

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Свидетельство о регистрации  
ПИ № ФС77-64098  
от 18 декабря 2015 г.

Учредитель – Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

Московской области «Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова» (141074, Московская область, г. Королев, ул. Гагарина, д. 42)  
Издается с сентября 2014 г.

Выходит 4 раза в год

ISSN 2409-1650

Журнал «Информационно-технологический вестник» включён в Перечень ведущих периодических изданий ВАК

Группы научных специальностей и научные специальности в рамках групп научных специальностей, по которым издание входит в Перечень\*:

2. Технические науки; 2.2. Электроника, фотоника, приборостроение и связь; 2.3. Информационные технологии и телекоммуникации [2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации; 2.3.5. Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей], \*(не входит в Перечень ВАК);  
2.5. Машиностроение [2.5.13. Проектирование конструкции и производство летательных аппаратов], \*(входит в Перечень ВАК);  
2.6. Химические технологии, науки о материалах, металлургия; [2.6.17. Материаловедение] \*(входит в Перечень ВАК)

Подписной индекс в каталоге «Почта России» ПП997

Главный редактор  
**Артюшенко Владимир Михайлович**,  
д.т.н., профессор

Над выпуском работали  
Паршина Ю.С.  
Пирогова Е.В.  
Багдасарян А.А.  
Харитонов А.А.

Адрес редакции:  
141070, Королев,  
Ул. Октябрьская, 10а  
Тел. (495)543-34-31 (доб.138),  
E-mail: rio-kimes@mail.ru,  
Site: www.unitech-mo.ru

Редакция не несет ответственности за достоверность информации в материалах, в том числе рекламных, представленных авторами для публикации  
Материалы приводятся в авторской редакции.

## СОДЕРЖАНИЕ

### *СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ*

Артюшенко В.М., Строганова С.М.  
**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ В БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ УСТРОЙСТВ МАЛОГО РАДИУСА ДЕЙСТВИЯ.....3**

Стреналюк Ю.В., Леандров И.Н.  
**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ, ПОВЫШЕНИЕ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПУТЁМ ВНЕДРЕНИЯ ПРИНЦИПОВ И КОМПОНЕНТОВ ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМОЙ СЕТИ (ЧАСТЬ 2).....14**

Шайтура С.В., Князева М.Д., Швед Е.В., Неделькин А.А., Шайтура Н.С.  
**ТЕХНОЛОГИИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО СЕРВИСА.....26**

### *МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ*

Виноградов Д.Ю.  
**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ КРАТНЫХ СОЛНЕЧНО-СИНХРОННЫХ ОРБИТ ПОЛНОГО ПОКРЫТИЯ ЭКВАТОРА ПОЛОСАМИ ОБЗОРА БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА.....53**

Истратова Е.Е., Глинин Е.В.  
**РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ИЗДЕЛИЯ ПО ДАННЫМ ТЕНЗОМЕТРИИ.....66**

Строганова С.М., Шумилин М.П.  
**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ МНОГОЛУЧЕВОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОСИГНАЛА В БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ УСТРОЙСТВ МАЛОГО РАДИУСА ДЕЙСТВИЯ.....77**

### *ПРОЕКТИРОВАНИЕ, КОНСТРУКЦИЯ И ПРОИЗВОДСТВО ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ*

Бычков А.Д., Ковалёв И.И.  
**ЛУННАЯ ПИЛОТИРУЕМАЯ ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОКОЛОЗЕМНОЙ ОРБИТАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ.....89**

Ваннусов Д.А., Семенов А.Б., Аббасова Т.С.  
**ФАКТОР НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРУКТУРИРОВАННЫХ КАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ НАЗЕМНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ КОСМОДРОМА.....106**

#### РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

1. Барканов Е.Н., Dr.sc.ing.
2. Васильев Н.А., д.т.н., профессор
3. Леоненко Д.В., д.ф.-м.н., профессор
4. Тимофеев А.Н., д.т.н., профессор

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

1. Аббасов Э.М., к.т.н.
2. Аббасова Т.С., к.т.н., доцент
3. Бухаров С.В., д.т.н., профессор
4. Бершадский В.А., д.т.н., профессор кафедры
5. Воловач В.И., д.т.н., профессор
6. Кучеров Б.А., к.т.н.
7. Логачев И.А., к.т.н.
8. Логачева А.И., д.т.н., профессор
9. Макаров М.И., д.т.н., профессор
10. Матвиенко Ю.Г., д.т.н., профессор
11. Мороз А.П., д.т.н., профессор
12. Мосалов О.П., к.ф.-м.н.
13. Разумовский И.М., д.ф.-м.н., профессор
14. Рудаков В.Б., д.т.н., профессор
15. Самаров Е.К., д.т.н., доцент
16. Скрябин М.Л., к.т.н.
17. Соляной В.Н., к.т.н.
18. Стрналлок Ю.В., д.т.н., профессор
19. Халиулин В.И., д.т.н., профессор
20. Чесноков А.В., д.т.н.
21. Щурин К.В., д.т.н., профессор

Подписано в печать 16.12.2022

Формат В5

Печать офсетная. Усл.печ.л. 11,0

Тираж 500 экз.

Заказ № 91-08

Отпечатано в типографии  
ООО «Научный консультант»  
г. Москва

Хорошевское шоссе, 35, корп. 2

Меньшикова Л.В., Найденова Д.М.

**МОНИТОРИНГ РАДИОЧАСТОТНОГО СПЕКТРА  
СЕТИ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ, ОХВАТЫВАЮЩЕЙ  
ВСЮ ТЕРРИТОРИЮ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ:  
ОСОБЕННОСТИ ПРАКТИКИ ТЕРРИТОРИАЛЬНО  
РАСПРЕДЕЛЕННОГО РЕШЕНИЯ.....119**

Мороз А.П., Герасимов В.А.

**СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ С ЗОНДА  
ИЗ ДАЛЬНЕГО КОСМОСА НА ЗЕМЛЮ.....136**

#### МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Антипова Т.Н., Бабкин Д.С.

**РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ  
МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ  
МЕТАЛЛОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ  
МАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВАКУУМНОГО  
ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ.....147**

Олейник А.Ю.

**ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
МОДИФИЦИРОВАННЫХ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ  
В УСЛОВИЯХ МОРСКОЙ АТМОСФЕРЫ.....156**

Скрябин М.Л.

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУР РАСПЛАВА И СКОРОСТИ  
КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НА НАЛИЧИЕ КАМНЕВИДНОГО  
ИЗЛОМА И МИКРОСТРУКТУРУ СТАЛИ 35ХГСЛ.....165**

УДК 621.31

**Системный анализ оптимального размещения в беспроводной сети устройств малого радиуса действия**

**В.М. Артюшенко**, доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой информационные технологии и управляющие системы,

**С.М. Строганова**, старший преподаватель кафедры  
«Информационные технологии и управляющие системы»,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области

«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза,  
летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

*В рамках системного подхода проводится оценка оптимального размещения ведущих устройств малого радиуса действия при развертывании беспроводной сети внутри закрытых помещений.*

Беспроводные устройства малого радиуса действия, функционал критерия оптимизации, системный подход.

**System analysis of optimal placement of short-range devices in a wireless network**

**V.M. Artyushenko**, doctor of Technical Sciences, Professor,  
head of the Department of information technologies and control systems,

**S.M. Stroganova**, senior teacher of information technology  
and management systems department,

State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Moscow Region  
«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union,  
pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

*As part of the system approach, an assessment is made of the optimal placement of small-range leading devices when deploying a wireless network inside enclosed spaces.*

Wireless devices of short range, optimization criteria functionality, system approach.

Технологии, использующиеся в беспроводных устройствах передачи цифровых данных обладают рядом преимуществ по сравнению с проводными каналами: экономическая целесообразность, определяемая снижением издержек на оборудование, эксплуатационные расходы, мобильность и масштабируемость решений, а также достоинства в вопросах надежности и безопасности [2]. Однако ограниченности частотного ресурса, ведущего к увеличению взаимных помех между радиоэлектронными устройствами, размещенных с большой плотностью, в условиях интенсивного внешнего воздействия, определяют необходимость со-

вершенствования методов и средств повышения эффективности в функционировании УМРД (устройств малого радиуса действия) [3; 4]. В этой связи актуальной задачей в рамках системного подхода является определение оптимального размещения ведущих устройств малого радиуса действия, располагающихся внутри закрытых помещений.

Радиоволны, которые используются для беспроводной связи, отражаясь множество раз от земной поверхности и окружающих объектов, распространяются в основном по прямой линии и не огибают препятствия [3; 4]. Поэтому уровень сигнала интенсивно убывает с изменением расстояния. Это следствие многолучевого распространения волн. Также известны такие проблемы как зависание и искажение сигнала при многолучевом распространении радиоволн, также в зависимости от расстояния.

Ведущее передающее устройство – антенна, обычно располагается в зоне прямой видимости в модели пикосети УМРД [2]. Иногда может быть использовано переотражение сигнала на трассе от нескольких антенн, многолучевое распространение. На рисунке 1 показана модель трассы, которая может изменяться случайным образом как при перемещении самих УМРД, так и окружающих предметов.



Рисунок 1 – Модель многолучевого распространения радиоволн [4]

При распространении радиоволн вдоль трассы как правило рассматривают следующие эффекты: эффект замирания, экранирования и потери энергии волной при распространении. Эти эффекты могут быть описаны через замирание огибающей [3; 4]. Для пикосетей также принято различать модели распространения радиоволн внутри помещений и в открытом пространстве.

Рассмотрим модель пятилучевой аппроксимации, когда устройства малого радиуса действия располагаются в закрытом помещении, высота стен которого соизмерима с радиус действия УМРД. При этом учитывается отражение волн от потолка, стен и других предметов внутри помещения. Схема представлена на рисунке 2. Для упрощения будем считать, что лучи отражаются от пола, потолка

и двух стен. Пути распространения радиоволн в этом случае можно определить следующим образом:

$$L = \sqrt{(k_1 - k_2)^2 + L_2^2};$$

$$L = \sqrt{(k_1 - k_2)^2 + L_2^2};$$

$$r_1 = \sqrt{(h_1 - h_2)^2 + L_2^2};$$

$$r_2 = \sqrt{(k_1 - k_2)^2 + L_2^2};$$

$$r_3 = \sqrt{(2H - h_1 - h_2)^2 + L_2^2};$$

$$k = \sqrt{(h_1 - h_2)^2 + L_2^2};$$

$$r_4 = \sqrt{(2B - k_1 - k_2)^2 + B};$$

$$r_5 = \sqrt{(k_1 + k_2)^2 + B}.$$

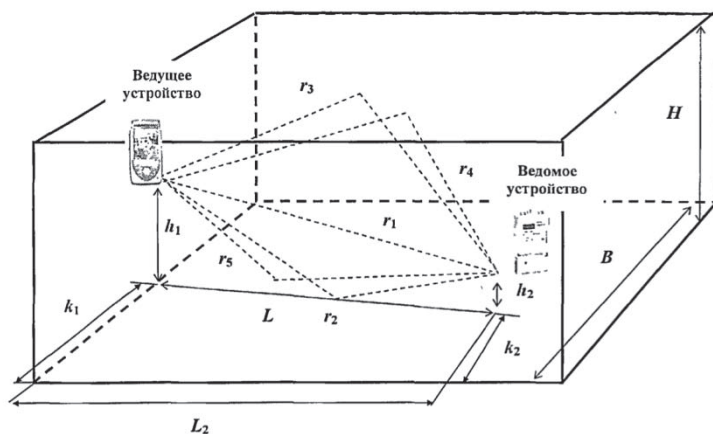


Рисунок 2 – Схема пятилучевая аппроксимация распространения волн

Обозначения параметров помещения, принятые на рисунке 1, приводятся в таблице.

