервал выражают в виде

$$I_\beta = (\tilde{m} - t_\beta \sigma_{\tilde{m}}; \tilde{m} + t_\beta \sigma_{\tilde{m}}).$$

При большом числе измерений случайной величины X вероятность того, что измерение окажется в пределах доверительного интервала I_β равна β .

Так, например, с доверительной вероятностью $\beta = 0,95$ измерения случайной величины окажутся в пределах интервала

$$I_{0,95} = (\tilde{m} - 2\sigma_{\tilde{m}}; \tilde{m} + 2\sigma_{\tilde{m}}).$$

С доверительной вероятностью $\beta = 0,9973$ измерения случайной величины окажутся в пределах интервала «со статистической значимостью 3 сигма»:

$$I_{0,9973} = (\tilde{m} - 3\sigma_{\tilde{m}}; \tilde{m} + 3\sigma_{\tilde{m}}).$$

С доверительной вероятностью $\beta = 0,9999943$ измерения случайной величины окажутся в пределах интервала «со статистической значимостью 5 сигма»:

$$I_{0,9999943} = (\tilde{m} - 5\sigma_{\tilde{m}}; \tilde{m} + 5\sigma_{\tilde{m}}).$$

Статистическая значимость 7 сигма соответствует доверительной вероятности $\beta = 0,9999999999744$.

$$I_{0,9999999999744} = (\tilde{m} - 7\sigma_{\tilde{m}}; \tilde{m} + 7\sigma_{\tilde{m}}).$$

Последняя запись означает, что с вероятностью $\alpha = 1 - \beta = 2,56 \cdot 10^{-12}$ (это ничтожно малая вероятность) измерения случайной величины окажутся за пределами интервала $(\tilde{m} - 7\sigma_{\tilde{m}}; \tilde{m} + 7\sigma_{\tilde{m}})$. Вероятность α – это уровень значимости.

Для проверки достоверности соотношения (5) сформулируем нулевую гипотезу (H_0) следующим образом: математическое ожидание случайной величины $Q = \frac{\Delta t_{\text{набл}}}{\Delta t_{\text{ист}}}$, представляющую собой отношение интервала времени, отсчитанного по наблюдаемым движущимся часам к интервалу времени, отсчитанному по неподвижным часам наблюдателя, равно $\frac{1}{1-c}$.

Измеренные в результате эксперимента значения q_1, q_2, \dots, q_n ,

$$q_i = \frac{\Delta t_{\text{набл}}^i}{\Delta t_{\text{ист}}^i}$$

представляют собой ряд значений случайной величины Q , которые имели место в результате опыта.

В математической форме нулевая гипотеза записывается так:

$$m_q = \frac{1}{1-c},$$

где m_q – математическое ожидание случайной величины Q .

Другими словами, нулевая гипотеза представляет собой утверждение: истинное математическое ожидание отношения $(\Delta t_{\text{набл}} / \Delta t_{\text{ист}})$, то есть левой части выражения (5), равно $\frac{1}{1-c}$, то есть правой части (5).

Альтернативная гипотеза (H_1) представляет собой утверждение: истинное математическое ожидание случайной величины Q не равно $\frac{1}{1-c}$, то есть правой части (5). Попросту говоря, альтернативная гипотеза (H_1) состоит в том, что выражение (5) недостоверно, ложно. Если будет отброшена нулевая гипотеза, то будет принята альтернативная гипотеза.

Для того, чтобы проверить нулевую гипотезу, зададимся величиной доверительной вероятности β , которую примем равной 0,9999999999744. Эта доверительная вероятность при нормальном распределении случайной величины Q соответствует статистической значимости 7 сигма.

В соответствии с этим доверительный интервал равен

$$I_{0,9999999999744} = (\tilde{m}_q - 7\sigma_{\tilde{m}}; \tilde{m}_q + 7\sigma_{\tilde{m}}),$$

где \tilde{m}_q – оценка для математического ожидания m_q ,

$\sigma_{\tilde{m}}$ – среднее квадратическое отклонение оценки \tilde{m} .

Обычно уровень значимости критерия $\alpha = 1 - \beta$ полагают равным 0,10; 0,05; 0,01. Чем серьезнее последствия ошибки первого рода, тем меньше должен быть уровень значимости. Мы выбрали настолько малый уровень значимости α , что ошибка первого рода (то есть ошибка, состоящая в отбрасывании нулевой гипотезы, в то время как эта нулевая гипотеза верна), является практически невозможным событием.

Для проверки нулевой гипотезы необходимо рассчитать теоретическое значение математического ожидания

$$m_q = \frac{1}{1-\beta},$$

то есть правой части уравнения (5), и проверить, попадает ли m_q в доверительный интервал $I_{0,9999999999744}$.

Если выражение (5) является достоверным, то есть если нулевая гипотеза является истинной, то этот доверительный интервал $I_{0,9999999999744}$ с вероятностью 0,9999999999744 накроет истинное математическое ожидание $\frac{1}{1-\beta}$.

Если же рассчитанное значение $\frac{1}{1-\beta}$ окажется за пределами доверительного интервала, следовательно, нулевую гипотезу необходимо признать ложной, а альтернативную гипотезу – истинной. А это значит, выражение (5) является ошибочным.

3.3. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДОВЕРИТЕЛЬНОГО ИНТЕРВАЛА ОЦЕНКИ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОЖИДАНИЯ ВЕЛИЧИНЫ УСКОРЕНИЯ НАБЛЮДАЕМОГО ХОДА ВРЕМЕНИ ДВИЖУЩИХСЯ ЧАСОВ

Для расчета доверительного интервала оценки для математического ожидания величины ускорения наблюдаемого хода времени движущихся часов I_β необходимо в процессе движения наблюдаемых с помощью радиолокатора воздушных судов произвести последовательные измерения интервалов времени между моментами излучения ответов от ответчиков вторичного обзорного радиолокатора, расположенных на воздушных судах $t_i^{\text{отпр}}$, кроме того, произвести измерения соответствующих интервалов времени между моментами приема радиолокатором этих ответов

$t_i^{\text{приб}}$, и далее выполнить расчеты в соответствии со следующей методикой.

Экспериментальная установка

В качестве экспериментальной установки для оценки математического ожидания величины ускорения наблюдаемого хода времени движущихся часов использовался моноимпульсный вторичный обзорный радиолокатор (ВОРЛ) «Аврора-2», серийно выпускаемый АО «ВНИИРА».

Описание ВОРЛ

Система ВОРЛ состоит из двух основных подсистем: наземного запросчика/приемника (также именуемого радиолокатором) и бортового приемопередчика [8].

В состав наземной станции входит вращающаяся антенна. Скорость вращения определяет частоту обновления информации. В радиолокаторе «Аврора-2» скорость вращения антенны составляет 1 оборот за 5 секунд.

Приемопередчик на борту воздушного судна отвечает на запросы наземной станции, позволяя наземной станции определить расстояние до воздушного судна и азимут. В приемопередчике запрограммирован фиксированный период задержки, в течение которого расшифровывается запрос и подготавливается ответ для передачи. Такой фиксированный период задержки учитывается наземным приемником при обработке ответа.

Компоненты ВОРЛ показаны на рис. 8. ВОРЛ определяет расстояние до воздушного судна и азимут независимо. Расстояние определяется путем измерения времени до получения ответа на соответствующий сигнал запроса. Азимут воздушного судна от радиолокатора определяется по положению вращающейся антенны в момент получения ответа. Точность информации о расстоянии обычно не меняется в пределах зоны действия.

Для функционирования системы ВОРЛ воздушное судно должно быть оборудовано приемопередчиком.

На основе данных ВОРЛ, переданных в систему обработки радиолокационной информации, можно рассчитать наземную и вертикальную скорость воздушного судна и прогнозировать его будущее местоположение.

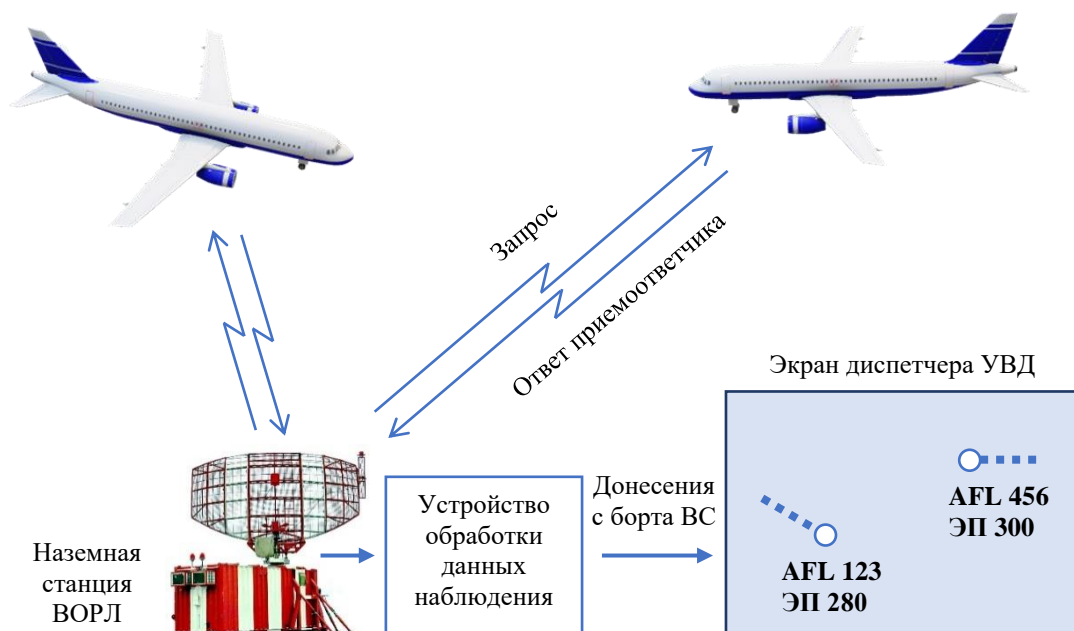


Рис. 8. Вторичный обзорный радиолокатор (ВОРЛ)

Исходные данные для расчета

В течение полета воздушного судна производят высокоточные измерения i -х моментов времени запросов наземной станции ВОРЛ $t_i^{\text{запр}}$, и соответствующих моментов времени получения ответов наземным приемником ВОРЛ $t_i^{\text{приб}}$. Зная время запроса и время получения ответа можно определить время передачи ответа от

приемопередчика на воздушном судне $t_i^{\text{отпр}}$ с учетом периода задержки $\Delta t_{\text{зад}}$, в течение которого расшифровывается запрос и подготавливается ответ для передачи.

Исходные данные для расчета фиксируют в таблице 1.

В таблице 1 используется обозначение ID – идентификатор воздушного судна.

Таблица 1 – Исходные данные

№ п/п	$t_i^{\text{запр}}$ время запроса	$t_i^{\text{приб}}$ время ответа	Параметры движения наблюдаемого объекта				
			ID: _____				
			Азимут	Дальность	Высота	Скорость	Курс
1							
2							

Требования к записи исходных данных

В таблице исходных данных фиксируют данные о воздушном судне, выполняющем горизонтальный прямолинейный полет на постоянной скорости. В таблице фиксируют время запросов и ответов при выполнении полета воздушного судна в направлении на ВОРЛ, или от него. Фиксируют данные, получаемые при каждом обзоре (примерно 1 раз в 5 секунд).

Общее время наблюдения ВС для фиксации экспериментальных данных должно быть не менее 180 секунд.

Для эксперимента необходимо зафиксировать статистику не менее чем по 12 воздушным судам,

выполняющим полеты желательно на разных скоростях (как на больших, так и на небольших). Половина воздушных судов должна лететь на ВОРЛ, половина – от ВОРЛ. Расстояние до воздушного судна должно быть не меньше 120-150 км.

Для каждого ВС заполняют отдельную таблицу (табл. 1).

Обработка измерений

1. По времени запроса $t_i^{\text{запр}}$ и времени получения ответа $t_i^{\text{приб}}$ рассчитывают время отправления ответа от приемопередчика воздушного судна $t_i^{\text{отпр}}$,

$$t_i^{\text{отпр}} = \frac{t_i^{\text{запр}} + t_i^{\text{приб}} - \Delta t_{\text{зад}}}{2}$$

где $\Delta t_{\text{зад}}$ – период задержки, в течение которого расшифровывается запрос и подготавливается ответ для передачи.

Время отправления ответа от приемоответчика может также с высокой точностью рассчитываться по формуле:

$$t_i^{\text{отпр}} = t_i^{\text{приб}} - \frac{r}{c},$$

где r – расстояние до воздушного судна (дальность) в момент измерения.

2. Рассчитывают интервал времени между моментами отправления $i+k$ -го и i -го ответов:

$$\Delta t_{\text{набл}}^i = t_{i+k}^{\text{отпр}} - t_i^{\text{отпр}}.$$

Величину k выбирают таким образом, чтобы интервал $\Delta t_{\text{набл}}^i$ составлял величину 10-30 секунд. В проведенном эксперименте величина k выбрана равной 3, так что интервал $\Delta t_{\text{набл}}^i$ был равен приблизительно 15 секундам:

$$\Delta t_{\text{набл}}^i = t_{i+3}^{\text{отпр}} - t_i^{\text{отпр}}.$$

3. Рассчитывают интервал времени между моментами получения соответствующих ответов

$$\Delta t_{\text{ист}}^i = t_{i+k}^{\text{приб}} - t_i^{\text{приб}}.$$

В проведенном эксперименте $k = 3$, соответственно

$$\Delta t_{\text{ист}}^i = t_{i+3}^{\text{приб}} - t_i^{\text{приб}}.$$

4. Рассчитывают отношение

$$q_i = \frac{\Delta t_{\text{набл}}^i}{\Delta t_{\text{ист}}^i}.$$

Величина q_i представляет собой измеренное значение величины ускорения или замедления наблюдаемого хода часов на движущемся воздушном судне.

5. По n значениям q_i рассчитывают оценку математического ожидания

$$\tilde{m}_q = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{n}.$$

\tilde{m}_q представляет собой оценку математического ожидания величины ускорения или замедления наблюдаемого хода часов на движущемся воздушном судне.

6. Рассчитывают оценку дисперсии

$$\tilde{D} = \frac{\sum_{i=1}^n (q_i - \tilde{m}_q)^2}{n-1}.$$

7. Рассчитывают среднее квадратическое отклонение оценки \tilde{m}_q

$$\sigma_{\tilde{m}} = \sqrt{\frac{\tilde{D}}{n}}.$$

8. Рассчитывают доверительный интервал I_β оценки для математического ожидания величины q_i , соответствующий статистической значимости 7 сигма

$$I_\beta = (\tilde{m} - 7\sigma_{\tilde{m}}; \tilde{m} + 7\sigma_{\tilde{m}}).$$

Для такого доверительного интервала доверительная вероятность $\beta = 0,99999999999744$, то есть почти равна единице.

Промежуточные результаты обработки измерений вносят в таблицу 2.

Таблица 2 – Обработка измерений

№ п/п	$\Delta t_{\text{ист}}^i$	$\Delta t_{\text{набл}}^i$	$q_i = \frac{\Delta t_{\text{набл}}^i}{\Delta t_{\text{ист}}^i}$
1			
2			

Результаты расчетов оценки математического ожидания

\tilde{m}_q , среднего квадратического отклонения $\sigma_{\tilde{m}}$ и доверительного интервала I_β вносят в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты расчетов

№ п/п	v , м/с	\tilde{m}_q	$\sigma_{\tilde{m}}$	I_β	η	Подтверждение достоверности
1						
2						

3.4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗЫ О ДОСТОВЕРНОСТИ ФОРМУЛЫ, ВЫРАЖАЮЩЕЙ ИЗМЕНЕНИЕ НАБЛЮДАЕМОГО ТЕМПА ХОДА ДВИЖУЩИХСЯ ЧАСОВ

Результаты эксперимента.

Эксперимент в целях проверки гипотезы о достоверности формулы (5) проводился с использованием исходных данных, записанных в процессе наблюдения реального воздушного движения в период с 29.06.2022 по 01.07.2022 с использованием ВОРЛ «Аврора-2», установленном

в аэропорту Шереметьево. Это современный моноимпульсный вторичный радиолокатор (МВРЛ) режима S с функцией расширенного наблюдения в режиме АЗН-В 1090 ES. Период вращения антенны радиолокатора составляет 5 сек. Были зафиксированы полеты 20 воздушных судов, выполнявших полеты в Московской воздушной зоне. Воздушные суда выполняли рейсы AFL1401, AFL1124, NWS592, AFL018, DRU543, SDM6020, RWZ786, AFL1641, BRU951, AFL1500, THY3952, AFL042, SBI1028, 73053, SBI2567, SBI2067, THY8CR, SBI1135, ASL651, AFL2814.

Проводились измерения в среднем 38 наблюдаемых и истинных интервалов времени для каждого воздушного судна. Средняя продолжительность наблюдаемых (и, соответственно, истинных) интервалов времени составила примерно 15 сек. В эксперименте измерялись интервалы времени между i -м и $i+3$ -м обзорами радиолокатора. Каждое воздушное судно наблюдалось в течение примерно 200 секунд.

В процессе эксперимента было выполнено в общей сложности 757 измерений величины

$$q_i = \frac{\Delta t_{\text{набл}}^i}{\Delta t_{\text{ист}}^i},$$

которая представляет собой величину ускорения / замедления наблюдаемого хода времени движущихся часов.

Гистограмма погрешности измерения $\Delta q_i = \tilde{m}_q - q_i$, где \tilde{m}_q – оценка математического ожидания величины q_i , представлена на рис. 9.



Рис. 9. Гистограмма погрешности измерения величины ускорения / замедления наблюдаемого хода времени движущихся часов

Проверка статистической гипотезы о нормальном распределении погрешности измерения Δq с использованием коэффициентов асимметрии и эксцесса показало, что это распределение можно считать нормальным.

На Рис. 10 линией представлен график зависимости

$$\mu = \frac{1}{1+\frac{v}{c}}$$

от скорости.

На этом же рисунке маркерами «+» изображены полученные экспериментальным путем значения \tilde{m}_q .

Из рисунка видно, что экспериментальные значения \tilde{m}_q с высокой степенью точности

коррелируют с теоретической зависимостью графика μ .

В таблице 4 представлены экспериментальные данные, в соответствии с которыми рассчитаны доверительные интервалы оценки величины ускорения наблюдаемого хода движущихся часов со статистической значимостью 7 сигма.

В столбце v представлена скорость воздушного судна. В столбце \tilde{m}_q приведена оценка математического ожидания

$$q_i = \frac{\Delta t_{\text{набл}}^i}{\Delta t_{\text{ист}}^i}.$$

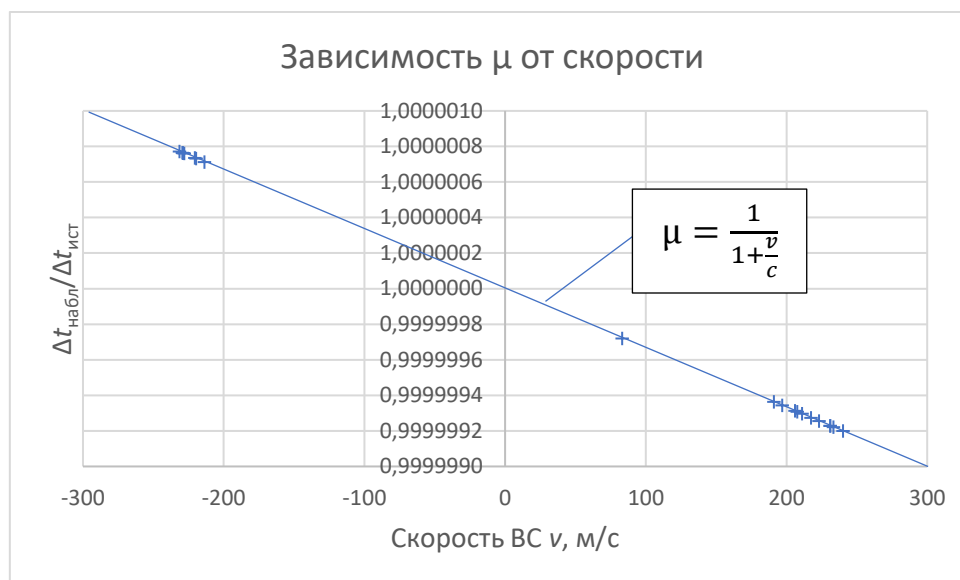


Рис. 10. График зависимости ускорения/замедления наблюдаемого хода часов на ВС от скорости. Положительные значения скорости соответствуют удалению часов от наблюдателя, отрицательные значения – приближению часов к наблюдателю

Другими словами, \tilde{m}_q представляет собой экспериментальную оценку отношения наблюдаемого интервала, отсчитанного по движущимся к наблюдателю часам к истинному интервалу.

В столбцах I_β приведены нижняя и верхняя граничные значения доверительного интервала для величины \tilde{m}_q при доверительной вероятности $\beta = 0,9999999999744$.

Из таблицы видно, что во всех 20-ти случаях величина μ находится в пределах доверительного интервала I_q . Это говорит о том, что гипотезу о достоверности выражения (5) отбросить нельзя.

Как интерпретировать полученные результаты?

Величина \tilde{m}_q представляет собой экспериментальную оценку ускорения наблюдаемого хода расположенных на воздушном судне часов, которое движется к наблюдателю (радиолокатору).

Интервал $(\tilde{m} - 7\sigma_{\tilde{m}}; \tilde{m} + 7\sigma_{\tilde{m}})$, рассчитанный со статистической значимостью 7 сигма, представляет собой доверительный интервал, попадание измерения ускорения наблюдаемого хода часов за пределы которого составляет ничтожно малую величину $2,56 \cdot 10^{-12}$.

Другими словами, с вероятностью

$$\beta = 1 - 2,56 \cdot 10^{-12} = 0,9999999999744$$

истинное значение изменения наблюдаемого темпа хода движущихся часов, расположенных на воздушном судне, находится в пределах рассчитанного в таблице доверительного интервала.

Доверительные интервалы ускорения наблюдаемого хода расположенных на воздушном судне часов при их различных скоростях представлены на Рис. 11. Границы доверительных интервалов, рассчитанных со статистической значимостью 7 сигма представлены двумя линиями «верхней и нижней границы доверительных интервалов». Истинное значение ускорения наблюдаемого хода расположенных на воздушном судне часов с доверительной вероятностью 0,9999999999744 должно находиться между этими линиями.

Что показывает проведенный эксперимент?

Столбец \tilde{m}_q в таблице 4 представляет собой математическое ожидание отношения измеренного интервала времени, наблюдаемого по часам, расположенным на движущемся воздушном судне к соответствующему интервалу времени, измеренному по неподвижным часам наблюдателя. Другими словами, столбец \tilde{m}_q представляет собой число секунд, прошедших по наблюдаемым движущимся часам за одну секунду неподвижных часов наблюдателя.

Эксперимент показывает, что движущиеся к наблюдателю часы (при отрицательной скорости в столбце v таблицы) по наблюдаемым им показаниям идут быстрее неподвижных часов: за одну секунду по неподвижным часам наблюдателя по приближающимся к нему часам проходит больше одной секунды. Так, например, в соответствии со строкой 1 таблицы 4 при скорости, равной минус 231,37 м/с за одну секунду по неподвижным часам наблюдателя показания движущихся часов изменяются на 1,0000007715 секунд.

Таблица 4 – Проверка достоверности выражения (5) со статистической значимостью 7 σ (критерий семи сигма)

№ п/п	v , м/с	\tilde{m}_q	$\sigma_{\tilde{m}}$	I_β		$\mu = \frac{1}{1 + \frac{v}{c}}$	Подтверждение достоверности
				$\tilde{m}_q - 7\sigma_{\tilde{m}}$	$\tilde{m}_q + 7\sigma_{\tilde{m}}$		
1	-231,37	1,0000007715	6,38E-10	1,0000007670	1,0000007759	1,0000007718	да
2	-229,34	1,0000007652	6,15E-10	1,0000007609	1,0000007695	1,0000007650	да
3	-229,04	1,0000007636	7,71E-10	1,0000007582	1,0000007690	1,0000007640	да
4	-228,86	1,0000007633	4,58E-10	1,0000007601	1,0000007665	1,0000007634	да
5	-227,98	1,0000007605	6,06E-10	1,0000007563	1,0000007648	1,0000007605	да
6	-220,48	1,0000007350	1,01E-09	1,0000007279	1,0000007420	1,0000007354	да
7	-219,61	1,0000007318	8,71E-10	1,0000007257	1,0000007379	1,0000007325	да
8	-213,77	1,0000007126	7,39E-10	1,0000007074	1,0000007178	1,0000007130	да
9	83,21	0,9999997202	8,67E-10	0,9999997141	0,9999997263	0,9999997225	да
10	191,02	0,9999993628	8,87E-10	0,9999993566	0,9999993690	0,9999993628	да
11	197,02	0,9999993429	5,32E-10	0,9999993391	0,9999993466	0,9999993428	да
12	206,05	0,9999993129	7,11E-10	0,9999993079	0,9999993178	0,9999993127	да
13	207,71	0,9999993072	7,99E-10	0,9999993016	0,9999993128	0,9999993071	да
14	210,97	0,9999992966	7,31E-10	0,9999992915	0,9999993017	0,9999992963	да
15	217,44	0,9999992743	7,20E-10	0,9999992693	0,9999992794	0,9999992747	да
16	223,13	0,9999992557	1,22E-09	0,9999992472	0,9999992642	0,9999992557	да
17	230,99	0,9999992292	8,89E-10	0,9999992230	0,9999992354	0,9999992295	да
18	231,00	0,9999992294	6,39E-10	0,9999992249	0,9999992338	0,9999992295	да
19	233,35	0,9999992218	5,88E-10	0,9999992177	0,9999992259	0,9999992216	да
20	240,09	0,9999991994	7,26E-10	0,9999991943	0,9999992045	0,9999991991	да

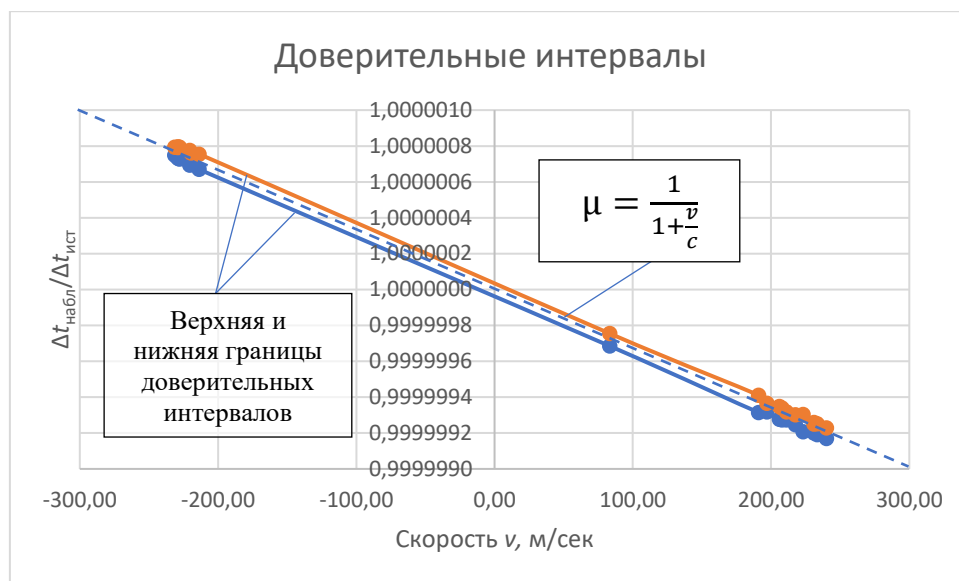


Рис. 11. Границы доверительных интервалов ускорения наблюдаемого хода расположенных на воздушном судне часов со статистической значимостью 7 сигма

Кроме того, эксперимент показывает, что движущиеся от наблюдателя часы (при положительной скорости в столбце v таблицы) по наблюдаемым данным идут медленнее, чем неподвижные часы: за одну секунду по неподвижным часам наблюдателя, по удаляющимся от него часам проходит меньше одной секунды. В строке 20 таблицы при скорости воздушного судна 240,09 м/с за одну секунду по неподвижным часам наблюдателя, согласно эксперименту, по движущимся часам прошло 0,9999991994 секунд.