Таблица – Принятые условные обозначения на рисунке 1

Наименование	Условное обозначение
$H$	высота помещения
$B$	ширина помещения
$h_1$	высота расположения ведущего устройства
$h_2$	высота расположения ведомого устройства
$k_1$	расстояние от боковой стены до ведущего устройства
$k_2$	расстояние от боковой стены до ведомого устройства
$L_2$	расстояние от стены, на которой расположено ведущее устройство, до ведомого
$L$	расстояние между ведущим и ведомым устройством
$r_1$	прямой путь распространения
$r_2$	путь распространения волны, отраженной от пола
$r_3$	путь распространения волны, отраженной от потолка
$r_4$	путь распространения волны, отраженной от задней стены
$r_5$	путь распространения волны, отраженной от передней стены

Для параметра  $L$  можно записать следующие выражения:

$$L = \sqrt{(k_1 - k_2)^2 + L_2^2};$$

$$r_1 = \sqrt{(h_1 - h_2)^2 + L_2^2};$$

$$r_2 = \sqrt{(k_1 - k_2)^2 + L_2^2};$$

$$r_3 = \sqrt{(2H - h_1 - h_2)^2 + L_2^2};$$

$$r_4 = \sqrt{(h_1 - h_2)^2 + L_2^2};$$

$$r_4 = \sqrt{(2B - k_1 - k_2)^2 + B};$$

$$r_5 = \sqrt{(k_1 + k_2)^2 + B}.$$

Пусть разности определяются как:

$$\Delta r_2 = r_2 - r_1;$$

$$\Delta r_3 = r_3 - r_1;$$

$$\Delta r_4 = r_4 - r_1;$$

$$\Delta r_5 = r_5 - r_1;$$

Результирующая напряженность поля в точке приемника определяется следующей суммой:

$$\dot{E}_c = \dot{E}_{\text{пр}} + \dot{E}_{\text{отр2}} + \dot{E}_{\text{отр3}} + \dot{E}_{\text{отр4}} + \dot{E}_{\text{отр5}}$$

По аналогии с (22) и (23) комплексный множитель ослабления:

$$\dot{W} = 1 + \frac{r_1}{r_2} \dot{F}_2 \exp \left[ -j \left( \frac{2\pi}{\lambda} \right) \Delta r_2 \right] + \frac{r_1}{r_3} \dot{F}_3 \exp \left[ -j \left( \frac{2\pi}{\lambda} \right) \Delta r_3 \right] + \frac{r_1}{r_4} \dot{F}_4 \exp \left[ -j \left( \frac{2\pi}{\lambda} \right) \Delta r_4 \right] + 1 + \frac{r_1}{r_5} \dot{F}_5 \exp \left[ -j \left( \frac{2\pi}{\lambda} \right) \Delta r_5 \right]$$

Углы падения волн поверхности помещения находятся по формулам:

$$\Theta_2(L, L_2, k_2, h_1, h_2) = \frac{\pi}{2} - \arctg \left( \frac{h_1 + h_2}{L} \right)$$

$$\Theta_3(L, L_2, k_2, h_1, h_2) = \frac{\pi}{2} - \arctg \left( \frac{2H - h_1 + h_2}{L} \right)$$

$$\Theta_4(L, L_2, k_2, h_1, h_2) = \frac{\pi}{2} - \arctg \left( \frac{2B - h_1 - h_2}{L} \right)$$

$$\Theta_5(L, L_2, k_2, h_1, h_2) = \frac{\pi}{2} - \arctg \left( \frac{h_1 + h_2}{B} \right)$$

На рисунке 3 показаны кривые зависимости от удаления УМРД параметра  $S$ . Волна поляризована вертикально.  $h=3$ м.

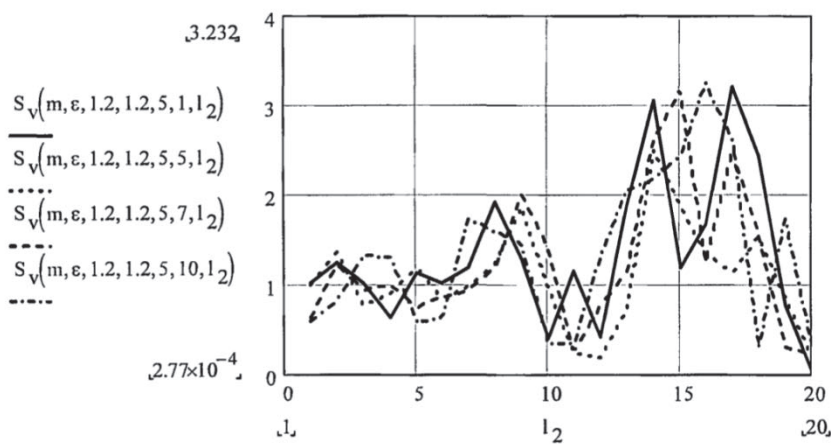


Рисунок 3 – Зависимость модуля  $S$  от расстояния между УМРД.  
Волна поляризована вертикально

На рисунке 4 представлен расчет зависимости от расстояния между УМРД квадрата модуля ослабления  $S$  для волны с горизонтальной поляризацией, высота помещения 3 метра. На рисунке 5 представлена зависимость от удаления

УМРД квадрата модуля затухания волны  $S$  с произвольной поляризацией, высота помещения 3 метра. Видно, что от угла поляризации значение параметра  $S$  практически не зависит.

Можно заключить, что поляризация волны определяет лишь амплитуду колебания напряженности, а характер колебаний зависит от расположения УМРД-устройств.

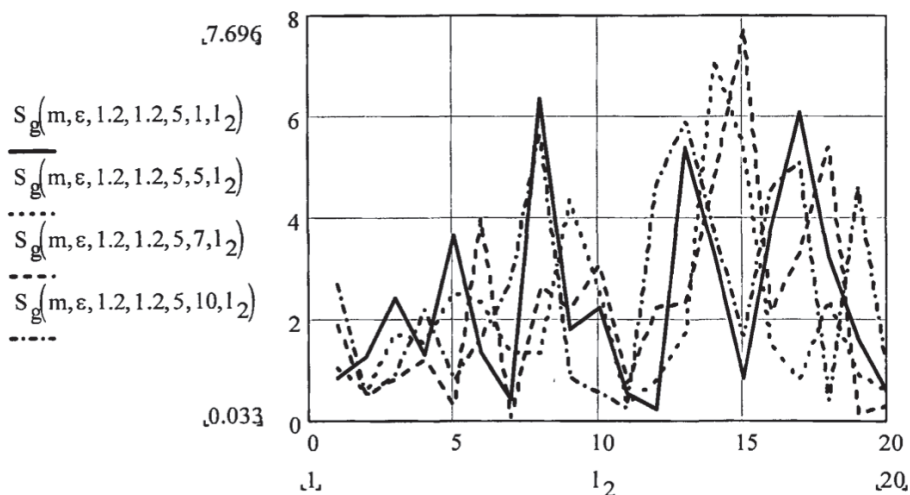


Рисунок 4 – Зависимость модуля  $S$  от расстояния между УМРД.  
Волна поляризована горизонтально

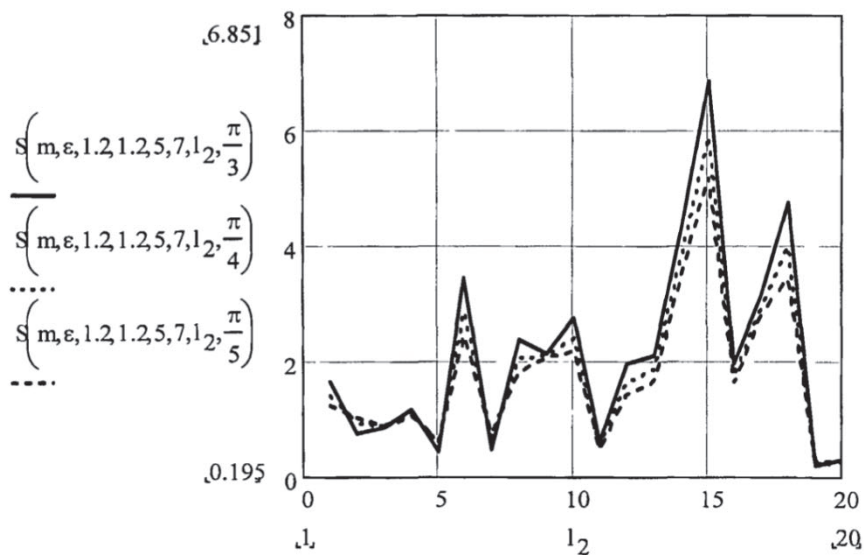


Рисунок 5 – Зависимость модуля  $S$  от расстояния между УМРД.  
Волна поляризована произвольно



Тогда, согласно данным работы [1], параметр  $S$  – квадрат модуля ослабления напряженности волны, примет вид:

$$\begin{aligned}
 S = & 1 + \left(\frac{r_1}{r_2} |\dot{F}_2|\right)^2 + \left(\frac{r_1}{r_3} |\dot{F}_3|\right)^2 + \left(\frac{r_1}{r_4} |\dot{F}_4|\right)^2 + \left(\frac{r_1}{r_5} |\dot{F}_5|\right)^2 + \\
 & 2 \frac{r_1}{r_2} |\dot{F}_2| \cos \left[ \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) \Delta r_2 + \arg \dot{F}_2 \right] + 2 \frac{r_1}{r_3} |\dot{F}_3| \cos \left[ \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) \Delta r_3 + \arg \dot{F}_3 \right] + \\
 & 2 \frac{r_1}{r_4} |\dot{F}_4| \cos \left[ \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) \Delta r_4 + \arg \dot{F}_4 \right] + 2 \frac{r_1}{r_5} |\dot{F}_5| \cos \left[ \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) \Delta r_5 + \right. \\
 & \left. \arg \dot{F}_5 \right] + 2 \frac{r_1^2}{r_2 r_3} |\dot{F}_2| |\dot{F}_3| \cos \left[ \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) (\Delta r_2 - \Delta r_3) + \arg \dot{F}_2 - \arg \dot{F}_3 \right] + \\
 & 2 \frac{r_1^2}{r_2 r_4} |\dot{F}_2| |\dot{F}_4| \cos \left[ \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) (\Delta r_2 - \Delta r_4) + \arg \dot{F}_2 - \arg \dot{F}_4 \right] + \\
 & 2 \frac{r_1^2}{r_2 r_5} |\dot{F}_2| |\dot{F}_5| \cos \left[ \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) (\Delta r_2 - \Delta r_5) + \arg \dot{F}_2 - \arg \dot{F}_5 \right] + \\
 & 2 \frac{r_1^2}{r_3 r_4} |\dot{F}_3| |\dot{F}_4| \cos \left[ \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) (\Delta r_3 - \Delta r_4) + \arg \dot{F}_3 - \arg \dot{F}_4 \right] + \\
 & 2 \frac{r_1^2}{r_3 r_5} |\dot{F}_3| |\dot{F}_5| \cos \left[ \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) (\Delta r_3 - \Delta r_5) + \arg \dot{F}_3 - \arg \dot{F}_5 \right] + \\
 & 2 \frac{r_1^2}{r_4 r_5} |\dot{F}_4| |\dot{F}_5| \cos \left[ \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) (\Delta r_4 - \Delta r_5) + \arg \dot{F}_4 - \arg \dot{F}_5 \right]
 \end{aligned}$$

Таким образом модуль ослабления зависит от взаимного расположения устройств малого радиуса действия, а также от высоты помещения.

В пределах действия источника УМРД (ведущего устройства) в общем случае ставится задача обеспечения максимального значения показателя напряженности поля в приемниках (ведомых устройств УМРД) в конечном числе точек ( $n$ ), где принимается радиосигнал. В рамках системного подхода может быть сформулировано условие оптимизации следующим образом: максимального значения должно достигать значения показателя напряженности поля, действующего в пределах действия устройств УМРД:

$$\max\{G(h_1, h_2, n, H)\},$$

где:

$$G(h_1, h_2, n, H) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S(L_i, h_1, h_2, H)$$

– функционал критерия оптимизации;

$L_i = iXd$ ;  $L$  – расстояние между устройствами малого радиуса действия ведущим и ведомым, соответственно, которые располагаются внутри помещения;  $H$  – высота помещения;  $d$  – расстояние между пунктами;  $h_1$  и  $h_2$  – высоты, на которых располагаются источник – ведущее устройство малого радиуса действия и приемник – ведомое устройство малого радиуса действия.

На рисунке 6 приводится расчет функционала критерия оптимизации, который зависит от высоты расположения источника. На графике показаны изменения функционала для разных высот приемников. Высота помещения равна 3м. Видны три точки, где высота расположения источника УМРД максимальна, соответствующие одинаковым расстояниям от ведущего до ведомого устройства. Около потолка на высоте 2,85...2,9 метров также наблюдается точка максимума, когда происходит сложение в фазе прямой и отраженной от потолка волн. Аналогичные характеристики наблюдаются и при других значениях потолка (рисунок 7).