Предсказания, сделанные по формуле (5) (столбец μ таблицы) с высокой степенью точности совпадают с экспериментальными данными.

4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Эксперимент показал, что при наблюдении за часами, которые движутся со скоростью v вдоль линии, соединяющей часы и наблюдателя, наблюдаемый темп хода этих часов $\mu = \frac{\Delta t_{\text{набл}}}{\Delta t_{\text{ист}}}$ изменяется в соответствии выражением

$$\mu = \frac{1}{1 \pm \frac{v}{c}},$$

где $\Delta t_{\text{набл}}$ и $\Delta t_{\text{ист}}$ — соответственно интервалы времени, отсчитываемые по движущимся часам и неподвижным часам наблюдателя;

знак плюс в знаменателе — при удалении часов от наблюдателя, знак минус — при их приближении к наблюдателю.

Физический смысл этого результата состоит в том, что при движении часов к наблюдателю, эти часы по наблюдениям идут быстрее неподвижных.

Если же наблюдаемые часы движутся от наблюдателя, то по наблюдениям они идут медленнее неподвижных.

В соответствии с результатами эксперимента, если с пункта управления космическими полетами, расположенного на Земле, с помощью видеосвязи поккадровой съемки (или с помощью гипотетического мощного телескопа, позволяющего через иллюминатор космического корабля разглядеть все что происходит на корабле) наблюдать за космонавтами и за стрелками расположенных на корабле часов, то при движении корабля к Земле со скоростью 0,5 c (половина скорости света) коэффициент изменения наблюдаемого хода времени μ на корабле будет равен

$$\mu = \frac{1}{1 - \frac{v}{c}} = \frac{1}{1 - \frac{0,5c}{c}} = 2,$$

движения и речь космонавтов при наблюдении будут выглядеть ускоренными в два раза, подобно тому, как если бы мы в два раза ускоренно воспроизводили обычную видеозапись.

При приближении космического корабля к Земле со скоростью 0,9 c движения и речь космонавтов будут наблюдаться ускоренными в 10 раз; на такой скорости воспроизведения речи понять ее на слух будет невозможно.

Если космический корабль будет приближаться к Земле со скоростью 0,99 c , движения и речь космонавтов будут наблюдаться ускоренными в 100 раз; наблюдаемые показания часов корабля будут идти в 100 раз быстрее, чем часы на Земле.

Если космический корабль будет удаляться от Земли со скоростью $0,9c$, то $\mu = \frac{1}{1+\frac{0,9c}{c}} = 0,526$. При этом движения и речь космонавтов, а также движение стрелок часов корабля будут наблюдаться замедленными в 1,9 раз.

Необходимо, однако, отметить, что результаты проведенного эксперимента, а также сделанные на их основе выводы некоторым образом противоречат выводам СТО.

Специальная теория относительности о ходе времени движущихся часов

В соответствии со СТО при наблюдении за движущимися часами неподвижным наблюдателем имеют место следующие полученные теоретически результаты [17-21].

Пусть наблюдатель, расположенный в начале координат инерциальной системы отсчета (ИСО), наблюдает за ходом времени движущихся часов, и сравнивает наблюдаемые им показания этих часов с показаниями его неподвижных часов, расположенных рядом с ним.

Независимо от того, в какую сторону от наблюдателя движутся часы, то есть независимо от того, приближаются ли часы к наблюдателю, или удаляются от него, в соответствии со СТО «Равномерно движущиеся часы с точки зрения покоящейся системы отсчета идут медленнее, чем с точки зрения наблюдателя, движущегося вместе с ними. Если обозначить через v число тиканий часов в единицу времени для покоящегося наблюдателя, а через v_0 соответствующее число для движущегося вместе с ними наблюдателя, то будем иметь

$$\frac{v}{v_0} = \sqrt{1 - (v/c)^2}. \quad [17, \text{с. 49}].$$

В приведенной формуле v и c – соответственно, скорость движения часов и скорость света.

Этот же результат СТО сформулирован также следующим образом: «Если наблюдать часы из системы, по отношению к которой они равномерно движутся со скоростью v , то окажется, что они идут в $1/\sqrt{1 - (v/c)^2}$ раз медленнее, чем те же часы, неподвижные по отношению к этой системе» [18, с. 156].

Несколько в другой формулировке этот результат выглядит так: «Показание часов (наблюдаемое из покоящейся системы) отстает в секунду на $(1 - \sqrt{1 - (v/c)^2})$ сек» [16, с. 19].

Этот теоретический результат, кроме того, сформулирован так: «Относительно системы K часы (секундомер, удары которого отсчитывают секунды – прим. авт.) движутся со скоростью v ; при наблюдении из этой системы отсчета между

ударами этих часов проходит не секунда, а $1/\sqrt{1 - (v/c)^2}$ секунд, то есть несколько большее время. Часы, вследствие своего движения, идут медленнее, чем в состоянии покоя» [19, с. 549].

Нобелевский лауреат Ричард Фейнман выразил этот результат так: «Если вы со стороны наблюдаете, как космонавт (движущегося межпланетного корабля – прим. авт.) закуривает папиросу, вам кажется, что он делает это медленнее, нежели обычно, хотя сам он считает, что все происходит в нормальном темпе. Стало быть... приборы для измерения времени («часы») должны замедлить свой ход. Иначе говоря, когда часы на космическом корабле отсчитывают, по мнению космонавта, 1 сек, то по мнению стороннего наблюдателя, пройдет $1/\sqrt{1 - (v/c)^2}$ сек» [20, с. 272].

Таким образом, в соответствии со СТО, наблюдатель, наблюдая за показаниями движущихся к нему (обратим внимание на этот частный случай) или от него часов, и, сравнивая показания этих движущихся часов с показаниями его неподвижных часов, зафиксирует что:

1. Движущиеся к наблюдателю (или же от него) часы по наблюдениям идут медленнее, чем его неподвижные часы.

2. В то время как по неподвижным часам наблюдателя проходит одна секунда, показания наблюдаемых им движущихся часов изменятся на $\sqrt{1 - (v/c)^2}$ секунд (меньше секунды).

3. Предположим, к Земле на околосветовой скорости движется космический корабль, космонавты которого ведут онлайн видеорепортаж с использованием видеокамеры поккадровой съемки и радиоканала передачи данных, по которому снятые кадры передаются на Землю. На Земле приемник принимает переданные кадры и отображает их на экране сразу же после приема. Наблюдая за космонавтами на видеоэкране, согласно СТО, мы увидим, что движения и речь космонавтов являются замедленными, как в видеофильме, который воспроизводится с замедлением.

4. Очевидно поэтому, что согласно СТО стрелки часов на экране видеотрансляции с космического корабля должны двигаться медленнее, чем стрелки земных часов.

5. Если обозначить: $\Delta t_{\text{ист}}$ – интервал времени, отсчитываемый по часам неподвижного наблюдателя; $\Delta t_{\text{набл}}$ – соответствующий интервал времени, отсчитываемый по показаниям наблюдаемых движущихся часов, то соотношение между этими величинами, согласно СТО, выражается следующей формулой

$$\Delta t_{\text{набл}} = \Delta t_{\text{ист}} \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}. \quad (6)$$

В соответствии с этим при движении космического корабля к Земле со скоростью 0,99 скорости света, в то время, пока по земным часам пройдет одна секунда, по наблюдаемым показаниям часов корабля пройдет

$$\Delta t_{\text{набл}} = 1 \times \sqrt{1 - 0,99^2} = 0,14 \text{ секунд.}$$

При этом наблюдаемые показания часов корабля будут идти примерно в 7 раз медленнее земных часов.

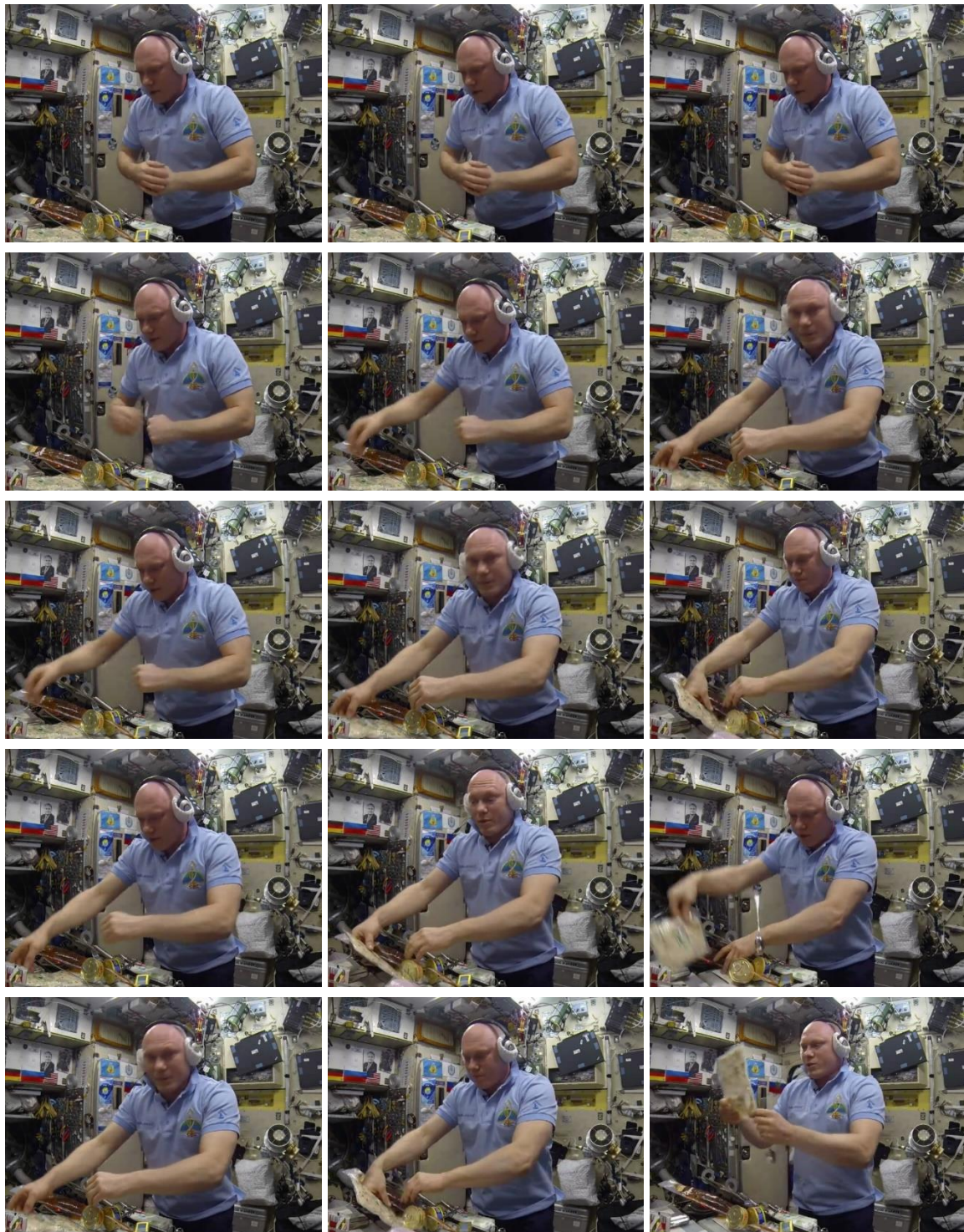
Этот результат противоречит экспериментальным данным. В соответствии с экспериментальными данными наблюдаемые показания часов приближающегося к Земле корабля при скорости 0,99 скорости света должны идти в 100 раз быстрее земных часов.