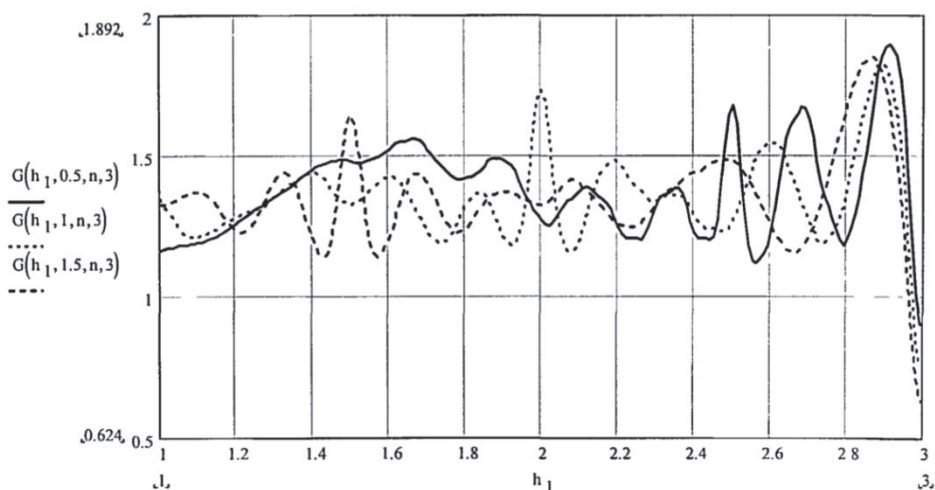
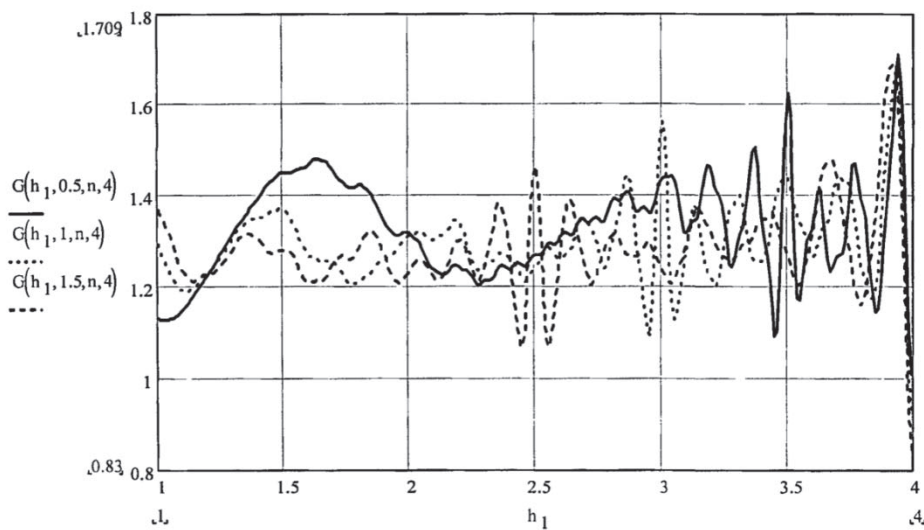
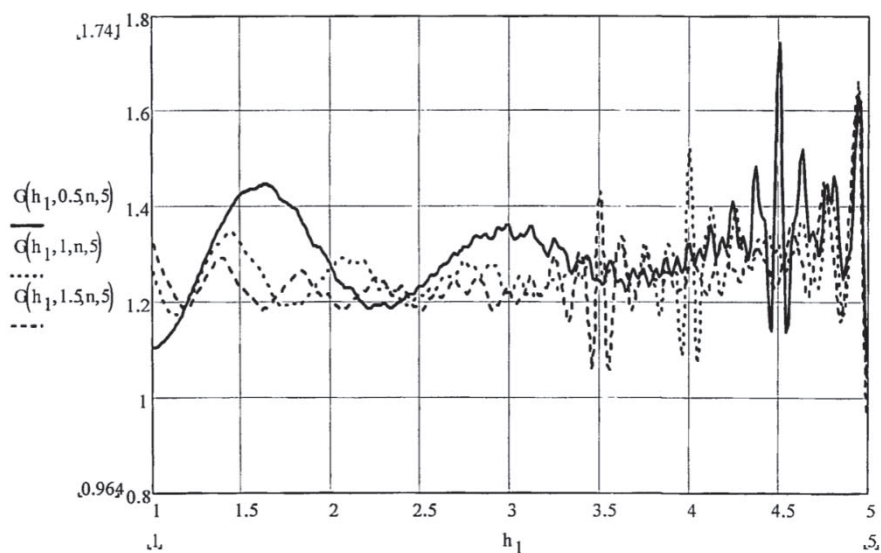


Рисунок 6 – Оценка функционала критерия оптимизации в зависимости от высоты расположения ведущего УМРД-устройства (3м) при различных высотах расположения ведомых УМРД-устройств (0,5м; 1м; 1,5м)



а)



б)

Рисунок 7 – а) – Оценка функционала критерия оптимизации в зависимости от высоты расположения ведущего УМРД-устройства (4м) при различных высотах расположения ведомых УМРД-устройств (0,5м; 1м; 1,5м); б) – Оценка функционала критерия оптимизации в зависимости от высоты расположения ведущего УМРД-устройства (5м) при различных высотах расположения ведомых УМРД-устройств (0,5м; 1м; 1,5м)

Другим критерием оптимизации может служить условие достижения на входе устройств МРД максимальных значений. Тогда функционал критерия можно определить следующим образом:

$$G(h_1, h_2, n, H) = \frac{1}{mn} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n S(L_i, h_1, h_{2j}, H) \quad (2)$$

где:  $m$  – дискретное число, обозначающее высоты расположения УМРД,  $h_{2j}$  – значения высоты, на которых располагаются УМРД.

На рисунке 4 приводятся результаты расчета функционала (2) в помещениях с различной высотой потолка. Из кривых на рисунке 8 видно, что максимумы функционала достигается на максимальной высоте потолка помещения.

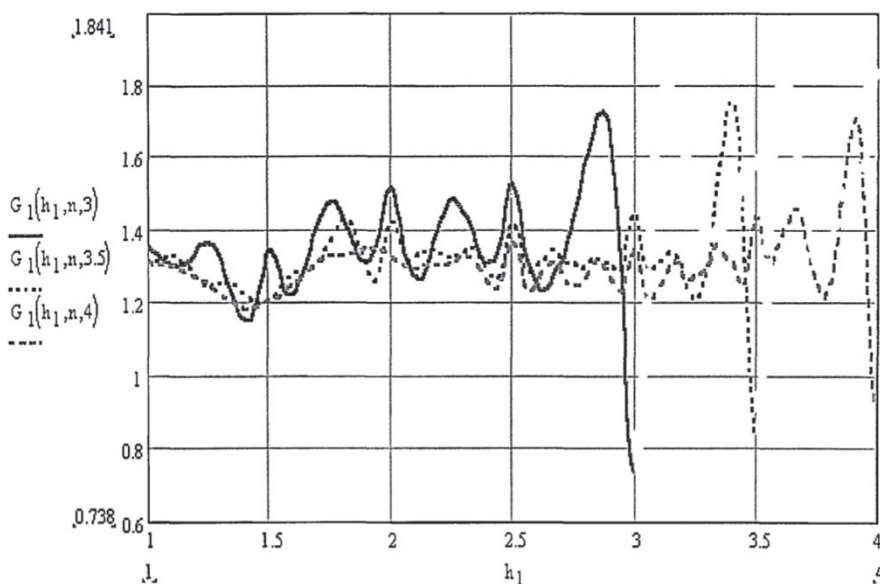


Рисунок 8 – Оценка функционала критерия оптимизации в зависимости от высоты расположения ведущего УМРД-устройства (3м; 3,5м; 4м) при различных высотах расположения ведомых УМРД-устройств (0,5м; 1м; 1,5м)

### Выводы

Результаты расчетов, приведенных выше, показывают, что внутри закрытого помещения, для всех высот расположения ведомого источника сигнала и для любых высот потолка наилучшая точка для размещения источника УМРД должна быть на максимальной высоте потолка помещения.

### Литература

1. Артюшенко В.М., Корчагин В. А. Оценка влияния электромагнитных помех радиоэлектронных средств на беспроводные устройства малого радиуса действия // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2010. Т. 6. № 2. С. 14-20.

2. Коняев А.К. Обеспечение радиопокрытия в DECT-системах // Мобильные системы. 1999. № 9. С. 34-39.
3. Корчагин В.А. Электромагнитная совместимость беспроводных устройств малого радиуса действия // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2010. Т. 6. № 1. С. 12-18.
4. Тузов Г.И., Сивов В.А., Прытков В.И. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами. М.: Радио и связь, 1995. 264 с.

УДК 004.05

**Математическое и программное обеспечение вычислительных компьютерных сетей, повышение их эффективности путём внедрения принципов и компонентов программно-определяемой сети (часть 2)**

**Ю.В. Стреналюк**, доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры «Информационные технологии и управляющие системы»,

**И.Н. Леандров**, магистрант кафедры  
«Информационные технологии и управляющие системы»,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области

«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза,  
летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

*Исходя из задач работы проводится эксперимент с целью исследовать возможность повышения эффективности модернизированной сети. Для проведения эксперимента необходимо выбрать и обосновать методику исследования повышения эффективности сети, в которой определяются показатели эффективности и способы их измерения, а также проводится разработка экспериментального стенда для измерения характеристик, в котором будет определена модель сетевой инфраструктуры, выбран контроллер программно-конфигурируемой сети и определены характеристики виртуального сервера, как основного компонента экспериментального стенда.*

Вычислительные сети, компьютерные сети, программно-определяемые сети.

**Mathematical and software support of computing computer networks, increasing their efficiency by implementing the principles and components of a software-defined network (part 2)**

**Yu.V. Strenalyuk**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department «Information Technologies and Control Systems»,

**I.N. Leandrov**, Master's student of the Department  
«Information Technologies and Control Systems»,

State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Moscow Region  
«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union,  
pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

*Based on the objectives of the work, an experiment is being conducted to investigate the possibility of improving the efficiency of the upgraded network. To conduct the experiment, it is necessary to choose and justify a methodology for studying the increase in network efficiency, in which efficiency indicators and methods will be determined.*

Computer networks, computer networks, software-defined networks.

## **Часть 2. Повышение эффективности сети на основе внедрения компонентов программно-конфигурируемой сети**

### **2.1. Математическое обоснование метода оценки показателей эффективности сети**

Удачное выполнение требуемых задач (доступ к ресурсам Интернет, поддержка IP-телефонии и других сервисов) дает надежду успешного управления сетью и ее трафиком.

Типовые требования к сети включают:

- требуемая производительность,
- существенная масштабируемость,
- гибкая расширяемость,
- высокая защищенность.

Обеспечение данных требований обеспечивает как высокое качество выполнения ею поставленных задач, так и надежность функционирования сети.

Средствами обеспечения функционирования сетями должны быть специализированные системы, осуществляющие управление и контроль совокупностью сетевых устройств.

Ситуация в сетях характеризуется и тем, что имеется тенденция роста общих проблем таких как:

- Неправильная конфигурация сети
- Отсутствие или недостаточная безопасность данных
- Малое количество сбоев на основе обработке предыдущих
- Производительность

На данный момент средств управлению сетями и их системами, позволяющими проводить анализ сети недостаточно, они не плохо связаны и обслуживают лишь отдельные части сетей.

Применение же комплексных систем управления позволило бы гибко распределять нагрузки при сбоях оборудования, оптимизировать потоки в сетях и их развитие, в том числе за счет мониторинга трафика для пользователей информационных систем.

Обычно при этом используются следующие показатели:

- время ответа сети (отклика, реакции);
- пропускная способность сегментов и сетевых устройств;
- временная задержка и ее вариация при передаче сетевых пакетов;

Из всего выше сказанного можно сделать вывод, что основными задачами систем управления сетями являются реализация заданных значений надежности функционирования и производительности сети.

Определим математическую модель для оценки показателей эффективности сети (табл. 1).

В таблице применены следующие обозначения:

- $\tau_{(max)}$  – задержка по рекомендации ITU-T (максимальная);
- $\tau_{(min)}$  – наилучшее значение задержки;
- $L_{(max)}$  – значение потерь пакетов, ниже которого обеспечен допустимый уровень качества работы (максимальное);
- $L_c$  – критическое значение потерь пакетов, при достижении которого корректная передача данных становится невозможной;
- $B_{(min)}$  – допустимая пропускная способность (минимальная);
- $B_{(max)}$  – требуемая пропускная способность (максимальная).

Выбранный подход к оценке эффективности учитывает тип трафика и позволяет рассчитать ее метрику эффективности, используя задержки передачи пакетов, пропускную способность и потери пакетов.

Таким образом, можно построить маршруты в зависимости от требований и типа трафика, а также учесть качество любого абонента, выделяя им в зависимости от типа трафика необходимую пропускную способность.

На основе указанных формул рассчитывается метрика:

$$K_x = 1 - u_x(b)u_x(\tau)u_x(L) \quad (1)$$

где  $x$  – тип передаваемого трафика.

Таблица 1 – Функции эффективности сети

	VoIP	Internet	Video
Проп. способность	$u_{VoIP}(b) = \frac{\text{sgn}(b - B_{min}) + 1}{2}$	$U_{FT}(b) = \frac{\log(b + 1)}{\log(B_{max} + 1)}$	$u_{video}(b) = \frac{1}{1 + (\frac{1}{\epsilon} - 1)e^{-rb}}$
Доля потерь	$u_{VoIP}(L) = (L_{max})^{3L}$	$u_{FT}(L) = \begin{cases} 1, & \text{если } L \leq L_{max} \\ \frac{L - L_c}{L_{max} - L_c}, & \text{если } L_{max} < L < L_c L \\ 0, & \text{если } L > L_c \end{cases}$	$u_{video}(L) = (L_{max})^{3L}$
Проп. способность	$u_{VoIP}(b) = \frac{\text{sgn}(b - B_{min}) + 1}{2}$	$U_{FT}(b) = \frac{\log(b + 1)}{\log(B_{max} + 1)}$	$u_{video}(b) = \frac{1}{1 + (\frac{1}{\epsilon} - 1)e^{-rb}}$

## 2.2. Выбор контроллера ПКС для экспериментального стенда

Принципы программно-конфигурируемых сетей подразумевают строительство сетей с их управлением на отдельном сервере или их наборе, при этом используется протокол *OpenFlow*, которые управляет потоками пакетов (перенаправляет, запрещает, разрешает их и пр.).

В рамках исследования предлагается контроллер ПКС с открытым кодом, позволяющий проводить маршрутизацию полиадресного трафика и решения различных задач.

Проведен сравнительный анализ следующих контроллеров ПКС с протоколом *OpenFlow*:



*FloodLight*  
*Trema*  
*OpenDayLight*  
*HP ПКС Client*  
*OVS-Controller*  
*NOX*  
*RUNOS*  
*Beacon*  
*Big Network Controller*

Анализ проводится по следующим критериям сравнения (табл. 2):

- 1) *TLS*
- 2) *OpenAPI* – на основе открытого исходного можно создавать сетевые приложения для внедрения на контроллер ПКС;
- 3) язык программирования (ЯП) – приоритетен выбор несложного языка программирования для разработки сетевых приложений
- 4) многопоточность – множественные параллельные сетевые приложения ПКС;
- 5) версия *OpenFlow* – приоритетна наиболее высокая версия *OpenFlow*, которую поддерживает контроллер;
- 6) децентрализованная работа – поддержка создания множественных экземпляров контроллера;
- 7) динамическая загрузка сетевых приложений без перезагрузки контроллера ПКС;
- 8) расширяемость – добавление новых приложений к контроллеру ПКС;
- 9) безопасная авторизация – авторизация пользователя с использованием безопасных протоколов;
- 10) подробная документация;
- 11) тип лицензии – разрешение лицензии разрабатывать новые модули для расширения возможности программного продукта.
- 12) *Big Network Controller* и *RunOS* не подходят ввиду своей стоимости – они поставляются на платной основе и имеют закрытый исходный код. Контроллеры *Beacon*, *Trema* и *NOX* также не подходят, т.к. являются тяжело модифицируемыми, а также имеют сложное *API*. У контроллера *HP ПКС Client* отсутствует подробная документация, что при его использовании для разработки приложений все будет лишь усложняться.
- 13) Из оставшихся контроллеров, был выбран *OpenDayLight*, т.к. у него присутствует поддержка создания множественных экземпляров, а это является важным фактором для расширения ПКС и объединения отдельных сегментов сети.

Таблица 2 – Сравнительная таблица контроллеров ПКС

	FloodLight	Trema	OpenDayLight	HP ПКС Client	OVS - Controller	NOX	Run OS	Beacon	Big network controller
TLS	+	+	+	+	+	+	-	+	+
OpenAPI	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ЯП	Java	C	Java	Python	Java	Java	C	Java	Java
Многопоточность	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Версия OpenFlow	1.4	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3
Децентрализация	-	+	+	+	+	+	+	-	+
Динамическая загрузка	+	-	+	+	+	+	+	+	+
Расширяемость	+	+	+	+	-	+	+	+	-
Безопасная авторизация	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Документация	+	+	+	-	+	-	-	+	+
Лицензия	Apache License	GNU GPL	Eclipse Public	Apache License	Apache License	Apache License	Closed	Apache License	Closed

### 2.3 Создание экспериментального стенда для тестирования сетей

Для определения эффективности сети было предлагается построить экспериментальный стенд минимальной стоимости в следующем составе (рис. 1):

- графический симулятор сети *Estinet GUI*;
- эмулятор компьютерной сети *Estinet*;
- команды и инструменты для тестирования показателей сети;
- контроллер ПКС *OpenDaylight*;
- ОС *Fedora/Windows*;
- *VMware Workstation Client*;
- ЛВС подключения контроллера к виртуальной машине (ВМ) и виртуальной сети (ВС).

Использован сервер со следующими характеристиками – Intel Core 3.6 ГГц, жесткий диск 300 ГБ, оперативная память 6 ГБ и гигабитный Ethernet.

К стенду предъявлены следующие требования:

- открытое ПО и доступные приложения и оборудование;
- эмуляция реальных сетевых устройств в среде виртуализации;
- эмулируемые сетевые устройства стенда должны обладать возможностями реальных устройств сети за его пределами и взаимодействовать с ними;
- эмуляция рабочих станций с поддержкой установки дополнительного ПО для генерации трафика;
- контроллер ПКС в сети управляет коммутаторами внутри эмулируемого сегмента сети;
- сетевой трафик передается внутри в ВС за пределами стенда и с сетью Интернет.

Эмулируемый сегмент сети реализован на ВМ с ОС *Fedora* с эмулятором сети *Estinet*. В среде созданы виртуальные коммутаторы *OpenVSwitch*, ВМ *VMWARE* с ОС *Ubuntu/Linux* с *Docker* и три виртуальных хоста (ВХ) (h1,h2,h3). Работа коммутаторов *OpenVSwitch* эмулируется пакетом ПО с протоколом *OpenFlow*. ВХ не имеют полноценной ОС, но могут взаимодействовать по стеку *TCP/IP* с другими устройствами и выполнять команды из интерфейса командной строки (типа *Ping*).

ПКС контроллер через контролирующий коммутатор подключён ко всем коммутаторам *OpenVSwitch*, таким образом реализуя функционал и принципы работы программно-конфигурируемой сети по протоколу *OpenFlow v1.3*.

Хост h3 в данной схеме является принимающей стороной в реализуемом эксперименте для оценки показателей эффективности. Хосты h1,h2 являются генераторами трафика (рис. 2).

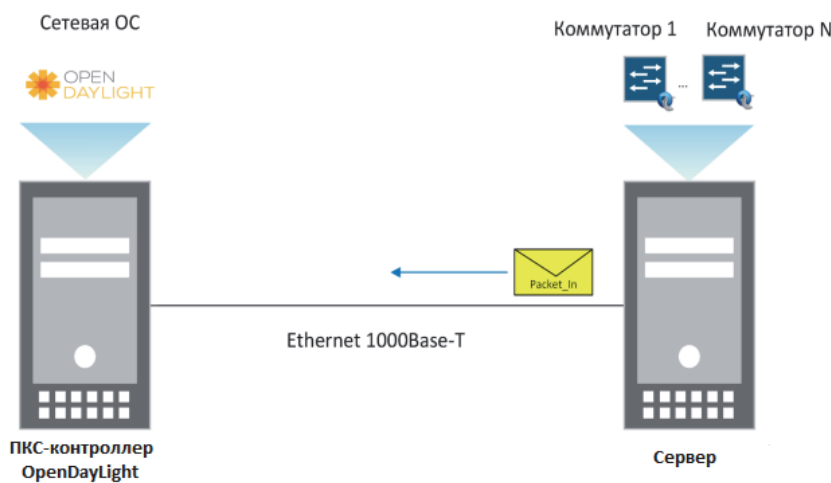


Рисунок 1 – Схема экспериментального стенда

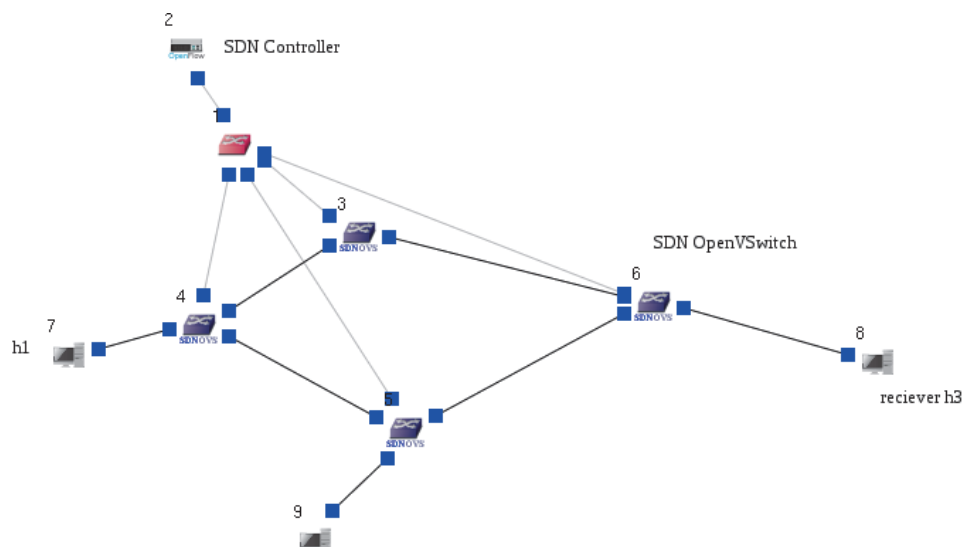


Рисунок 2 – Схема эмулируемого сегмента сети ПКС

Для настройки данного стенда были сконфигурированы:

- Хосты
- Коммутаторы *OVS*
- ПКС контроллер

Коммутаторы *OVS* должны быть подключены к контроллеру для взаимодействия передачи flow-пакетов (рис. 3).

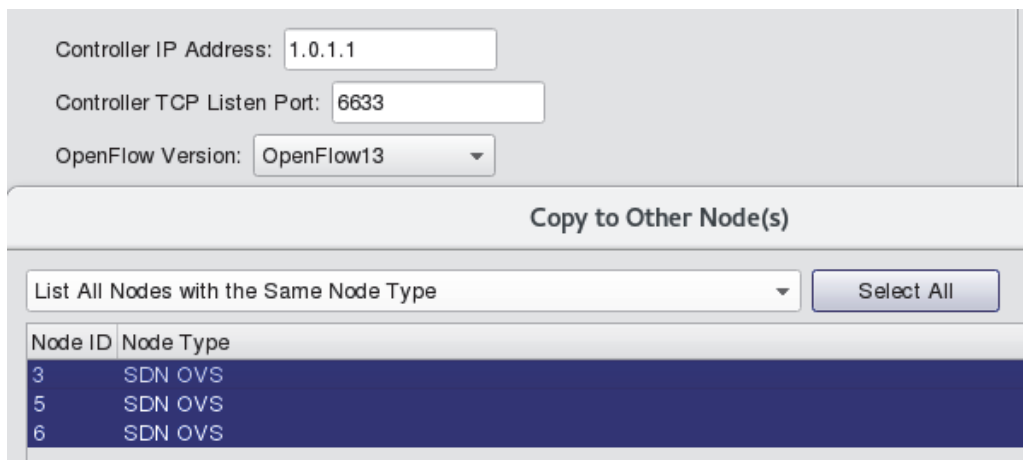


Рисунок 3 – Настройка интерфейса коммутатора OpenVSwitch

Из рисунка 3 следует, что коммутатор подключается к контроллеру с *IP* адресом 1.0.1 по порту 6633, который задействован для *OpenFlow* по протоколу *OpenFlow v1.3*, а далее эти настройки были скопированы на остальные ноды. Настройка контроллера происходит путем задействования приложений для него

(рис. 4).

Enable	Start (s)	Stop (s)	Command
<input checked="" type="checkbox"/>	2	300	tcpdump -i eth0 -U -w controller.pcap
<input checked="" type="checkbox"/>	2	300	ryu-manager /usr/lib/python2.7/site-packages/ryu/app/cbench.py
<input checked="" type="checkbox"/>	10	100	ryu-manager /usr/lib/python2.7/site-packages/ryu/app/simple_switch_13.py

Рисунок 4 – Приложения для контроллера ПКС

*Tcpdump* – команда для логирования пакетов, проходящих через контроллер. Ключи: `-i eth0` – смотрит интерфейс `eth0`; `-U -w controller.pcap` – запись буферизированных пакетов в файл *controller.pcap*;

*Simple\_switch\_13.py* – запуск контроллера ПКС;

*Cbench* эмулирует количество коммутаторов *OpenFlow*, т.к. все они подключаются к одному такому контроллеру. Каждый такой коммутатор отправляет определенное количество потоков с сообщениями в *OpenFlow* контроллер, затем ждет ответного потока настройки и фиксирует разницу во времени запрос-ответ.