Противоречие СТО результатам эксперимента

Мы видим, что результаты эксперимента противоречат СТО. Противоречия сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Предсказания СТО и факты эксперимента

Предсказания СТО	Экспериментально доказанные факты
При наблюдении за движущимися часами неподвижным наблюдателем эти часы по наблюдениям всегда идут <i>медленнее</i> неподвижных, независимо от того, приближаются ли они к наблюдателю или удаляются от него.	При наблюдении за движущимися по направлению <i>к наблюдателю</i> часами эти часы по наблюдениям идут <i>быстрее</i> неподвижных часов наблюдателя. Примечание. См. строки 1-8 таблицы 4.
За одну секунду по неподвижным часам наблюдателя на движущихся часах по наблюдениям проходит $\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$ секунд (меньше одной секунды).	За одну секунду по неподвижным часам наблюдателя на движущихся часах по наблюдениям проходит: – при движении часов к наблюдателю $\frac{1}{1 - \frac{v}{c}}$ секунд (больше одной секунды); – при движении часов от наблюдателя $\frac{1}{1 + \frac{v}{c}}$ секунд (меньше одной секунды). Примечание. См. столбец \tilde{m}_q таблицы 4.
При движении космического корабля к Земле со скоростью 0,99 скорости света наблюдаемые показания часов корабля будут идти примерно в 7 раз медленнее земных часов.	При движении космического корабля к Земле со скоростью 0,99 скорости света наблюдаемые показания часов корабля в соответствии с экспериментально доказанной формулой (5) будут идти в 100 раз быстрее земных часов.
Разница между предсказаниями СТО и результатами расчетов по экспериментально подтвержденной формуле при $v = 0,99c$ составляет 700 раз . Очевидно, практика и эксперимент являются неоспоримым критерием истины. Вывод: Использование формулы СТО (6) при скорости 0,99c приводит к ошибке в 700 раз, то есть 70 000 (семьдесят тысяч) процентов.	



а) предсказание СТО:
замедленные движения

б) обычные движения

в) опытный факт: ускоренные
движения

Рис. 12. Видеорепортаж с приближающегося к Земле космического корабля. По вертикали представлены кадры транслируемого видеоизображения через каждые 0,5 сек

Если с использованием видеосвязи наблюдать за движениями и речью космонавтов, которые находятся на движущемся к Земле с околосветовой скоростью космическом корабле, то согласно опытным фактам, на видеозэкране мы увидим, что

космонавты движутся и говорят ускоренно, как в ускоренно воспроизводимом видеофильме (рис. 12, в). Однако в соответствии со СТО движения и речь космонавтов в данном случае будут наблюдаться замедленными, как в замедленно воспроизводимом

видеофильме (рис. 12, а). На рис. 12 изображены по вертикали последовательные кадры транслируемого с приближающегося к Земле космического корабля с интервалом 0,5 с. На рис. 12 б (средний столбец кадров) представлены кадры видеотрансляции как они были бы на самом деле (если бы корабль не приближался к Земле). В левом столбце, рис. 12 а, представлены кадры замедленного транслируемого видео, которое должно быть в соответствии со СТО. В правом столбце, рис. 12 в, представлены кадры, которые будут иметь место в соответствии с экспериментально доказанным фактом ускорения наблюдаемого хода времени движущихся к наблюдателю часов, то есть в соответствии с проведенным авторами настоящей работы экспериментом.

Таким образом, результаты эксперимента очевидно противоречат СТО.

5. ДВЕ ЗАДАЧИ ПО СТО, РЕШЕНИЕ КОТОРЫХ НЕВОЗМОЖНО ИЗ-ЗА ЕЕ ОШИБОЧНОСТИ

Ниже приведены две простые задачи по СТО, сформулированные одним из авторов. Решение этих задач, по нашему мнению, невозможно из-за ошибочности и внутренней противоречивости СТО. Лучшим опровержением предположения о невозможности решения этих задач методами СТО является, конечно же предоставление их решения с формулами СТО и расчетами.

С такого рода задачами на практике сталкиваются ученые в технических науках, когда рассматривают вопросы использования результатов СТО в авиации и космонавтике, в том числе в спутниковых навигационных системах (ГЛОНАСС, GPS, GALILEO). В каждой из приведенных задач имеется две ИСО. Решение задач с точки зрения одной ИСО приводит к одному ответу, а их решение с точки зрения второй ИСО дает другой ответ, который противоречит первому.

Многочисленные попытки авторов получить разъяснения от представителей теоретической физики о том, как нужно решать эти задачи оказались безрезультатными.

Тем не менее является актуальным и практически важным вопрос: как решать эти задачи на практике?

Использование ошибочных формул при разработке авиационных и космических систем навигации и наблюдения приводит к ухудшению тактико-технических характеристик этих систем, к повышению вероятности их отказов, может привести к авариям, человеческим жертвам (катастрофам) и к значительным экономическим потерям. Именно поэтому ученые – представители теоретической физики, которые дали техническим наукам специальную теорию относительности (написав для технических вузов учебники с изложением СТО) должны взять на себя ответственность за достоверность результатов СТО, которые используются на практике при разработке авиационных и космических систем [1–7].

Представленные задачи целесообразно решить для обеспечения полноты теоретического представления этой проблемы. Желательно, чтобы представители теоретической физики предложили методики и алгоритмы решения такого рода задач, которые бы не давали не противоречивые решения.

5.1. ЗАДАЧА О ПРОЛЕТАЮЩИХ РЯДОМ КОСМИЧЕСКИХ КОРАБЛЯХ

Пусть два одинаковых космических корабля длиной 100 м пролетают в непосредственной близости мимо друг друга. Скорость движения составляет $v=0,99999\ c$, где c – скорость света.

На каждом корабле имеются 101 иллюминатор, которые расположены на расстоянии 1 м друг от друга. (Для простоты считаем, что первый и последний иллюминаторы расположены в непосредственной близости от передней и задней частей корабля.) Иллюминаторы пронумерованы так, что номер каждого иллюминатора соответствует расстоянию в метрах от передней части корабля до соответствующего иллюминатора: ($A_0, A_1, A_2, \dots, A_{99}, A_{100}$) – на корабле A , ($B_0, B_1, B_2, \dots, B_{99}, B_{100}$) – на корабле B (рис. 13).

Возле каждого иллюминатора расположены наблюдатели. Часы наблюдателей на каждом корабле синхронизированы.

Пусть часы на каждом из кораблей идут таким образом, что наблюдатели A_0 и B_{100} , расположенные на переднем и заднем конце корабля A и корабля B (Рис. 13) оказавшись рядом в этот момент времени, зафиксируют, что показания часов A_0 и B_{100} одинаковы.

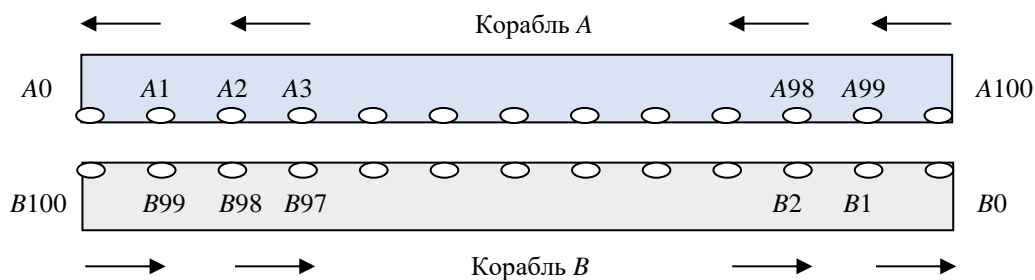


Рис. 13. Иллюстрация к Задаче данного раздела

В соответствии со СТО линейные размеры движущихся тел уменьшаются. В работе [19, с. 548], в частности, говорится: «...длина твердой метровой линейки, движущейся в направлении своей длины при наблюдении из покоящейся системы координат равна $\sqrt{1 - (v/c)^2}$. Таким образом, движущаяся твердая линейка *короче*, чем та же линейка, находящаяся в покое, причем тем короче, чем быстрее она движется».

В соответствии со СТО с точки зрения наблюдателей корабля А движущийся мимо них корабль В окажется короче их собственного корабля А. Длина корабля В окажется равной

$$l_B = l_A \sqrt{1 - (v/c)^2},$$

где l_A – длина корабля А, равная 100 м.

Задача 1

1. Рассчитайте, возле какого иллюминатора корабля А окажется передняя часть корабля В в тот момент, когда задняя часть корабля В окажется напротив иллюминатора А0? (рис. 14)
2. Покажите, что найденное решение удовлетворяет (не противоречит) принципу относительности.

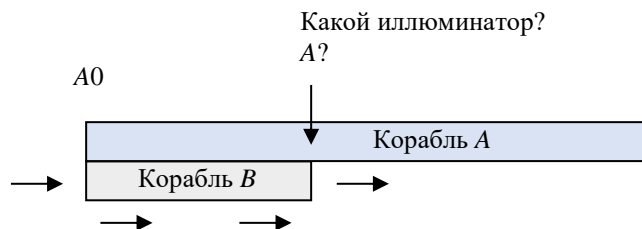


Рис. 14. Иллюстрация к Задаче 1

5.2. ЗАДАЧА О ДВИЖУЩИХСЯ НАВСТРЕЧУ ДРУГ ДРУГУ ЧАСАХ

Пусть две ИСО K и K' движутся относительно друг друга со скоростью v так, что оси X и X' находятся в непосредственной близости друг от друга, а оси Y и Y' , а также Z и Z' – параллельны.

На концах двух абсолютно жестких стержней одинаковой длины в точках O и A (в системе K) а также O' и A' (в системе K') расположены наблюдатели с часами (Рис. 15, а). Стержни неподвижны каждый в своей системе.

В ИСО K синхронизированы часы O и A , в ИСО K' синхронизированы часы O' и A' .

Пусть в момент времени, изображенный на рис. 15 а, когда наблюдатели O и O' , а также наблюдатели A и A' , будут проходить рядом друг с другом, они обнуляют показания своих часов. Так как длины соединяющих часы стержней в каждой ИСО

одинаковы, то после обнуления часы в каждой ИСО останутся синхронно идущими.

Пусть скорость движения $v=0,9 c$ (90% от скорости света), и расстояние $|OA|$ таково, что часы А проходят его со скоростью $v=0,9 c$ ровно за 1 час.

Таким образом, в момент встречи наблюдателей А и O' (рис. 15 б), когда они находятся в непосредственной близости друг от друга и от часов А и O' , в системе K' неподвижные часы O' будут показывать ровно 1 час.

Задача 2

1. С использованием формул СТО найти показания движущихся часов А при их наблюдении неподвижным наблюдателем O' из системы K' в момент встречи. Для решения задачи нужно использовать исключительно формулы, приведенные в [16-19]. Использовать формулы

других теорий, например, общей теории относительности, запрещено.

2. В решении привести формулы, по которым выполняются расчеты и сами расчеты.

3. Показать, что решение удовлетворяет принципу относительности СТО [18].

4. Показать, что движущиеся часы идут медленнее неподвижных [16, с. 19-20; 18, с. 156]. В СТО утверждается: «Часы, вследствие своего движения, идут медленнее, чем в состоянии покоя» [19, с. 549].

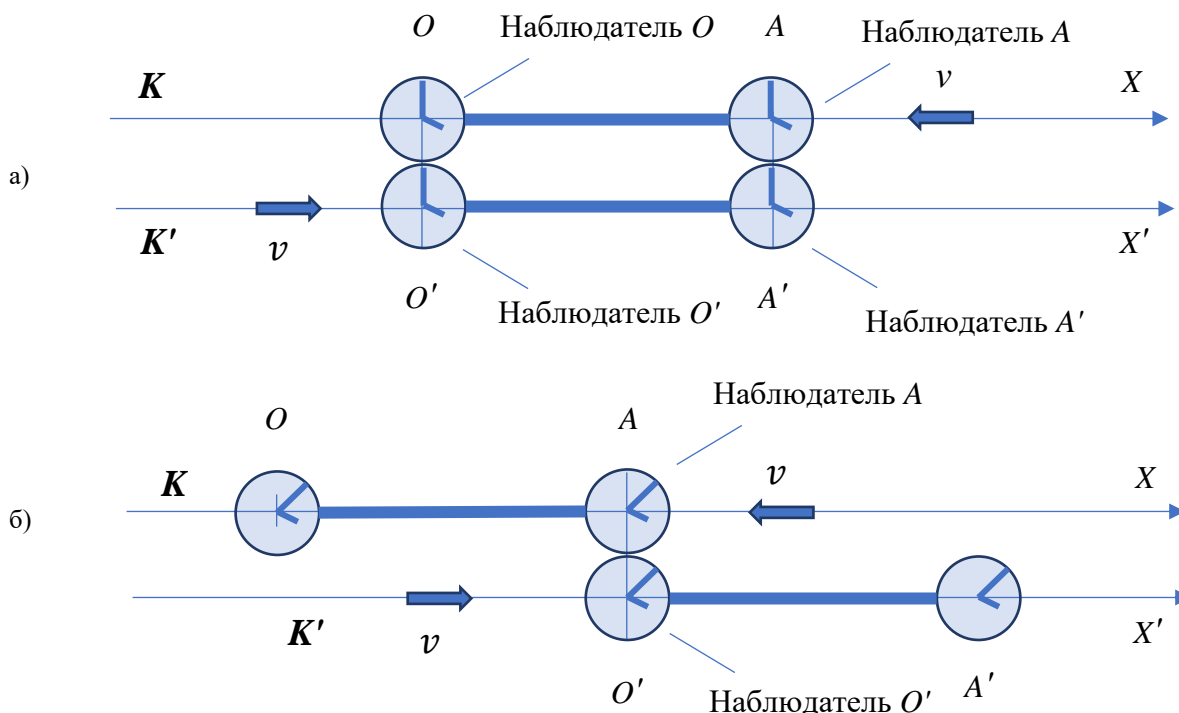


Рис. 15. Иллюстрации в Задаче 2: а) ИСО K и K' . В момент, когда наблюдатели O и O' а также A и A' проходят мимо друг друга, показания обнуляются; б) Момент, когда наблюдатели A и O' находятся в непосредственной близости друг от друга и от часов A и O'

Комментарий к задаче

Задача решается с использованием очевидной формулы:

$$\Delta t_A = \Delta t_{O'} \sqrt{1 - (v/c)^2},$$

где $\Delta t_{O'}$ – интервал времени, прошедший от момента обнуления показаний часов до момента встречи наблюдателей O' и A , равный 1 часу по часам O' ;

Δt_A – искомый интервал времени, прошедший от момента обнуления показаний часов до момента встречи наблюдателей O' и A по часам A ;

$v = 0,9 c$ – скорость движения.