Для конфигурации хостов использовано приложение *D-ITG* для генерации и получения трафика.

*Distributed Internet Traffic Generator (D-ITG)* – генерирует трафик пакетов, реплицируя случайные процессы для временного интервала *IDT (Inter Departure Time)* и для *PS* (размер пакета) (экспоненциального, однородного, каши, нормального, парето). *D-ITG* создает трафик *IPv4 (IPv6)* и генерирует трафик на сетевом, транспортном и прикладном уровне.

Основными функциями *D-ITG* предоставлены *ITGSend* и *ITGRecv*. *ITGSend* является компонентом, отвечающим за генерацию трафика к *ITGRecv*. Используя многопоточный дизайн, *ITGSend* может отправлять несколько параллельных потоков трафика в несколько экземпляров *ITGRecv*, а *ITGRecv* может получать несколько параллельных потоков трафика из нескольких экземпляров *ITGSend*. Канал сигнализации создается между каждой парой компонентов *ITGSend* и *ITGRecv* для управления генерацией всех потоков трафика между ними.

*ITGSend* и *ITGRecv* могут дополнительно создавать файлы журнала, содержащие подробную информацию о каждом отправленном и полученном пакете. Такие журналы могут быть сохранены локально или отправлены – через сеть – в компонент *ITGLog* (полезно для сбора всех мер в одной точке или в случае хостов с ограниченными возможностями хранения – например, датчиков, встроенных устройств, смартфонов, так далее). Компонент *ITGDec* отвечает за анализ файлов журналов с целью извлечения метрик производительности, связанных с потоками трафика.

Для хостов `h1` и `h2` были сконфигурированы следующие настройки *D-*

ITG:

```
.LTGSend -T UDP -a 1.0.2.3 -c -C -t 15000 -l sender.log -x receiver.log,
```

где -T протокол UDP;

-a 1.0.2.3 -c размер пакета;

-C кол-во пакетов в секунду;

-t продолжительность генерации (в м.с);

-l логирование отправителя;

-x логирование ответов получателя;

Для хоста h3 использовалась следующая настройка: `.LTGRecv`, которая отвечает за получение пакетов от отправителя ITGSend.

Для классической сети был собран стенд с топологией и оборудованием аналогичным предыдущему, за исключением того, что на коммутаторах *OpenVSwitch* не был задействован протокол *OpenFlow* и они не были подключены к ПКС контроллеру через *Control Plane Switch* (рис. 5).

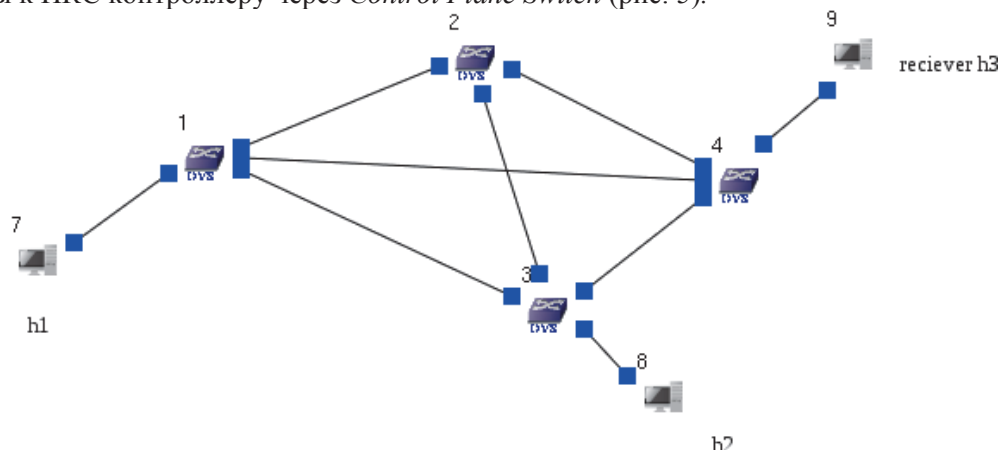


Рисунок 5 – Стенд классической сети

Канальное соединение между хостами и коммутаторами 100 mb/s, подсеть коммутаторов 1gb/s, соединение между контроллером и коммутатором 1gb/s.

Подсеть хостов: 1.0.2.0/24

Подсеть коммутаторов: 1.0.1.0/24

По своей сути, *Estinet* представляет собой программный комплекс, позволяющий моделировать сети связи, используя различное виртуальное оборудование. Графический Интерфейс позволяет достаточно легко производить коммутацию различных виртуальных машин, предоставляя также возможность подключать смоделированную топологию непосредственно к реальной сети. Однако стоит упомянуть, что производительность реальных устройств все же будет всегда выше.

Из-за аппаратных ограничений кольца из коммутаторов доступа не соби-  
рались, однако, используя настройки с реального оборудования, на коммутаторах распределения и доступа был сконфигурирован *STP*. Предполагается также, что каждый коммутатор доступа будет использовать свой *VLAN id*.

После сборки каждого стенда, с помощью генератора трафика были проведены 10 минутные тесты сетей. Трафик генерировался по протоколу *UDP*, с размером каждого пакета 1000 байт и скоростью 25000 пакетов в секунду, что давало нагрузку в среднем порядка 72229 Кбит/с. К сожалению, протестировать на больших скоростях не получалось, по причине аппаратного ограничения по скорости дискового массива рабочей станции.

#### 2.4 Результаты тестирования

В итоге, исходя из результатов, выяснилось, что применение технологии ПКС дает свои плюсы по увеличению качественных характеристик сети, что видно по графику задержки, при этом данное значение при переходе на ПКС уменьшилось в среднем на 10%. В том числе и показатель джитера стал меньше в среднем на 13% (рис. 6-8).

Данные результаты лишь подтверждают то, что перенос нагрузки по управлению сетью с множества сетевых устройств на централизованный контроллер благоприятно сказывается на общей производительности сети.

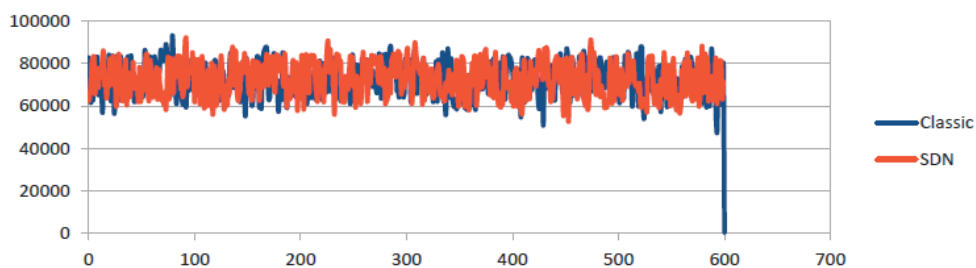


Рисунок 6 – График скорости потока данных

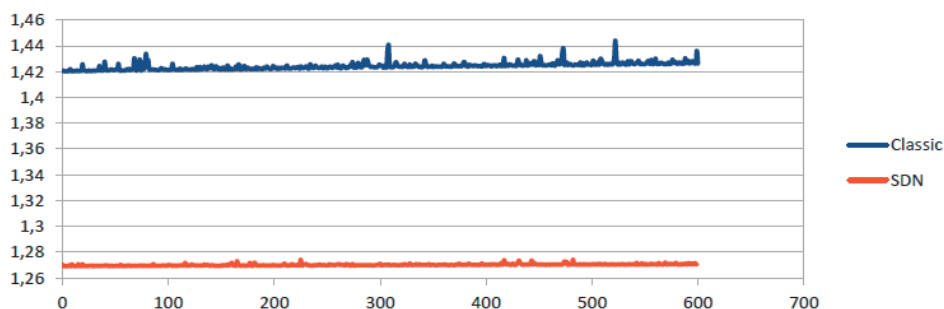


Рисунок 7 – График задержки

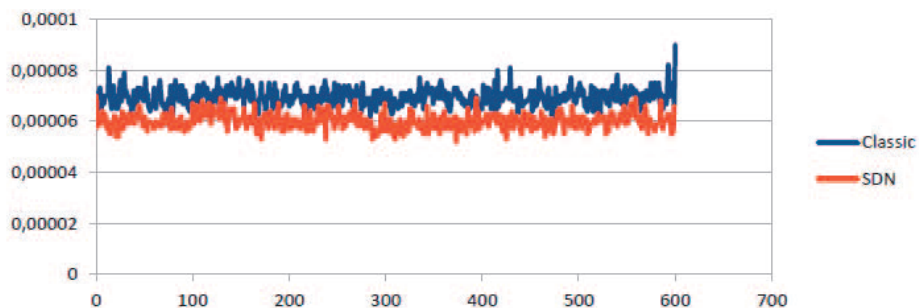


Рисунок 8 – График джиттера

### Выводы

Управление и настройка сетей предприятия является нетривиальной задачей, учитывая их сложность. В то время как ПКС обещает облегчить эти проблемы посредством принципиального сетевого согласования, практически невозможно полностью обновить существующую унаследованную сеть до ПКС за один раз. Соответственно, в этой работе поэтапно решается проблема частичного развертывания коммутаторов ПКС в существующие сети и анализируется выгода, полученная при такой интеграции.

Представлена архитектура для упрощения обновления сети, которая сочетает устаревшие коммутаторы, маршрутизаторы, и коммутаторы ПКС. Оценка результатов подчеркивает, что такой подход может глубоко расширить возможности существующих традиционных сетей до ПКС. В зависимости от топологии и назначения сети, обновив только некоторую часть коммутаторов распределения, можно реализовать сеть как ПКС, не нарушая разумных ограничений ресурсов.

Результаты исследования показывают, что частичное развертывание ПКС действительно может быть подходящей долгосрочной оперативной стратегией для сетей связи, и могут быть рекомендованы к использованию в научно-исследовательских и проектных организациях для решения задач по оптимизации управления сетями.

### Литература

1. Коломеец А.Е., Сурков Л.В. Программно-конфигурируемые сети на базе протокола OpenFlow // Электронный научно-технический журнал «Инженерный вестник». 2014. № 5. С. 518-525.
2. Спецификация: OpenFlow Switch Specification version 1.3.2. ONF TS-009. 2013. 131 p.
3. Смелянский Р.Л. Программно-конфигурируемые сети [Электронный ресурс]. // Открытые системы Электрон. дан. 2012. № 3. Режим доступа: <http://www.osp.ru/os/2012/09/13032491/>.



4. Павленко Е.Ю. Адаптивное управление безопасностью информационных систем, построенных на базе программно-конфигурируемых сетей [Электронный ресурс]. 18 с. Режим доступа: [http://www.ruscrypto.ru/resource/summary/rc2017/09\\_pavlenko.pdf](http://www.ruscrypto.ru/resource/summary/rc2017/09_pavlenko.pdf).
5. Статья: Программно-определяемые сети/Software-Defined Network, ПКС [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Программно-определяемые\\_сети\\_\(Software-Defined\\_Network,\\_ПКС\)\\_и\\_программно-определяемые\\_ЦОД\\_\(Software-Defined\\_Data\\_Center,\\_SDDC\)](http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Программно-определяемые_сети_(Software-Defined_Network,_ПКС)_и_программно-определяемые_ЦОД_(Software-Defined_Data_Center,_SDDC)).
6. Software-Defined Networking: The New Norm for Networks [Электронный ресурс]. Open Networking Foundation. 2012. Режим доступа: <https://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/ПКС-resources/white-papers/wp-ПКС-newnorm.pdf>.
7. Cbench [Электронный ресурс]. GitHub. 2014. Режим доступа: <https://github.com/andi-bigswitch/oflops/tree/master/cbench>.

УДК 004.5, 004.9

### **Технологии геоинформационного сервиса**

**С.В. Шайтура**, кандидат технических наук,  
доцент кафедры информационных технологий и управляющих систем,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области

«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза,  
летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область,

**М.Д. Князева**, кандидат технических наук, доцент,  
Московский государственный университет технологий и управления  
им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет), г. Москва,

**Е.В. Швед**, кандидат физико-математических наук,  
профессор кафедры высшей математики,

**А.А. Неделькин**, старший преподаватель кафедры информатики,  
Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, г. Москва,

**Н.С. Шайтура**, кандидат физико-математических наук,  
старший преподаватель кафедры высшей математики,  
Российский государственный аграрный университет – МСХА  
имени К.А. Тимирязева, г. Москва

*Представленная статья является обзором достижений в области разработки технологий геоинформационного сервиса. В статье показана история становления геоинформационного сервиса как науки. Приведены теоретические и технологические основы геоинформационного сервиса. Приведены примеры технологий геоинформационного сервиса, применяемые в геомаркетинге для определения пространственного размещения объектов, трехмерного моделирования пространственных объектов, технологии использования геоинформационных служб для проведения спасательных работ, технологии мониторинга коммунальных услуг, геосервисные технологии, применяемые в строительстве и архитектуре, службах железнодорожного транспорта и туризме. В заключении делается вывод, что применение технологий геоинформационного сервиса приносит прибыль и позволяет интегрировать ранее разобщенные технологии.*

Информационные технологии, геоинформационный сервис, геоинформационная система, интернет-сервис, трехмерное моделирование.