5.3. ИЛЛЮСТРИРУЕМЫЕ ЗАДАЧАМИ ПРОТИВОРЕЧИЯ СТО

Задача 1 о пролетающих рядом космических кораблях в один и тот же момент времени иллюстрирует противоречивое, то есть невозможное с точки зрения формальной логики событие, в соответствии с которым *разные* наблюдатели, расположенные в разных ИСО, оказавшись рядом в одной и той же точке пространства одновременно (в

один и тот же момент времени) зафиксируют разные длины одного и того же материального тела.

Другими словами, наблюдатели корабля A , оказавшись в непосредственной близости с наблюдателями корабля B , одновременно (если время отсчитывается по синхронно идущим на каждом корабле часам, которые расположены рядом с каждым наблюдателем), согласно СТО, зафиксируют разную длину одного и того же корабля. А этого с точки зрения формальной логики быть не может.

Задача 2 о движущихся навстречу друг другу часах иллюстрирует противоречие, в соответствии с которым *разные* наблюдатели, расположенные в разных ИСО, оказавшись рядом в одной и той же точке пространства одновременно (в один и тот же момент времени), согласно СТО, зафиксируют разные показания одних и тех же часов, расположенных в этой точке пространства. С точки зрения формальной логики это невозможно.

Один из способов доказать, что СТО является непротиворечивой теорией состоит в том, чтобы корректно, используя только формулы СТО и не прибегая к другим теориям (к общей теории относительности, в том числе) решить представленные задачи, и корректно доказать, что полученное решение удовлетворяет (не противоречит) принципу относительности.

Последнее означает, что решение должно быть получено с точки зрения разных ИСО, и во всех случаях это решение должно быть одинаковым.

Итак, признаки противоречивости СТО заключаются в том, что измерение одних и тех же физических величин одного и того же тела (длины тела, длительности интервалов времени, наблюдаемых по показаниям расположенных на теле часов) из разных ИСО приводят к разным, противоречивым результатам. Противоречие выражается в том, что два наблюдателя из разных ИСО, оказавшихся одновременно в одном и том же месте пространства, согласно СТО, получают разные, противоречивые (и невозможные с точки зрения формальной логики) результаты, а именно: разную длину одного и того же тела или разные показания одних и тех же часов в один и тот же момент времени. Другими словами, несколько наблюдателей, находящихся в разных ИСО при встрече наблюдателей из разных ИСО друг с другом в одной точке пространства согласно СТО должны зафиксировать одновременно разную длину одного и того же тела; два движущихся друг относительно друга наблюдателя, наблюдая за одними и теми же движущимися относительно них часами при встрече этих наблюдателей и часов одновременно в одной точке пространства, согласно СТО, должны обнаружить, что эти часы одновременно показывают разное время, что противоречит формальной логике.

Сам факт наличия «нерешаемых» методами СТО задач доказывает внутреннюю противоречивость этой теории (решение должно быть получено исключительно методами СТО, без использования других теорий).

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в работе приведены результаты измерения наблюдаемого темпа хода движущихся часов.

В соответствии с результатами эксперимента движущиеся к наблюдателю часы по наблюдениям идут быстрее, чем его неподвижные часы, при движении часов от наблюдателя они по наблюдениям идут медленнее неподвижных часов наблюдателя.

Экспериментально доказано, что интервалы времени, отсчитываемые по наблюдаемым показаниям движущихся относительно наблюдателя часов $\Delta t_{\text{набл}}$ и по неподвижным часам наблюдателя $\Delta t_{\text{ист}}$ связаны формулой (5):

$$\Delta t_{\text{набл}} = \frac{\Delta t_{\text{ист}}}{1 \pm \frac{v}{c}},$$

где знак плюс в знаменателе – при удалении часов от наблюдателя, знак минус – при их приближении к наблюдателю.

В соответствии со СТО имеет место другая формула (6)

$$\Delta t_{\text{набл}} = \Delta t_{\text{ист}} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Результаты эксперимента противоречат СТО, в соответствии с которой движущиеся часы по наблюдениям всегда (независимо от направления движения) идут медленнее неподвижных.

Практика, эксперимент являются неопровержимым критерием истины. Поэтому формула (5) является истинной, а формула СТО (6) – ошибочной.

Использование формулы СТО (6) при скорости движения часов к наблюдателю $0,99c$ приводит к ошибке в 700 раз.

СТО нельзя использовать для расчетов в технических науках, в частности в системах навигации и наблюдения, применяемых в авиационной и космической отраслях, поскольку эксперимент показал, что формулы СТО являются ошибочными. Использование ошибочных формул в системах навигации и наблюдения может повлечь за собой ухудшение тактико-технических характеристик этих систем (в том числе снижение точности навигации и наблюдения) и привести к авариям, катастрофам в авиации и космонавтике, и, как следствие, к значительным экономическим потерям.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Тяпкин, В. Н. Методы определения навигационных параметров подвижных средств с использованием спутниковой радионавигационной системы ГЛОНАСС: монография / В. Н. Тяпкин, Е. Н. Гарин. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. – 260 с. ISBN 978-5-7638-2639-5.
- [2] Ashby, N. Relativity in GNSS. In: Ashtekar, A., Petkov, V. (eds) Springer Handbook of Spacetime. Springer Handbooks. Springer, Berlin, Heidelberg, 2014. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-41992-8_24]
- [3] Fidalgo, J. "LIFELINE: Feasibility Study of Space-Based Relativistic Positioning System / Fidalgo, J., Melis, S., Kostj, U., Delva, P., Mendes, L., Prieto-Cerdeira, R. // " Proceedings of the 34th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2021), St. Louis, Missouri, September 2021, pp. 3979-3989. <https://doi.org/10.33012/2021.18140>

- [4] Global Positioning System: Theory and Application / Edited by B.W. Parkinson, J.J. Spilker Jr. – AIAA. Inc., Washington, vol. 1, 1996.
- [5] Kouba, J. Relativity effects of Galileo passive hydrogen maser satellite clocks. GPS Solut 23, 117 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10291-019-0910-7>
- [6] Mudrak, A. Relativistic Corrections in the European GNSS Galileo / Mudrak, A., De Simone, P. & Lisi, M // Aerotec. MissiliSpaz. 94, 2015. С. 139–144 (2015).
- [7] Understanding GPS: Principles and Applications / Ed. by E. D. Kaplan. Aitech House, Inc., Norwood, Massachusetts, 1996. [<https://doi.org/10.1007/BF03404697>]
- [8] Руководство по авиационному наблюдению. ИКАО, документ 9924 AN/474. – 2020. – 429 с.
- [9] Кологривов, В. Н. Эффект Доплера в классической физике: учебно-методическое пособие по курсу Общая физика. – М.: МФТИ, 2012. – 32 с.
- [10] Трофимова Т. И. Курс физики: учеб. пособие для вузов / Таисия Ивановна Трофимова. – 11-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 560 с. – ISBN 5-7695-2629-7.
- [11] Плясовских А. П. О возможности движения тел со сверхсветовой скоростью. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2021. – 152 с. – ISBN 978-620-4-71514-8
- [12] Плясовских А. П. Закон aberrации и его приложения в навигации и управлении воздушным движением. – М.: Знание-М, 2022. – 70 с. – ISBN 978-5-00187-223-8.
- [13] Плясовских А. П. Теория реальности, альтернативная специальной теории относительности // Современные научные исследования и инновации. 2021. № 11 [Электронный ресурс]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2021/11/97082> (дата обращения: 28.11.2021).
- [14] Плясовских А. П. К вопросу aberrации при продольном движении материальной точки относительно наблюдателя // Современные научные исследования и инновации. 2022. № 2 [Электронный ресурс]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2022/02/97670> (дата обращения: 10.02.2022).
- [15] Плясовских А. П. О законе aberrации // Естественнаучный журнал «Точная наука». 2022. № 131. С. 30-42. URL: <https://idpluton.ru/wp-content/uploads/tv131.pdf> (дата обращения: 02.05.2022).
- [16] Эйнштейн А. К электродинамике движущихся тел // Собр. науч. тр. – Т. 1. – М.: Наука, 1965. – С. 7-35.
- [17] Эйнштейн А. О возможности нового доказательства принципа относительности // Собр. науч. тр. – Т. 1. – М., Наука, 1965. – С. 49-50.
- [18] Эйнштейн А. Принцип относительности и его следствия в современной физике // Собр. науч. тр. – Т. 1. – М., Наука. – 1965. – С. 138-164.
- [19] Эйнштейн А. О специальной и общей теории относительности // Собр. науч. тр. – Т. 1. – М., Наука. – 1965. – С. 530-600.
- [20] Фейнмановские лекции по физике. Т. I (1–2) / Ричард Фейнман, Роберт Лейтон, Мэтью Сэндс; [пер. с англ. О. А. Хрусталева, Г. И. Копылова, А. В. Ефремова]. – М.: Издательство АСТ, 2019. – 448 с.
- [21] Угаров В. А. Специальная теория относительности. М.: Наука, 1977.

Информация о авторе, ответственном за предоставление статьи в журнал:



Александр Петрович Плясовских - Место работы: АО «Ордена Трудового Красного Знамени Всероссийский научно-исследовательский институт радиопаратуры», Санкт-Петербург, Россия. Ученая степень, ученое звание: доктор технических наук Должность: главный конструктор научно-технического центра организации воздушного движения.
E-mail: info@vniira.ru, al.plyasovskih@yandex.ru

Статья поступила 10.12.2022.

An Experiment to Measure the Observed Rate of a Moving Clock

Team of authors:

1. Abdul'manov¹ Timur Maratovich,
2. Antokhin¹ Yevgeniy Aleksandrovich, PhD,
3. Barashkov¹ Ivan Aleksandrovich,
4. Belik⁴ Sergey Anatol'yevich,
5. Borsoyev⁷ Vladimir Aleksandrovich, Dr. of Techn. Sci.,
6. Budnikov¹ Daniil Sergeyeovich,
7. Verkhovets³ Mikhail Nail'yevich, PhD-student,
8. Vinnikov³ Artem Yur'yevich, PhD-student,
9. Vlasov¹ Il'ya Mikhaylovich,
10. Vlasov Roman Yur'yevich, PhD,
11. Volokitin³ Il'ya Aleksandrovich, PhD-student,
12. Vu Khan¹ Yan Lamovich, PhD-student,
13. Galkin¹ Yevgeniy Yur'yevich,
14. Gimishyan³ Mikayel Karapetovich,
15. Golivtsova⁸ Nadezhda Sergeyeвна,
16. Gorlova⁵ Anna Andreyevna, PhD-student,
17. Grachev³ Konstantin Olegovich, PhD-student,
18. Grigor'yev³ Sergey Vasil'yevich, PhD
19. Grigor'yeva³ Yelena Ivanovna,
20. Davidenko⁸ Vladislav Yur'yevich, PhD-student,
21. Dvornikov¹ Sergey Vasil'yevich,
22. Dzhanabayev⁹ Aleksandr Melsovich,
23. Dmitrenko Sergey Vladimirovich, k.v.n.,
24. Zamula³ Aleksandr Vladimirovich,
25. Zatonskiy³ Viktor Maksimovich, PhD,