### **Technologies of geoinformation service**

**S.V. Shaitura**, Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor of the Department  
of Information Technologies and Control Systems,  
State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Moscow Region  
«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union,  
pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region,

**M.D. Knyazeva**, candidate of technical sciences, associate professor,  
Moscow State University of Technology and Management  
K.G. Razumovsky (First Cossack University), Moscow,  
**E.V. Shved**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences,  
Professor of the Department of Higher Mathematics,  
**A.A. Nedelkin**, Senior Lecturer of the Department of Informatics,  
Plekhanov Russian University of Economics, Moscow,  
**N.S. Shaitura**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences,  
Senior Lecturer of the Department of Higher Mathematics,  
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy  
named after K.A. Timiryazev, Moscow

*The presented article is an overview of achievements in the field of development of geoinformation service technologies. The article shows the history of the formation of a geoinformation service as a science. The theoretical and technological foundations of geoinformation service are given. Examples of geoinformation service technologies used in geomarketing to determine the spatial location of objects, three-dimensional modeling of spatial objects, technologies for using geoinformation services for rescue operations, utilities monitoring technologies, geoservice technologies used in construction and architecture, railway transport services and tourism are given. In conclusion, it is concluded that the use of geoinformation service technologies is profitable and allows integrating previously disparate technologies.*

Information technology, geoinformation service, geoinformation system, internet service, 3D modeling.

### **Введение**

История развития геоинформатики и геоинформационных систем насчитывает более 40 лет [13, 14]. Термин геоинформационные системы появился в 1970 годы. Сначала это была технология, позволяющая привязать базу данных к изображению. Эту технологию стали называть пространственные информационные системы. Она, в основном, применялась в системах автоматизированного проектирования, но потом была перенесена в науки о земле, и пространственные информационные системы получили префикс гео. Появились разновидности этих систем: географические информационные системы [13], геодезические системы [14, 15], картографические информационные системы [13-16], кадастровые информационные системы [28], космические информационные системы [11, 17, 21, 22], экологические информационные систем [24-27] и т.д. Причем на западе такие системы начали применять в экономике для обложения домохозяйств налогами, а в России они применялись для военных целей: наведение на цели управляемых баллистических, а потом и крылатых ракет, навигация атомных подводных лодок, управление войсками и т.д. Далее пространственные информационные системы стали применяться в строительстве, в автоматизированном картографировании, проектировании нефтепроводов, картографировании полезных ископаемых, радиолокационных изображений и т.д. [12].

Необходимо так же различать термины геоинформационные системы,

геоинформационные технологии и геоинформатика [18, 34]. Геоинформационные системы описывают объект исследований как систему или набор состояний системы, геоинформационные технологии позволяют переводить эту систему из одного состояния в другое. Геоинформатика, как наука, содержит совокупность теорий, методов, методик для описания состояний систем и перехода системы из одного состояния в другое.

За 40 лет развития геоинформатика в России прошла те же стадии своего развития, что и на западе: пионерский период, период государственных инициатив, период коммерческого развития, пользовательский период. Во время пользовательского периода геоинформатики происходит удовлетворение потребностей клиентов в получении пространственной информации. Пользовательский период стал развиваться по законам сервиса и дал становление новому направлению – геоинформационному сервису [19, 36].

Развитие Интернет и больших данных началось несколько позднее, чем появилась геоинформатика. Интернет, как таковой, направлен на удовлетворение потребностей клиентов через интернет-сервисы [35-37]. Интернет-сервисы, которые направлены на удовлетворение клиентов в получении пространственной информации стали называться геоинформационными сервисами.

#### **Результаты исследования**

Недостаточный объем статьи не позволяет описать все результаты, полученные авторами в процессе предоставления услуг в области геоинформационного сервиса, поэтому остановимся на некоторых из них.

Геоинформационный сервис как наука включает в себя совокупность систем и технологий [1, 30, 33]. Геоинформационный сервис как сложная система разбивается на подсистемы ввода, хранения, обработки и вывода. Ввод пространственно-распределенных данных осуществляется методами дистанционного зондирования космическими аппаратами [9, 10, 26] или посредством аэро съемки и беспилотными летательными аппаратами [25, 27, 28, 37], методом геодезической съемки [14-16], цифрованием существующих карт и планов [12-15], использованием готовых данных на порталах вычислительных сетей ЭВМ [4, 15]. Подсистема хранения пространственной информации содержит многочисленные пространственные базы данных с возможностью хранения пространственно-распределенной информации [8, 35]. Обработка информации включает в себя преобразование пространственно-распределенных данных с целью агрегирования, выявления пространственных взаимоотношений, пространственного анализа и синтеза данных [2, 3, 5, 7]. Вывод пространственных данных тесно коррелирует с методами машинной графики, но имеет свои особенности [20]. Так, например, в геоинформационном картографировании необходимо применять традиционные методы картографирования: координатную сетку, условные картографические знаки, методы генерализации и т.д.

Процесс взаимодействия различных подсистем геоинформационного сервиса и представляет собой бесчисленное множество технологий геоинформационного сервиса. Технологии могут иметь общую универсальную направленность, которая может применяться в различных задачах и предметную направленность, применяемую в специальных задачах, таких как создание кадастровых планов, геомаркетинг, мониторинг, управление пространственными процессами, трехмерное моделирование, создание реалистических моделей [31].

*Геомаркетинг на основе больших данных*

Зная, где находятся ваши лучшие клиенты и потенциальные клиенты, вы сможете эффективно нацеливать свой прямой маркетинг и эффективно распределять бюджет и другие маркетинговые ресурсы [31, 35]. Программное обеспечение ГИС также позволяет анализировать данные на многих различных уровнях, что делает его гораздо более мощным инструментом планирования.

Многие компании теперь выравнивают свои ресурсы продаж и маркетинга по секторам рынка, чтобы предоставлять своим клиентам индивидуальные услуги. Добавление географического элемента может помочь повысить продуктивность обслуживания клиентов и сделать возможным таргетинг на места, где дополнительные рекламные усилия могут привести к увеличению продаж

Геоинформационные системы и геомаркетинг применяется для определения местоположения торговых точек. Если вы планируете открыть розничный филиал, ГИС может помочь вам спрогнозировать, сколько и какого типа продуктов клиенты в определенной зоне обслуживания, вероятно, будут покупать – в соответствии с их возрастом, классом и другими факторами. Вы можете использовать те же данные, чтобы помочь покупателям найти вас – например, предлагая покупателям ввести свой почтовый индекс на веб-сайте, чтобы найти ближайшую точку розничной торговли.

ГИС предлагает относительно простой и быстрый способ определить, где находятся ваши лучшие клиенты и самые многообещающие потенциальные клиенты, а также многое узнать об их демографических характеристиках в зависимости от их местоположения.

Если у вас есть база данных с адресами, почтовыми индексами или любыми другими пространственными привязками, программное обеспечение ГИС позволяет отображать все местоположения на картах. Специалисты по логистике и дистрибуции уже много лет используют ГИС, например, для планирования маршрутов доставки. Теперь вы можете использовать эту же систему, чтобы помочь вам планировать маркетинг, операции по обслуживанию и многое другое.

Карты ГИС могут показать вам, являются ли определенные продукты или услуги более популярными в одних местах, чем в других. С помощью этой информации вы можете настроить свою работу по обслуживанию клиентов для повышения эффективности и удобства для клиентов. Вы можете перестроить свои рекламные усилия, чтобы увеличить объем продаж.

ГИС позволяет вам протестировать свой маркетинговый или рекламный подход в определенном месте, прежде чем выделять ресурсы на полную кампанию. Вы можете протестировать предложение, творческий подход, механизм ответа, частоту и время, а также другие аспекты кампании. Тестовая кампания может проводиться на репрезентативной выборке целевого рынка, на определенной территории продаж или географической территории, или в конкретном секторе целевого рынка. Вы можете проводить раздельную кампанию, варьируя некоторые аспекты продвижения от места к месту.

ГИС позволяет отслеживать результаты различных типов испытаний с непревзойденным уровнем точности, предоставляя информативные, подробные карты. Вы можете точно увидеть, как определенные маркетинговые подходы работают с определенными целевыми группами, и соответствующим образом изменить свои будущие усилия.

Многие компании имеют географическую структуру продаж, в которой торговые представители закреплены за географическими территориями. Эта система проста в администрировании и позволяет экономить время торговых представителей в поездках, но ресурсы обычно распределяются между территориями равномерно, а не направляются туда, где потенциал продаж наибольший. ГИС помогает решить эту проблему, ориентируясь на то, куда следует направить ресурсы продаж, а также может определить, где могут потребоваться дополнительные ресурсы обслуживания клиентов.

Многие поставщики услуг телефонной связи могут предоставить вам подробную информацию о звонках клиентов, поступающих в вашу организацию: кто звонил, когда и откуда. Бесплатные номера могут увеличить количество звонков клиентов, а также помочь вам определить, откуда звонят клиенты. Используя ГИС в сочетании с вашей телефонной системой, вы можете создавать географические профили клиентов и потенциальных клиентов, которые вы можете использовать для быстрого и легкого тестирования различных рекламных кампаний на рынке.

ГИС может помочь вам избежать распространенной ошибки распределения ресурсов продаж и обслуживания равномерно по территориям, когда вы должны ориентироваться на территории с наибольшим потенциалом для роста бизнеса.

Чтобы ГИС была эффективной, вам нужна информация о клиентах и потенциальных клиентах, которая включает пространственный элемент, такой как адрес или почтовый индекс. Убедитесь, что у вас есть адекватная система для сбора данных о клиентах, и что вы собираете правильную географическую информацию для ввода в ГИС.

Геомаркетинг применяется для планирования и мониторинга показателей продаж, распределения розничных ресурсов, измерения эффективности кампании и оценки тестовых рынков. Чтобы в полной мере воспользоваться этими возможностями, вам следует интегрировать данные из других источников, таких как записи звонков или ответы кампании, чтобы у вас было полное представление об эффективности и потенциале территории.

#### *Кластеризация пространственных данных*

Кластеризация выполняется, чтобы получить представление о данных, объем которых затрудняет анализ людьми. В связи с этим, алгоритмы кластеризации появились как инструменты метаобучения для проведения исследовательского анализа данных. Кластер определяется как набор объектов, которые имеют сходство друг с другом по сравнению с объектами, не входящими в один и тот же набор. Однако есть неясность относительно подходящей метрики подобия для кластеризации. Было предложено множество мер, связанных с количественной оценкой сходства, таких как евклидово расстояние, плотность в пространстве данных и т.д., что делает кластеризацию многокритериальной задачей оптимизации.

По мере того, как цифровая трансформация общества набирает обороты, увеличивается распространение технологий, которые эффективно упрощают процесс записи данных. Недорогие датчики ввода данных, кассовые терминалы с подключением к Интернету являются примером таких устройств сбора данных, которые вторглись в нашу жизнь. Легкая доступность таких устройств и проис-

текающее из-за них упрощение операций привело к созданию хранилищ данных, которых раньше не существовало. Сегодня существует множество областей, где ежесекундно генерируются и обрабатываются огромные объемы данных.

Хранятся такие поля, как социальные сети, сенсорные сети, облачные хранилища и т.д. Это увеличило сферы машинного обучения, распознавания образов и науке о данных. Несмотря на то, что такой объем информации предоставляет огромные возможности академическим кругам и промышленности, он также представляет проблемы для эффективного анализа и поиска. Чтобы уменьшить экспоненциальное время и пространство, необходимое для таких операций над данными, сжать в содержательные сводки применяется анализ данных, который упрощает поиск в неконтролируемом пространстве Интернет, упорядочивая данные, формируя пакеты информации – кластеры. Кластерный анализ помогает в визуализации и способствует лучшему пониманию данных. Он использует методы, которые находятся на пересечении машинного обучения, распознавания образов и поиска информации. В отличие от классификации кластеризация не является гомоморфной и зависти от пользовательского подхода. Основные методы кластеризации сформировались в сороковых годах прошлого столетия, однако кластерный анализ становится все более популярным в связи с развитием Интернет и больших данных. Кластеризация дает лучшее представление о данных, поскольку все объекты в пределах кластера имеют меньшую изменчивость в своих атрибутах, и их можно эффективно группировать. Кластеризация так же нашла применение в областях, таких как оценка отсутствующих значений в данных или выявление выбросов данных.

Существуют алгоритмы для организации данных в кластеры, однако универсального решения для всех проблем не существует. Нет консенсуса в определении лучшего алгоритма, поскольку каждый из них разработан с учетом определенных допущений и имеет свои собственные предубеждения. Эти алгоритмы могут быть сгруппированы в методологии, такие как на основе секционирования, иерархические, на основе плотности, на основе сетки, сообщения на основе прохождения, на основе нейронной сети, на основе вероятностной и генеративной модели. Не существует также общепризнанных объективных критериев правильности или валидности кластеризации, и у каждого из алгоритмов есть свои недостатки и успехи в решении сложной проблема неконтролируемой кластеризации.

*Оценка привлекательности жилья на основе геомаркетинговых систем.* При оценке привлекательности жилья следует учитывать ряд факторов. Общее правило очевидно: последовательно теряются с течением времени потребительские свойства недвижимости, что приводит к снижению ее полезности, то есть к уменьшению ее стоимости. Весть район разбивается на участки – кластеры. Применяется модель на основе комбинированных нейросетевые методы [35]. По исходным данным формируется нейросетевая модель, результатом которой являются карты Кохонена.

*Прогнозирование финансовых показателей премиальных магазинов одежды.* Одной из первых задач обработки геопространственных данных является геокодирование [35]. К целевой переменной прибавляются координаты. Далее данные привязываются к каждому квадрату (кластеру).

Вся область рассмотрения разбивается на сеть квадратов. Определяется

прибыль в каждом квадрате. Определяется потенциальный покупатель. Задачей модели является выявление потенциальных покупателей. Премиальные виды одежды будут приобретать люди, живущие в дорогой недвижимости. Для определения возможности покупки используем модель Хаффа.

В квадрате у нас есть % количества людей, которые являются потенциальными покупателями, что может принести в будущем прибыль.

В результате машинного обучения формируется модель, которая используется в данной задаче. Исходную информацию представляет заказчик в виде таблицы с колонками: адрес, площадь и продажи по годам. Далее производится геокодирование данных, т.е. получение широты и долготы. Следующий этап – задание функции цели. По объему продаж за предыдущий период можно узнать, сколько магазин способен в идеале продавать. Берём все квадраты, которые есть в Москве, и определяем для них прибыль. Получаем таблицу прибыли. Результаты заносим на карту (рис. 1).

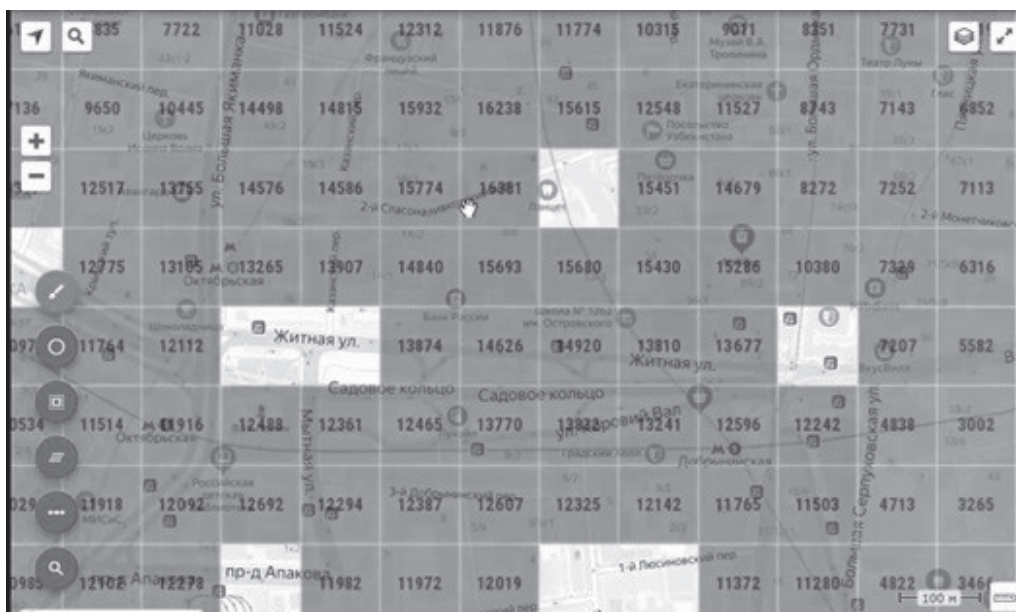


Рисунок 1 – Карта с прогнозом финансовых показателей премиальных магазинов одежды

*Выбор оптимального решения для расположения отделения банка.* Создаются базовые слои, в которых для каждой ячейки выводится исходное значение для каждой переменной (именно в данной ячейке 100x100 метров). Пример: «Население» – в ячейке стоит число, соответствующее количеству людей, проживающему в данном квадрате (рис. 2).

В эти слои будут входить внешние данные: благосостояние, население, трафик, остановки, маршруты, конкуренты банка. После загрузки настраиваем отображение каждой сетки, добавляем цвет, изменяем градиент, добавляем текст и сохраняем.





Рисунок 2 – Базовый слой «Население»

Создаём агрегирующие слои, в которых в одной ячейке содержится число, равное сумме ячеек базового слоя в соответствующем радиусе.

Пример: «Население 1000» – в ячейке стоит число, соответствующее числу людей, проживающему в радиусе 1000 метров от данного квадрата (рис. 3).

Задаём для каждого слоя расстояние:

- Население 1000;
- Благополучие 0;
- Трафик 300;
- Остановки 500;
- Маршруты 500;
- Конкуренция СКБ 500.



Рисунок 3 – Агрегирующий слой «Население 1000»

Создаём бинарные относительные слои, в которых балл ставится в соответствии с принятым экспертным правилом. Создаём слой «Экспертный балл», показывающий приведенную к положительному диапазону сумму бинарных

слоев (рис. 6). В нашем случае – число от 0 до 7 (Минимальная сумма = -2, максимальная = 5, далее пересчет в шкалу 0-7 баллов).

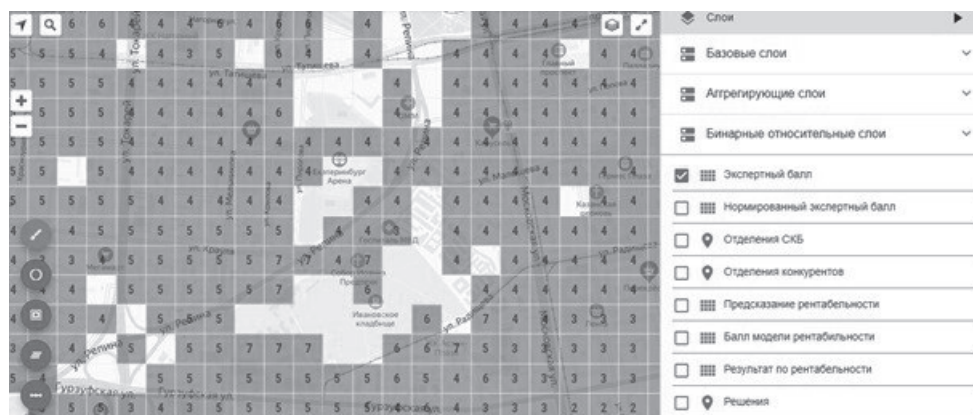


Рисунок 4 – Слой «Экспертный балл»

Создаём слой «Нормированный экспертный балл» (значения от 0 до 50) – переменная, агрегирующая информацию по 6 экспертным правилам (выбраны подрядчиком на основе опыта), заложенным в модель (рис. 5).

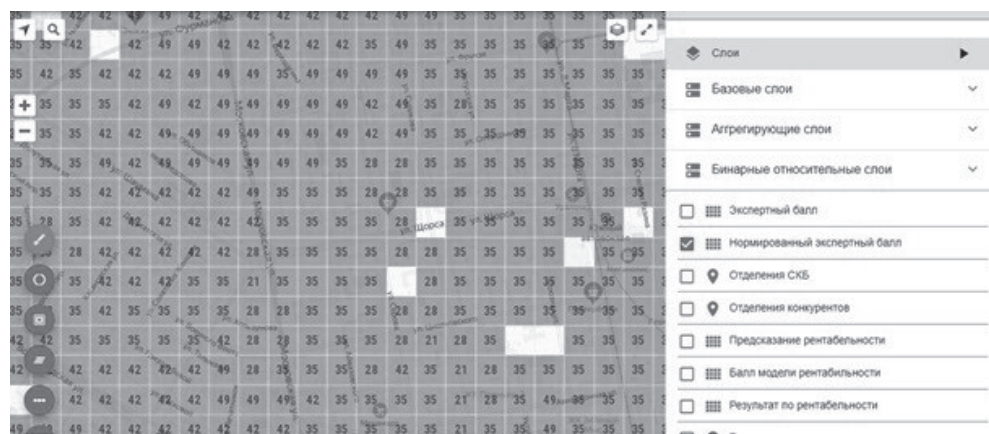


Рисунок 5 – Слой «Нормированный экспертный балл»

Создаём слой метки Отделения СКБ, при котором данные отображаются на карте в виде характеристик каждой метки (рис. 6).

Каждая метка обладает обязательными атрибутами: Адрес и гео-координаты, икона (выбор из Google Material Design Icons), цвет (синий по умолчанию).

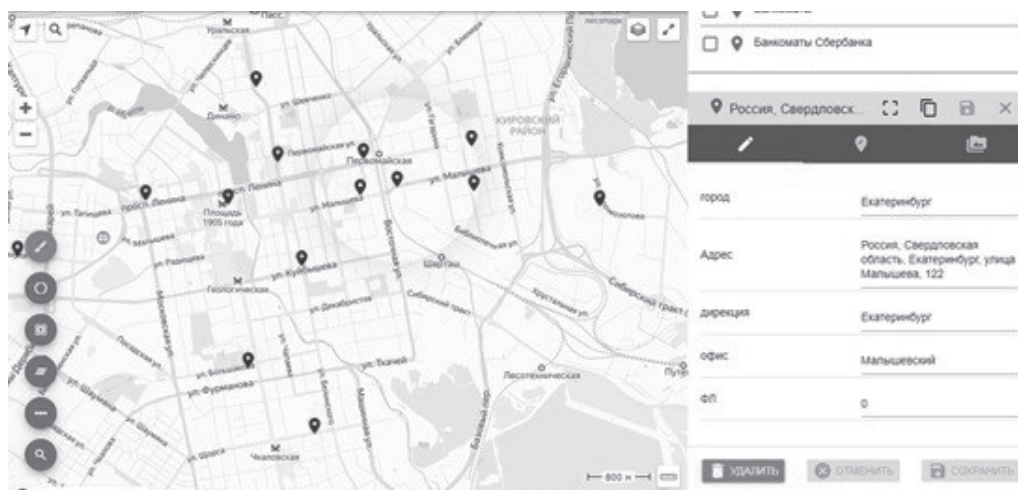


Рисунок 6 – Слой метки «Отделения банка»

Аналогично создаём слой отделения конкурентов. Создаём слой предсказание рентабельности – для каждой ячейки выводится значение предсказанной по модели (машинное обучение) рентабельности офиса, в случае присутствия в этой точке (аналог показателя финансового результата до локации) (рис. 7).

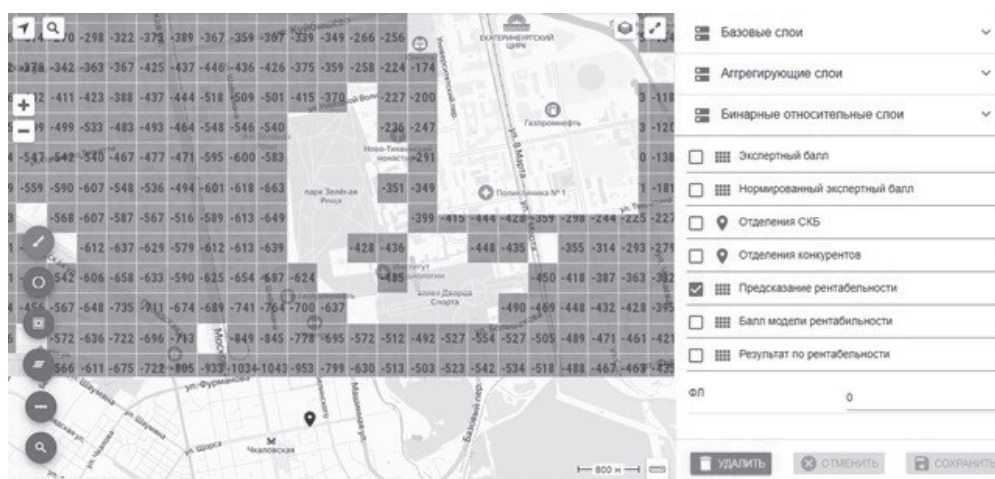


Рисунок 7 – Слой предсказание рентабельности

Создаём слой балл модели рентабельности – результат нормирования (преобразование в сопоставимую шкалу от 0 до 50) переменной «Предсказание рентабельности», которая получена путем машинного моделирования показателя рентабельности для каждого офиса на основе внешних факторов (благополучие, численность населения, торговые центры в радиусе 2000 м., автостоянки/парковки в радиусе 2000 м.) (рис. 8).