26. Zashikhin¹ Sergey Borisovich,
27. Zemskov³ Yuriy Vladimirovich, PhD,
28. Zinchenko⁴ Viktor Grigor'yevich,
29. Zykov¹ Aleksandr Viktorovich,
30. Ivanov³ Aleksandr Aleksandrovich, PhD-student,
31. Ivanovskiy¹¹ Nikolay Nikolayevich,
32. Istomin Andrey Sergeevich, PhD,
33. Kaverznev³ Yevgeniy Gennad'yevich, PhD-student,
34. Kalyuzhnyy³ Yuriy Vasil'yevich,
35. Kachan³ Dmitriy Vladimirovich,
36. Kiselev^{1,4} Oleg Aleksandrovich,
37. Kleshchev¹⁴ Konstantin Aleksandrovich, PhD,
38. Klyuchnikov⁷ Yuriy Ivanovich,
39. Klyushin^{3,4} Yaroslav Grigor'yevich, k.f.-m.n.,
40. Knyazhskiy¹ Aleksandr Yur'yevich, PhD,
41. Kravtsov³ Valeriy Fedorovich, PhD,
42. Kobakhidze¹ Nikolay Andreyevich,
43. Kovalev¹³ Aleksey Georgiyevich,
44. Kolesnikova¹² Yuliya Faridovna, k.e.n.
45. Koltakov⁸ Vasiliy Nikolayevich,
46. Konyk Denis Aleksandrovich, PhD-student
47. Koposov³ Artem Vadimovich, PhD-student
48. Kochetov⁴ Aleksandr Yevgen'yevich,
49. Krivoruchko¹ Yuriy Timofeyevich, Dr. of Techn. Sci.,
50. Krivoguzov³ Ivan Aleksandrovich,
51. Kryzhanovskiy³ Georgiy Alekseyevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation, full member (academician) of six academies,
52. Kubyakin¹ Anton Mikhaylovich,
53. Lebedeva³ Natal'ya Aleksandrovna, k.i.n.,
54. Lemeshko² Roman Andreyevich, PhD-student,
55. Lovlin¹ Yuriy Vital'yevich,
56. Lugovoy⁸ Veniamin Gennad'yevich,
57. Makarov⁸ Valeriy Alekseyevich,
58. Malyshev³ Pavel Maksimovich, PhD-student
59. Medvedev¹ Aleksandr Dmitriyevich,
60. Medvedtskaya Beata Leonidovna³, PhD-student
61. Moiseyev^{10,4} Boris Mikhaylovich, PhD,
62. Mursalov¹ Dmitriy Leonidovich, PhD-student
63. Nesterovich¹ Andrey Vladimirovich, PhD-student,
64. Nikolayev³ Aleksandr Kirillovich,
65. Oleksin³ Sergey L'vovich, PhD,
66. Orishchuk¹ Aleksey Aleksandrovich,
67. Pavlova¹ Vera Vladimirovna,
68. Petukhov^{1,4} Sergey Gennad'yevich, Dr. of Techn. Sci.
69. Plavskiy⁴ Sergey Ivanovich,
70. Plyasovskikh¹ Aleksandr Petrovich*, Dr. of Techn. Sci.,
71. Plyasovskikh Galina Alekseyevna,
72. Pototskiy¹ Igor' Dmitriyevich, PhD-student,
73. Prokopov¹ Dmitriy Viktorovich,
74. Prokopovich³ Artemiy Yur'yevich, PhD-student,
75. Sazanov³ Vasiliy Yevgen'yevich, PhD
76. Samoylov³ Vladimir Aleksandrovich, k.p.n.,
77. Sviridenko¹ Dmitriy Ivanovich,
78. Segedin³ Ruslan Adol'fovich, PhD,
79. Sukhoterin¹ Vyacheslav Dmitriyevich, PhD,
80. Tarasenko¹ Aleksandr Vladimirovich,
81. Tayurskiy³ Yevgeniy Sergeevich,
82. Topilin¹, Aleksey Aleksandrovich, PhD,
83. Topilin¹ Vladimir Yur'yevich,
84. Ustimenko⁸ Ivan Mikhaylovich,
85. Fedorov³ Andrey Valer'yevich, k.p.n.
86. Fridman¹ Leonid Borisovich, Dr. of Techn. Sci.
87. Khizhnichenko¹ Aleksandr Yevgen'yevich,
88. Tselinko¹ Oleg Vladimirovich,
89. Chepel¹ Yevgeniy Viktorovich, PhD,
90. Chizhevskiy¹ Vyacheslav Vladimirovich,
91. Shaposhnikov⁶ Aleksandr Viktorovich,
92. Shaydurov³ Ivan Georgiyevich, PhD,
93. Shatrakov¹ Yuriy Grigor'yevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Laureate of the USSR State Prizes and Prizes of the Government of St. Petersburg,
94. Sheyko³ Eduard Viktorovich,
95. Shlyakhov³ Nikita Alekseyevich, PhD-student,
96. Shcherbakov¹ Yegor Sergeevich, PhD-student,
97. Yur'yev¹ Roman Nikolayevich,
98. Yakovlev¹ Aleksandr Mikhaylovich,
99. Yakovlev Andrey Vyacheslavovich, PhD,
100. Yakovlev¹ Viktor Timofeyevich, Dr. of Techn. Sci.

Place of work of the authors:

¹ Joint Stock Company "All-Russian Research Institute of Radio Equipment" (JSC "VNIIRA")

² KOMPLIT Company LLC

³ St. Petersburg State University of Civil Aviation named after Chief Marshal of Aviation A.A. Novikov

⁵ Ulyanovsk Institute of Civil Aviation named after Chief Air Marshal B.P. Bugaeva

⁴ currently retired

⁶ St. Petersburg Polytechnic University of Peter the Great

⁷ NOU DPO Institute of Air Navigation, Russia

⁸ FSUE "State ATM"

⁹ State Unitary Enterprise Center "Uzaeronavigatsia", Uzbekistan

¹⁰ Kostroma State University

¹¹ Severstal Aviation Enterprise LLC

¹² Lipetsk State Pedagogical University S. Tien Shan

¹³ STC LLC

¹⁴ Interstate Aviation Committee (IAC)

* - Corresponding author

Abstract. The paper presents the results of a practical experiment on measuring the observed rate of movement of a moving clock. In accordance with the results of the experiment, the clocks moving towards the observer, according to observations, go faster than the stationary ones, and the clocks moving away from the observer, according to the observations, go slower than the stationary ones. This result contradicts the special theory of relativity (SRT), which requires its own explanation. The experiment was carried out using a monopulse secondary surveillance radar "Aurora-2" manufactured by JSC "VNIIRA".

Key words: inertial frame of reference, observer, relative motion, Doppler effect, measurement of time intervals, clock rate, moving clock, special relativity, SRT, experiment.

REFEREYCES

- [1] Tyapkin, V. N. Metody opredeleniya navigatsionnykh parametrov podvizhnykh sredstv s ispol'zovaniyem sputnikovoy radionavigatsionnoy sistemy GLONASS: monografiya / V. N. Tyapkin, Ye. N. Garin. – Krasnoyarsk: Sib. feder. un-t, 2012. – 260 s. ISBN 978-5-7638-2639-5.
- [2] Ashby, N. Relativity in GNSS. In: Ashtekar, A., Petkov, V. (eds) Springer Handbook of Spacetime. Springer Handbooks. Springer, Berlin, Heidelberg, 2014. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-41992-8_24]
- [3] Fidalgo, J. "LIFELINE: Feasibility Study of Space-Based Relativistic Positioning System / Fidalgo, J., Melis, S., Kosti, U., Delva, P., Mendes, L., Prieto-Cerdeira, R. // " Proceedings of the 34th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2021), St. Louis, Missouri, September 2021, pp. 3979-3989. <https://doi.org/10.33012/2021.18140>
- [4] Global Positioning System: Theory and Application / Edited by B.W. Parkinson, J.J. Spilker Jr. – AIAA, Inc., Washington, vol. 1, 1996.
- [5] Kouba, J. Relativity effects of Galileo passive hydrogen maser satellite clocks. GPS Solut 23, 117 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10291-019-0910-7>
- [6] Mudrak, A. Relativistic Corrections in the European GNSS Galileo / Mudrak, A., De Simone, P. & Lisi, M // Aerotec. MissiliSpaz. 94, 2015. S. 139–144 (2015).
- [7] Understanding GPS: Principles and Applications / Ed. by E. D. Kaplan. Aitech House, Inc., Norwood, Massachusetts, 1996. [<https://doi.org/10.1007/BF03404697>]
- [8] Rukovodstvo po aviatsionnomu nablyudeniyu. IKAO, dokument 9924 AN/474. – 2020. – 429 s.
- [9] Kologrivov, V. N. Effekt Doplera v klassicheskoy fizike: uchebno-metodicheskoye posobiye po kursu Obshchaya fizika. – M.: MFTI, 2012. – 32 s.
- [10] Trofimova T. I. Kurs fiziki: ucheb. posobiye dlya vuzov / Taisiya Ivanovna Trofimova. – 11-ye izd., ster. – M.: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2006. – 560 s. – ISBN 5-7695-2629-7.
- [11] Plyasovskikh A. P. O vozmozhnosti dvizheniya tel so sverkhsvetovoy skorost'yu. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2021. – 152 s. – ISBN 978-620-4-71514-8
- [12] Plyasovskikh A. P. Zakon aberratsii i yego prilozheniya v navigatsii i upravlenii vozdushnym dvizheniyem. – M.: Znaniye-M, 2022. – 70 s. – ISBN 978-5-00187-223-8.
- [13] Plyasovskikh A. P. Teoriya real'nosti, al'ternativnaya spetsial'noy teorii otноситel'nosti // Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i innovatsii. 2021. № 11 [Elektronnyy resurs]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2021/11/97082> (data obrashcheniya: 28.11.2021).
- [14] Plyasovskikh A. P. K voprosu aberratsii pri prodol'nom dvizhenii material'noy tochki otноситel'no nablyudatelya // Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i innovatsii. 2022. № 2 [Elektronnyy resurs]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2022/02/97670> (data obrashcheniya: 10.02.2022).
- [15] Plyasovskikh A. P. O zakone aberratsii // Yestestvennonauchnyy zhurnal «Tochnaya nauka». 2022. № 131. S. 30-42. URL: <https://idpluton.ru/wp-content/uploads/tv131.pdf> (data obrashcheniya: 02.05.2022).
- [16] Eynshhteyn A. K elektrodinamike dvizhushchikhsya tel // Sobr. nauch. tr. – T. 1. – M.: Nauka, 1965. – S. 7-35.
- [17] Eynshhteyn A. O vozmozhnosti novogo dokazatel'stva printsipa otноситel'nosti // Sobr. nauch. tr. – T. 1. – M., Nauka, 1965. – S. 49-50.
- [18] Eynshhteyn A. Printsip otноситel'nosti i yego sledstviya v sovremennoy fizike // Sobr. nauch. tr. – T. 1. – M., Nauka. – 1965. – S. 138-164.
- [19] Eynshhteyn A. O spetsial'noy i obshchey teorii otноситel'nosti // Sobr. nauch. tr. – T. 1. – M., Nauka. – 1965. – S. 530-600.
- [20] Feynmanovskiye lektzii po fizike. T. I (1–2) / Richard Feynman, Robert Leyton, Met'yu Sends; [per. s angl. O. A. Khrustaleva, G. I. Kopylova, A. V. Yefremova]. – M.: Izdatel'stvo AST, 2019. – 448 s.
- [21] Ugarov V. A. Spetsial'naya teoriya otноситel'nosti. M.: Nauka, 1977.

Information about the corresponding author



Alexander Petrovich Plyasovsky

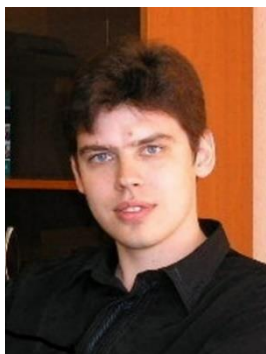
- Place of employment: JSC "Order of the Red Banner of Labor All-Russian Research Institute of Radio Equipment", St. Petersburg, Russia
Academic degree, academic title: Doctor of Technical Sciences
Position: chief designer of the scientific and technical center of air traffic management

E-mail: info@vniira.ru,
al.plyasovskih@yandex.ru

The paper has been received on 10/12/2022.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Информация о некоторых авторах статьи



Винников Артем Юрьевич

E-mail:

artemvin@mail.ru

Место работы: Служба движения аэродромного диспетчерского центра ЕС ОрВД (Кемерово) Кемеровского отделения Кузбасского Центра ОВД филиала «ЗапСибАэронавигация» ФГУП «Госкорпо-

рация по ОрВД».

Ученая степень, ученое звание: аспирант

Должность: старший диспетчер, осуществляющий непосредственное управление воздушным движением.

Специальность по Номенклатуре специальностей научных работников (код ВАК): 05.22.13 Навигация и управление воздушным движением

Основные направления научных исследований: грамматика немецкого языка, когнитивная лингвистика, лингвопрагматика, контрастивная лингвистика, теория межкультурной коммуникации.

Важнейшие публикации:

1. *Винников А. Ю.* Условие безопасного эшелонирования в ситуации «взлет-посадка» // *Advances in Science and Technology: Сборник статей XVIII международной научно-практической конференции, часть II.* Москва: «Научно-издательский центр «Актуальность.РФ», 2019. С. 177-178.

2. *Винников А. Ю.* К вопросу о целесообразности применения вероятностного подхода при решении задач прогнозирования // *Eurasia Science: Сборник статей XIX международной научно-практической конференции.* Москва: «Научно-издательский центр «Актуальность.РФ», 2019. С. 134-136.

3. *Винников А.Ю.* Методологические особенности понятия «расчетная позиция» при выполнении операции «взлет-посадка» // *Российская наука в современном мире: Сборник статей XX международной научно-практической конференции.* Москва: «Научно-издательский центр «Актуальность.РФ», 2019. С. 24-25.

4. *Винников А.Ю.* Основные проблемы при организации взлетно-посадочных операций // *Современные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: Сборник статей VII Международной научно-практической конференции.* – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2019. С. 69-71.

Vinnikov Artem Yurievich

E-mail: artemvin@mail.ru

Place of work: Traffic Service of the Aerodrome Dispatch Center of the EU ATM (Kemerovo) of the Kemerovo branch of the Kuzbass ATS Center of the branch " Air navigation of Western Siberia " of the FSUE "State ATM Corporation".

Academic degree: -

Academic status: graduate student

Post: Senior Air Traffic Controller with Direct Air Traffic Control.

Specialty from nomenclature of scientific specialties (Code of Higher Attestation Commission): 05.22.13 - Navigation and air traffic control

Scientific major: grammar of German, cognitive linguistics, theory of discourse, contrastive linguistics, theory of cross-cultural communication

Important publications:

1. *Vinnikov A. Y.* Condition of safe echelon in the situation "take-off-landing" // *Advances in Science and Technology: Collection of articles of the XVIII International Scientific and Practical Conference, Part II.* Moscow: "Scientific and Publishing Center "Relevance.RF", 2019. P. 177-178.

2. *Vinnikov A. Y.* To the question of the expediency of applying the probabilistic approach in solving forecasting problems // *Eurasia Science: Collection of articles of the XIX International Scientific and Practical Conference.* Moscow: "Scientific and Publishing Center "Relevance.RF", 2019. P. 134-136.

3. *Vinnikov A.Y.* Methodological features of the concept of "calculated position" when performing the operation "take-off-landing" // *Russian Science in the Modern World: Collection of Articles of the XX International Scientific and Practical Conference.* Moscow: "Scientific and Publishing Center "Relevance.RF", 2019. P. 24-25.

4. *Vinnikov A.Y.* The main problems in the organization of take-off and landing operations // *Modern scientific research: actual issues, achievements and innovations: Collection of articles of the VII International Scientific and Practical Conference.* – Penza: ICNS "Science and Enlightenment". – 2019. P. 69-71.



Плясовских Александр Петрович

E-mail:

al.plyasovskih@yandex.ru

Место работы: АО «Ордена Трудового Красного Знамени Всероссийский научно-исследовательский институт радиопаратуры», Санкт-Петербург, Россия

Ученая степень, ученое звание: доктор технических наук

Должность: главный конструктор научно-технического центра организации воздушного движения

Специальность по Номенклатуре специальностей научных работников (код ВАК): 05.22.13 Навигация и управление воздушным движением

Основные направления научных исследований: навигация и управление воздушным движением

Важнейшие публикации:

1. Крыжановский Г.А., Купин В.В., Плясовских А.П. Теория транспортных систем, ФГОУ ВПО "Санкт-Петербургский гос. ун-т гражданской авиации". Санкт-Петербург, 2008.

2. Алешин В.И., Купин В.В., Плясовских А.П. Автоматизация процессов анализа воздушной обстановки и принятия решений диспетчером УВД/ Мехатроника, автоматизация, управление. 2007. № 10. С. 45-48.

3. Ведров А.А., Плясовских А.П. Концепция АС ОРВД пяти измерений/ Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2015. № 222 (12). С. 85-89.

4. Плясовских А.П. Обоснование способа отображения информации на экране воздушной обстановки диспетчера процедурного контроля воздушного движения/ Авиакосмическое приборостроение. 2005. № 10. С. 48-50.

5. Плясовских А. П. О возможности движения тел со сверхсветовой скоростью. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2021. 152 с. ISBN 978-620-4-71514-8

6. Плясовских А. П. Закон аберрации и его приложения в навигации и управлении воздушным движением. - М.: Знание-М, 2022. 70 с. – ISBN 978-5-00187-223-8.

Plyasovskikh Alexander Petrovich

E-mail: al.plyasovskih@yandex.ru

Place of work: JSC "Order of the Red Banner of Labor All-Russian Research Institute of Radio Equipment", St. Petersburg, Russia

Academic degree: Doctor of Technical Sciences

Post: chief designer of the scientific and technical center of air traffic management

Specialty from nomenclature of scientific specialties (Code of Higher Attestation Commission): 05.22.13 Navigation and air traffic control

Scientific major: navigation and air traffic control

Important publications:

1. Kryzhanovsky G.A., Kupin V.V., Plyasovskikh A.P. Theory of Transport Systems, St. Petersburg State University of Civil Aviation. St. Petersburg, 2008.

2. Aleshin V.I., Kupin V.V., Plyasovskikh A.P. Automation of the air situation analysis and decision-making processes by the air traffic controller / Mechatronics, automation, control. 2007. No. 10. S. 45-48.

3. Vedrov A.A., Plyasovskikh A.P. The concept of the AS ATM of five dimensions / Scientific Bulletin of

the Moscow State Technical University of Civil Aviation. 2015. No. 222 (12). pp. 85-89.

4. Plyasovskikh A.P. Substantiation of the method of displaying information on the screen of the air situation of the controller for procedural control of air traffic / Aerospace instrumentation. 2005. No. 10. S. 48-50.

Княжский Александр Юрьевич

E-mail: knjagskij@mail.ru

Место работы: АО «Ордена Трудового Красного Знамени Всероссийский научно-исследовательский институт радиоаппаратуры», Санкт-Петербург, Россия

Ученая степень, ученое звание: кандидат технических наук

Должность: ведущий научный сотрудник

Специальность по Номенклатуре специальностей научных работников (код ВАК): 05.22.13 Навигация и управление воздушным движением

Основные направления научных исследований: навигация и управление воздушным движением, обработка информации

Важнейшие публикации:

1. Knyazhsky A., Nebylov A., Nebylov V. Increase in the aerodynamic quality of ground effect vehicle due to the big waves turning around/ Cybernetics and Physics. 2017. Т. 6. № 2. С. 71-75.

2. Knyazhsky A., Nebylov A., Nebylov V. Optimization of longitudinal and lateral motion of vehicle near disturbed surface/ Cybernetics and Physics. 2018. Т. 7. № 2. С. 72-77.

3. Knyazhsky A., Nebylov A., Nebylov V., Benzerouk H. Control of a group of low-flying vehicles near the wavy sea surface in order to minimize their average altitude/ IFAC-PapersOnLine (см. в книгах). 2018. Т. 51. № 12. С. 69-74.

4. Knyazhsky A.Y., Nebylov A.V. Optimization of 3D motion trajectory of a non-displacement marine vehicle near the sea surface according to the criterion of minimum mean geometric altitude/ 25th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, ICINS 2018 - Proceedings 25. 2018. С. 1-3.

5. Nebylov A., Nebylov V., Knyazhsky A. Metrology problems of wig-craft motion control/ 5th IEEE International Workshop on Metrology for AeroSpace, MetroAeroSpace 2018 - Proceedings 5. 2018. С. 424-429

Knjazhsky Alexander Jurievich

E-mail: knjagskij@mail.ru

Place of work: JSC "Order of the Red Banner of Labor All-Russian Research Institute of Radio Equipment", St. Petersburg, Russia

Academic degree: candidate of technical sciences

Post: Leading Researcher

Specialty from nomenclature of scientific specialties (Code of Higher Attestation Commission): 05.22.13 Navigation and air traffic control

Scientific major: navigation and air traffic control, information processing

Important publications:

1. Knyazhsky A., Nebylov A., Nebylov V. Increase in the aerodynamic quality of ground effect vehicle due to the big waves turning around/ Cybernetics and Physics. 2017. V. 6. No. 2. S. 71-75.

2. Knyazhsky A., Nebylov A., Nebylov V. Optimization of longitudinal and lateral motion of vehicle near disturbed surface/ Cybernetics and Physics. 2018. V. 7. No. 2. S. 72-77.

3. Knyazhsky A., Nebylov A., Nebylov V., Benzerouk H. Control of a group of low-flying vehicles near the waded sea surface in order to minimize their average altitude/ IFAC-PapersOnLine (see books). 2018. V. 51. No. 12. S. 69-74.

4. Knyazhsky A.Y., Nebylov A.V. Optimization of 3D motion trajectory of a non-displacement marine vehicle near the sea surface according to the criterion of minimum mean geometric altitude/ 25th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, ICINS 2018 - Proceedings 25. 2018. P. 1-3.

5. Nebylov A., Nebylov V., Knyazhsky A. Metrology problems of wig-craft motion control/ 5th IEEE International Workshop on Metrology for AeroSpace, MetroAeroSpace 2018 - Proceedings 5. 2018. P. 424-429

Криворучко Юрий Тимофеевич

E-mail: info@vniira.ru

Место работы: АО «Ордена Трудового Красного Знамени Всероссийский научно-исследовательский институт радиоаппаратуры», Санкт-Петербург, Россия

Ученая степень, ученое звание: доктор технических наук

Должность: Главный конструктор

Специальность по Номенклатуре специальностей научных работников (код ВАК): 05.12.14 Радиолокация и радионавигация

Основные направления научных исследований: радиолокация и радионавигация

Важнейшие публикации:

1. Проблемы развития перспективных средств инструментального захода на посадку воздушных судов / В. П. Жихарев, Л. К. Зазерский, Г. А. Ершов [и др.] // Радиопромышленность. – 2015. – № 4. – С. 107-118. – EDN VIOMMR.

2. Проблемы разработки и внедрения перспективных средств инструментального захода на посадку воздушных судов / Г. А. Ершов, В. П. Жихарев, Л. К. Зазерский [и др.] // Инновационные технологии и технические средства специального назначения : Труды VIII общероссийской научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 19–20 ноября 2015 года. – Санкт-Петербург: Балтийский государственный технический университет "Военмех", 2016. – С. 146-152. – EDN WLLVMR.

3. Криворучко, Ю. Т. Методология модернизации специализированной бортовой ЦВМ ближней навигации и посадки для высокоманевренных летательных аппаратов / Ю. Т. Криворучко, Ю. Н. Музелин, В. А. Синицын // Инновационные технологии и технические средства специального назначения : Труды VIII общероссийской научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 19–20 ноября 2015 года. – Санкт-Петербург: Балтийский государственный технический университет "Военмех", 2016. – С. 187-194. – EDN UFDIAS.

4. Радиомаячная система инструментального захода воздушных судов на посадку категории II для работы в дециметровом отечественном и международном диапазонах волн ПРМГ-ОМД / Г. А. Ершов, В. М. Король, Ю. Т. Криворучко [и др.] // Новости навигации. – 2017. – № 1. – С. 16-19. – EDN YUFAOV.

Krivoruchko Yury Timofeevich

E-mail: info@vniira.ru

Place of work: JSC "Order of the Red Banner of Labor All-Russian Research Institute of Radio Equipment", St. Petersburg, Russia

Academic degree: Doctor of Technical Sciences

Post: Chief designer

Specialty from nomenclature of scientific specialties (Code of Higher Attestation Commission): 05.12.14 Radar and radio navigation

Scientific major: radar and radio navigation

Important publications:

1. Problems of development of promising means of instrumental approach for aircraft landing / V. P. Zhikharev, L. K. Zazersky, G. A. Ershov [et al.] // Radio industry. - 2015. - No. 4. - P. 107-118. – EDN VIOMMR.

2. Problems of development and implementation of promising means of instrumental approach for aircraft landing / G. A. Ershov, V. P. Zhikharev, L. K. Zazersky [et al.] // Innovative technologies and special-purpose technical means: Proceedings of the VIII All-Russian Scientific and technical conference, St. Petersburg, November 19–20, 2015. - St. Petersburg: Baltic State Technical University "Voenmeh", 2016. - P. 146-152. – EDN WLLVMR.

3. Krivoruchko, Yu. T. Methodology for the modernization of a specialized on-board computer for short-range navigation and landing for highly maneuverable aircraft / Yu. T. Krivoruchko, Yu. scientific and technical conference, St. Petersburg, November 19–20, 2015. - St. Petersburg: Baltic State Technical University "Voenmeh", 2016. - P. 187-194. – EDN UFDIAS.

4. Radio beacon system of instrumental approach of aircrafts for landing of category II for operation in decimeter domestic and international wave bands PRMG-OMD / G. A. Ershov, V. M. Korol, Yu. T. Krivoruchko [et al.] // Navigation News. - 2017. - No. 1. - P. 16-19. – EDN YUFAOV.



**Крыжановский Георгий
Алексеевич**
E-mail: info@spbguga.ru

Место работы: Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации, Санкт-Петербург, Россия

Ученая степень, ученое звание: доктор технических наук,

профессор

Должность: профессор

Специальность по Номенклатуре специальностей научных работников (код ВАК): 05.22.13 Навигация и управление воздушным движением

Основные направления научных исследований: навигация и управление воздушным движением, обработка информации

Важнейшие публикации:

1. Крыжановский, Г. А. Методология процессов принятия решений при управлении транспортными системами / Г. А. Крыжановский // Наука и техника транспорта. – 2003. – № 2. – С. 73-81. – EDN HVEYFN.

2. Крыжановский, Г. А. Проблемы моделирования и обратные задачи оптимизации процессов деятельности, профессиональной подготовки и повышения квалификации операторов авиатранспортных систем / Г. А. Крыжановский, В. А. Солодухин // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2008. – № 11. – С. 53-54. – EDN IWAQXT.

3. Крыжановский, Г. А. Проблемы моделирования и обратные задачи оптимизации процессов деятельности, профессиональной подготовки и повышения квалификации операторов авиатранспортных систем / Г. А. Крыжановский, В. А. Солодухин // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2008. – № 11. – С. 2-5. – EDN JVP ELJ.

4. Kryzhanovskij, G. A. On professional training of dispatchers for computerized systems of air traffic control / G. A. Kryzhanovskij, Yu. F. Tseplyaev // Avtomatika i telemekhanika. – 1994. – No 6. – P. 140-153. – EDN KSZBUZ.

Kryzhanovskiy George Alekseevich

E-mail: info@spbguga.ru

Place of work: St. Petersburg State University of Civil Aviation, St. Petersburg, Russia

Academic degree: Doctor of Technical Sciences, Professor

Post: Professor

Specialty from nomenclature of scientific specialties (Code of Higher Attestation Commission): 05.22.13 Navigation and air traffic control

Scientific major: navigation and air traffic control, information processing

Important publications:

Kryzhanovskiy, G. A. Methodology of decision-making processes in the management of transport systems / G. A. Kryzhanovskiy // Science and technology of transport. – 2003. – No. 2. – S. 73-81. – EDN HVEYFN.

Kryzhanovskiy, G. A. Problems of modeling and inverse problems of optimizing the processes of activity, professional training and advanced training of operators of air transport systems / G. A. Kryzhanovskiy, V. A. Solodukhin // Mechatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. – 2008. – No. 11. – S. 53-54. – EDN IWAQXT.

Kryzhanovskiy, G. A. Problems of modeling and inverse problems of optimizing the processes of activity, professional training and advanced training of operators of air transport systems / G. A. Kryzhanovskiy, V. A. Solodukhin // Mechatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. – 2008. – No. 11. – P. 2-5. – EDN JVP ELJ.

Kryzhanovskij, G. A. On professional training of dispatchers for computerized systems of air traffic control / G. A. Kryzhanovskij, Yu. F. Tseplyaev // Avtomatika i telemekhanika. – 1994. – No 6. – P. 140-153. – EDN KSZBUZ.

Луговой Вениамин Геннадьевич

E-mail: veniamin_lugovoi@mail.ru

Место работы: Аэроузловой диспетчерский центра ЕС ОрВД (Санкт-Петербург), филиал «Аэронавигация Северо-Запада» ФГУП «Госкорпорация по ОрВД», г. Санкт-Петербург.

Ученая степень, ученое звание: нет

Должность: Начальник аэроузловой диспетчерского центра ЕС ОрВД

Специальность по Номенклатуре специальностей научных работников (код ВАК): нет

Основные направления исследований: структура воздушного пространства, процедуры и методы управления воздушным движением, автоматизация процессов управления воздушным движением.

Важнейшие публикации:

1. Луговой В. Г. Разработка критериев поддержания оптимальной загруженности траекторий задержки, при использовании системы POINT MERGE / В. Г. Луговой // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. – 2020, № 3 (28). – С. 45-58.

2. Луговой В. Г. Применение процедуры Point Merge в условиях неравномерного распределения потоков прибывающих воздушных судов / В. Г. Луговой // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. – 2017, № 4 (17). – С. 25-37.

Lugovoi Veniamin Gennadievich

E-mail: veniamin_lugovoi@mail.ru

Place of work: Terminal air traffic control center (Saint-Petersburg), Branch Air Navigation of the North-West, State ATM Corporation in the Russian Federation

Academic degree: none

Post: Chief of Terminal ATC center (Saint-Petersburg)

Scientific major: airspace structure, air traffic control procedures and methods, air traffic management process automatization.

Important Publications:

1. *Lugovoi V.G.* Criteria for creation optimal delay legs loading in Point Merge system. Vestnik SPBGU GA. 2020. №3. Pp. 45-58. (In Russian).

2. *Lugovoi V.G.* Point merge procedure performance during unsteady arriving traffic flow distribution situation. Vestnik SPBGU GA. 2017. №4. Pp. 25-37. (In Russian).



Шатраков Юрий Григорьевич
E-mail: 190801@mail.ru

Место работы: АО «Ордена Трудового Красного Знамени Всероссийский научно-исследовательский институт радиопаратуры», Санкт-Петербург, Россия

Ученая степень, ученое звание: доктор технических наук

Должность: ученый секретарь

Специальность по Номенклатуре специальностей научных работников (код ВАК): 05.22.13 Навигация и управление воздушным движением

Основные направления научных исследований: навигация и управление воздушным движением, обработка информации

Важнейшие публикации:

1. Functional Tasks of Integrated Airborne Avionics / I. V. Avtin, V. I. Baburov, B. V. Ponomarenko, Y. G. Shatrakov // Springer Aerospace Technology. – 2021. – P. 103-172. – DOI 10.1007/978-981-16-0897-1_3. – EDN GDOTYI.

2. Formation of Solutions for Optimizing the Activities of the Landing Zone Officer (Landing Dispatcher) / A. V. Yakovlev, A. S. Istomin, D. A. Zatuchny, Y. G. Shatrakov // Springer Aerospace Technology. – 2021. – P. 105-143. – DOI 10.1007/978-981-16-1059-2_5. – EDN UBFGLU.

3. Quality Enhancement of Data Transmission via Civil Aircraft Communication Systems by Proper Use of Communication Resources / D. A. Zatuchny, R. N. Akinshin, N. I. Romancheva [et al.] // Springer Aerospace Technology. – 2021. – P. 109-122. – DOI 10.1007/978-981-16-0630-4_4. – EDN SUNMIP.

4. Spherical Near-Field Antenna Measurements / V. S. Kalashnikov, M. Y. Ponomarev, O. Y. Platonov [et al.] // Springer Aerospace Technology. – 2021. – P. 119-137. – DOI 10.1007/978-981-33-6436-3_5. – EDN JBRYXG.

Shatrakov Yuri Grigoryevich

E-mail: 190801@mail.ru

Place of work: JSC "Order of the Red Banner of Labor All-Russian Research Institute of Radio Equipment", St. Petersburg, Russia

Academic degree: Doctor of Technical Sciences

Post: scientific secretary

Specialty from nomenclature of scientific specialties (Code of Higher Attestation Commission): 05.22.13 Navigation and air traffic control

Scientific major: navigation and air traffic control, information processing

Important publications:

1. Functional Tasks of Integrated Airborne Avionics / I. V. Avtin, V. I. Baburov, B. V. Ponomarenko, Y. G. Shatrakov // Springer Aerospace Technology. – 2021. – P. 103-172. – DOI 10.1007/978-981-16-0897-1_3. – EDN GDOTYI.

2. Formation of Solutions for Optimizing the Activities of the Landing Zone Officer (Landing Dispatcher) / A. V. Yakovlev, A. S. Istomin, D. A. Zatuchny, Y. G. Shatrakov // Springer Aerospace Technology. – 2021. – P. 105-143. – DOI 10.1007/978-981-16-1059-2_5. – EDN UBFGLU.

3. Quality Enhancement of Data Transmission via Civil Aircraft Communication Systems by Proper Use of Communication Resources / D. A. Zatuchny, R. N. Akinshin, N. I. Romancheva [et al.] // Springer Aerospace Technology. – 2021. – P. 109-122. – DOI 10.1007/978-981-16-0630-4_4. – EDN SUNMIP.

4. Spherical Near-Field Antenna Measurements / V. S. Kalashnikov, M. Y. Ponomarev, O. Y. Platonov [et al.] // Springer Aerospace Technology. – 2021. – P. 119-137. – DOI 10.1007/978-981-33-6436-3_5. – EDN JBRYXG.



Верховец Михаил Наильевич

E-mail: Verhovec-mihail@mail.ru

Место работы: Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации, Санкт-Петербург, Россия.

Должность: аспирант, старший преподаватель кафедры 25 «Управление воздушным движением»

Специальность по Номенклатуре специальностей научных работников (код ВАК): 05.22.13 – аэронавигация и управление воздушным движением

Основные направления научных исследований: проблемы безопасности полетов при аэронавигационном обслуживании воздушного движения, автоматизация процессов УВД.

Важнейшие публикации:

1. *Плясовских А.П., Верховец М.Н.* К вопросу разработки автоматизированной системы мониторинга безопасности воздушного движения в районе аэродрома // Вестник Санкт-Петербургского

государственного университета гражданской авиации. 2022. № 1. С. 46-57.

2. *Верховец М.Н., Шейко Э.В., Новичихин А.Д.* К вопросу повышения уровня безопасности полетов в авиации общего назначения РФ // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. 2021 №4. С. 27-33.

3. *Плясовских А.П., Верховец М.Н., Джанабаев А.М.* К вопросу разработки автоматизированной системы мониторинга безопасности воздушного движения в Республике Узбекистан // Проблемы безопасности полетов. 2022. № 4. С. 19-23. DOI: 10.36535/0235-5000-2022-04-2

4. *Верховец М.Н., Климова Е.И.* Функционирование системы управления безопасностью полетов при аэронавигационном обслуживании полетов // Проблемы безопасности полетов. 2021. № 4. С. 9-13. DOI: 10.36535-5000-2021-04-2

Verkhovets Mikhail Nailevitch

E-mail: verhovets-mihail@mail.ru

Place of work: St. Petersburg State University of Civil Aviation, Saint-Petersburg, Russia

Academic status: postgraduate student, senior lecturer of the Department 25 "Air Traffic Control"

Specialty from nomenclature of scientific specialties (Code of Higher Attestation

Commission): 05.22.13 – air navigation and air traffic control

Scientific major: problems of flight safety in aeronautical maintenance of air traffic, automation of ATC processes.

Important publications:

1. *Plyasovskikh A.P., Verkhovets M.N.* On the development of an automated system for monitoring air traffic safety in the airfield area // Bulletin of the St. Petersburg State University of Civil Aviation. 2022. No. 1. pp. 46-57. (In Russian)

2. *Verkhovets M.N., Sheiko E.V., Novichikhin A.D.* On the issue of improving flight safety in general aviation of the Russian Federation // Bulletin of the St. Petersburg State University of Civil Aviation. 2021 No.4. pp. 27-33. (In Russian)

3. *Plyasovskikh A.P., Verkhovets M.N., Dzhanaabaev A.M.* On the issue of developing an automated system for monitoring air traffic safety in the Republic of Uzbekistan // Problems of flight safety. 2022. No. 4. pp. 19-23. DOI: 10.36535/0235-5000-2022-04-2 (In Russian)

4. *Verkhovets M.N., Klimova E.I.* Functioning of the flight safety management system in aeronautical flight maintenance // Problems of flight safety. 2021. No. 4. pp. 9-13. DOI: 10.36535-5000-2021-04-2 (In Russian)



Давиденко Владислав Юрьевич

E-mail:

david01521@mail.ru

Место работы: ФГУП «Госкорпорация по ОрВД» филиал «Аэронавигация Северо-Запада»

Ученая степень, ученое звание: аспирант

Должность: диспетчер ОНУВД регионального центра ЕС ОрВД

Специальность по Номенклатуре специальностей научных работников (код ВАК): 05.22.13 Навигация и управление воздушным движением

Основные направления научных исследований: системы наблюдения, АЗН-В, безопасность полетов, управление воздушным движением, спутниковые системы навигации.

Davidenko Vladislav Yurievich

E-mail: david01521@mail.ru

Place of work: State ATM Corporation, North-West air navigation

Academic degree: postgraduate

Post: Air traffic controller, North-West air navigation

Specialty from nomenclature of scientific specialties (Code of Higher Attestation

Commission): 05.22.13 navigation and ATM

Scientific major: surveillance, ADS-B, flight safety, Air traffic management, global navigation systems

Затонский Виктор Максимович

E-mail: Затонский В.М. zatonsky_vm@list.ru

Ученая степень, ученое звание: кандидат технических наук, доцент.

Специальность по Номенклатуре специальностей научных работников (код ВАК): 05.22.13 Навигация и управление воздушным движением

Основные направления научных исследований: навигация и управление воздушным движением.

Важнейшие публикации:

1. Затонский В. М. и др. Управление воздушным движением. Учебник для средних специальных учебных заведений гражданской авиации. М.: Транспорт, 1989. 327 с.

2. Затонский В. М. Технология управления воздушным движением при возникновении потенциально конфликтных ситуаций. Учебное пособие. СПб: ГУГА, 2007.

3. Григорьев С. В., Затонский В. М. Управление скоростями воздушных судов для создания безопасных интервалов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. 2022 №3(36). С. 107-117.



Клещёв Константин Александрович
Заместитель Председателя Межгосударственного авиационного комитета (МАК) — Председатель Комиссии по международным программам организации воздушного движения и использованию воздушного пространства.

Заместитель начальника Управления государственного регулирования использования воздушного пространства Министерства обороны Российской Федерации (2006 — 2008). **Присвоено Общественное звание «Почётный Аэронавигатор».**



Нестерович Андрей Владимирович
E-mail: nan1010@yandex.ru

Место работы: Акционерное общество «Ордена Трудового Красного Знамени Всероссийский научно-исследовательский институт радиоаппаратуры» (АО ВНИИРА), г. Санкт-Петербург, Россия

Аспирант

Должность: ведущий инженер

Специальность по Номенклатуре специальностей научных работников (код ВАК): 2.2.16 – Радиолокация и радионавигация

Основные направления научных исследований: Разработка и исследование методов и алгоритмов комплексной обработки сигналов и информации радиолокационных, радионавигационных, радиосвязных систем управления и других систем.

Nesterovich Andrey Vladimirovich

E-mail: nan1010@yandex.ru

Place of work: «Russian Scientific Research Institute of Radio Equipment», St. Petersburg, Russia

Graduate student

Post: Engineer

Specialty from nomenclature of scientific specialties (Code of Higher Attestation Commission): 2.2.16 – Radar and radionavigation

Scientific major.



Каверзнев Евгений Геннадьевич
e-mail: evg.kaverznev@mail.ru
Диспетчер-инструктор РДЦ филиала «МЦ АУВД»



Копосов Артем Вадимович,
e-mail: a.kop33@mail.ru
аспирант СПбГУГА



Иван Александрович Кривогузов
e-mail: Krivoguzov78@yandex.ru
Авиадиспетчер, руководитель группы инструкторов – старший инструктор, Государственный университет гражданской авиации, Региональный Диспетчерский центр.



Лемешко Роман Андреевич
E-mail: rom.lemeshko@yandex.ru
Место работы: ООО «Компания КОМПЛИТ»



Медведцкая Беата Леонидовна
E-mail: 79098701396@mail.ru
Диспетчер ОНУВД Шереметьевского центра ОВД филиала «МЦ АУВД» ФГУП «Госкорпорация по ОрВД» г. Москва



Горлова Анна Андреевна,
E-mail: kehiyor455@haikido.com
аспирант, пилот-инструктор ВС ЛО ФГБОУ ВО УИГА



Джанабаев Александр Мэлсович
Государственное унитарное предприятие Центр «Узэроавиация», Узбекистан

**Кобахидзе Николай
Андреевич,**

Место работы: АО
«Ордена Трудового Крас-
ного Знамени Всероссийс-
кий научно-исследова-
тельский институт радио-
аппаратуры», Санкт-Пе-
тербург, Россия.

Должность: инженер-про-
граммист третьей катего-
рии.

E-mail:

nikolay.kobahidze@gmail.com



**Макаров Валерий
Алексеевич**

makarus-v@yandex.ru

Диспетчер ОН УВД СД
РДЦ Регионального
Центра ЕС ОрВД
Новосибирского филиала
"ЗапСибэронавигация"
ФГУП "Госкорпорация по
ОрВД"».



**Шайдуров Иван
Георгиевич**

И. о. заведующего
кафедрой №22 «Организа-
ции и управления в транс-
портных системах, Санкт-
Петербургский государст-
венный университет граж-
данской авиации

Кандидат технических
наук, доцент

Действительный член
Российской академии
транспорта.



**Шапошников
Александр Викторович,**

Санкт-петербургский
политехнический
университет Петра
Великого

e-mail:

fund_physics@myrambler.ru