На основе анализа большого массива данных, около 850 переменных (трафик, маршруты, точки притяжения потоков, население, конкуренты и пр.), было

выбрано 13 факторов, позволяющих предсказать рентабельность офиса в определенной локации. Оценка рентабельности по модели – расчетный аналог показателя финансового результата до локации. Далее, для сопоставления, показатель преобразовывается (нормируется) в шкалу 0-50 баллов.

Так, например, для отделения банка на основе моделирования было получено предсказание рентабельности -828 или при нормировании 24 балла.

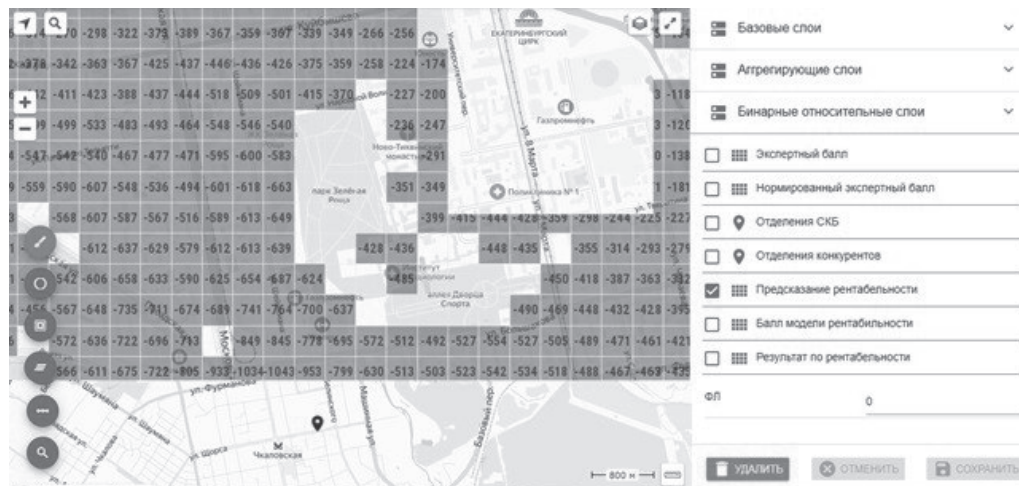


Рисунок 8 – Слой «Балл модели рентабельности»

Создаём слой результат по рентабельности (значения от 0 до 100) – сумма баллов по переменным «Нормированный экспертный балл» и «Балл модели рентабельности». Переменная, учитывающая в равной пропорции результат экспертных оценок и машинного моделирования. Оценка удачности локации с точки зрения возможности достижения высоких показателей рентабельности (рис. 9).

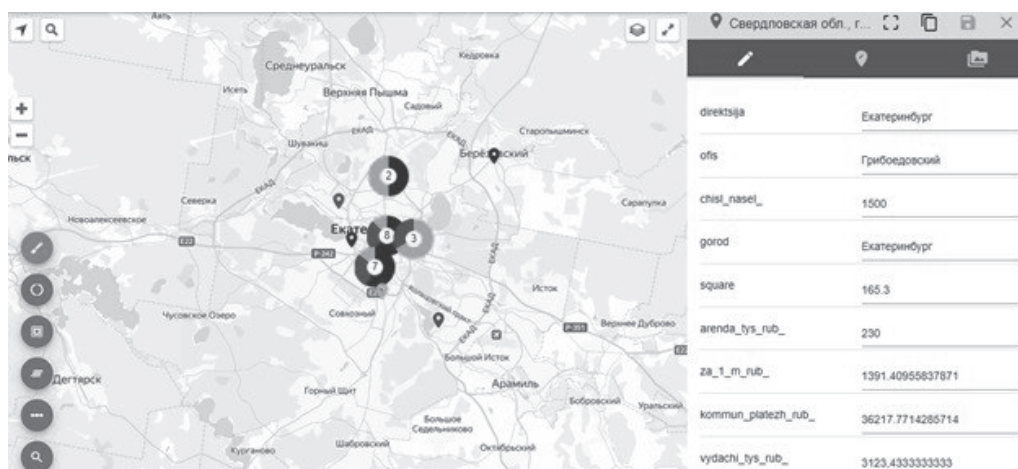


Рисунок 9 – Слой «Результат по рентабельности»

Слой решения – результат анализа сети офисов банка – для каждого офиса оценка его потенциала с учетом предпосылок по локации.

На карте отображается в виде раскрашенной метки в соответствии со следующими правилами.

С помощью геоинформационной системы на карте визуально отображаем потенциальные локации для отделений банка (рис. 10).

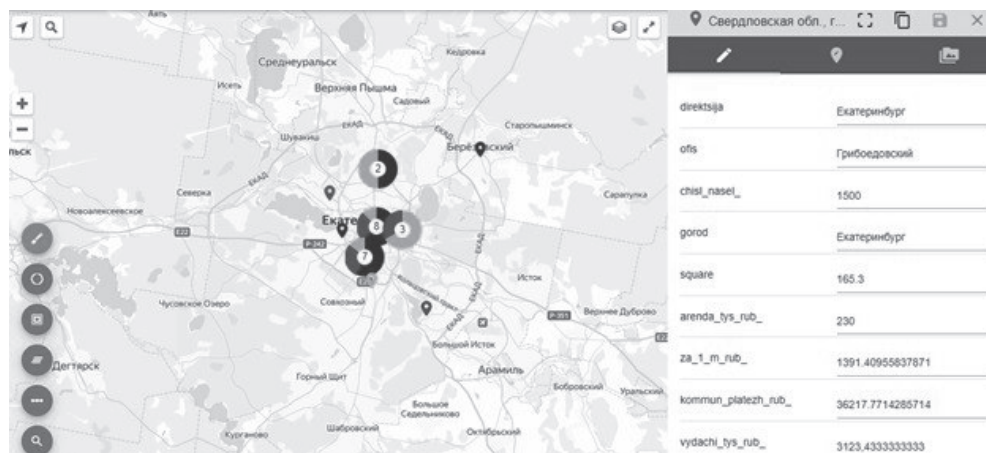


Рисунок 10 – Потенциальные локации для отделений банка

В результате проведенной работы были апробированы комбинированные методы геомаркетинга, позволяющие оценить расположение отделения банка, а также решить задачи размещения новых отделений. Перспективными зонами для открытия отделений банка являются территории с высокой плотностью населения как проживающего на данной территории, так и работающего, с большим числом организаций и объектов торгово-развлекательного назначения. Применение данной методики способствует грамотной организации банковской сети.

#### *Получение данных, обработка и визуализация трехмерных объектов*

3D-моделирование зародилось более 30 лет назад. В 1963 году, когда Иван Сазерленд, ученый-компьютерщик из США, написал программу Sketchpad. Эволюция компьютерной графики началась с идеи Сазерленда создать программное обеспечение, позволяющее компьютеру световым пером «читать» рисунки, изображенные на экране. Sketchpad может создавать много похожих рисунков, используя только один основной чертеж. Более того, когда пользователь корректировал основной чертеж, все производные чертежи изменялись соответствующим образом. Это изобретение принесло его создателю две престижные награды, и сегодня он считается отцом всех программ САПР, которыми пользуются современные 3D-художники.

В течение многих лет 3D-моделирование использовалось в основном для телеиндустрии и рекламы. Но со временем технология расширилась, сильно повлияв на многие области, включая архитектуру, дизайн, медицину и др. В 1990-х годах было выпущено множество программ для компьютерной 3D-графики, что подготовило почву для будущих грандиозных достижений. Первая версия знаме-

нитого Autodesk 3dsMax, одного из лидеров индустрии 3D-рендеринга на сегодняшний день, вышла на рынок в 1990 году.

2000 год ознаменовался выпуском еще одного лидера индустрии 3D-моделирования – Autodesk Revit, программы информационного моделирования зданий. Сегодня эта программа высоко ценится многими архитекторами и инженерами. Более того, в этот период появилось много замечательных программ для фотореалистичного 3D-рендеринга.

В последнее десятилетие использование 3D-моделирования в архитектуре и дизайне стало обычным явлением. В результате этой эволюции у нас теперь есть широкий выбор программного обеспечения для 3D-моделирования и рендеринга для разных целей, конвейеров и бюджетов. Некоторые программы, такие как Blender, бесплатны для использования, поэтому лучше всего подходят фрилансерам и новичкам. Другие варианты платные, некоторые из них предоставляют студентам более дешевую или бесплатную версию.

Современное программное обеспечение компьютерной графики позволяет создавать визуальные эффекты такого высокого качества, что их практически невозможно отличить от реальных фотографий. Материалы, текстуры, естественное и искусственное освещение – все эти и многие другие элементы отражаются в 3D-рендерах с невероятной точностью. 3D-художники активно работают с проверенным программным обеспечением, таким как 3dsMax, Maxwell, Octane, а также обращаются к более новым инновациям, таким как Rhinoceros 3D и ZBrush.

Эволюция 3D-моделирования заключалась не только в том, что количество доступных программ выросло. Расширился и перечень создаваемой ими продукции. Настолько, что сегодня любой эксперт в области инженерии, архитектуры и дизайна может представить свои идеи множеством захватывающих способов. Это могут быть неподвижные изображения пользовательских моделей, интерьера и экстерьера; виртуальная реальность, панорамы и анимация.

Сегодня архитектурная визуализация находится на том уровне, что предлагает не только красивые неподвижные изображения, но и захватывающие дух анимированные и интерактивные варианты презентаций.

Рендеринг представляет собой фотореалистичные изображения, основанные на 3D-моделях. Они могут продемонстрировать, как в реальности будет выглядеть завершенный архитектурный проект. Эти визуальные эффекты позволяют клиентам увидеть будущий дом в фотореалистичном качестве и в естественной среде. Они могут демонстрировать как функциональность, так и настроение экстерьеров и интерьеров.

Компьютерная анимация позволяет зрителям буквально смотреть фильм о строящемся проекте. «Шагающая» или «летающая» виртуальная камера ведет зрителя по всем помещениям и этажам, показывая каждую черту архитектурного замысла. С помощью 3D-анимации клиенты могут видеть переходы между пространствами и понимать дизайн, видя, как они работают в движении.

Интерактивная 3D-панорама помогает «погрузить» зрителя в картину концепта. Клиент может перемещать камеру в разные стороны с помощью мыши или тачпада, чтобы видеть пространство под любым углом. В отличие от отдель-

ных неподвижных изображений, виртуальная панорама обеспечивает полное понимание всего проекта.

*Использование технологии наземного лазерного сканирования для обнаружения трещин в горных массивах*

Анализ растрескивания массивов горных пород является важным этапом в процессе их характеристики, так как это во многом определяет их механическое поведение. Это основная причина, по которой горные инженеры, увлеченные анализом массивов горных пород, требуют максимально подробного и достоверного изучения трещин, возникших в них.

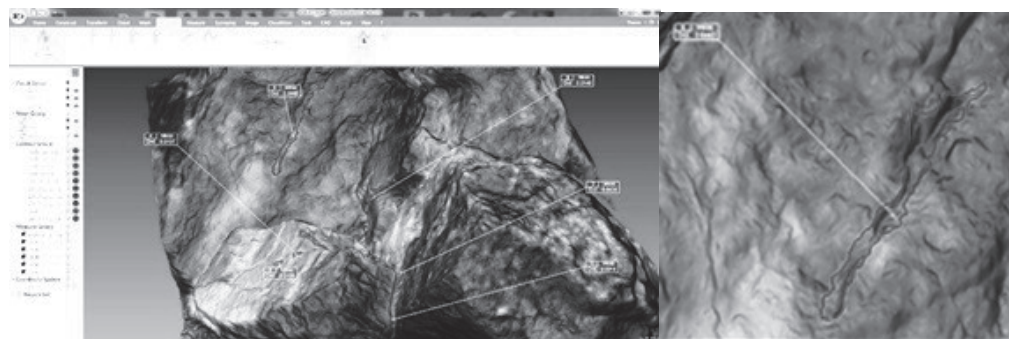
Метрические характеристики, такие как направление и угол обрушения трещин, шероховатость и средние расстояния между отдельными трещинами, чрезвычайно важны для исследования структурных нарушений массива. В процессе формирования метрик этих характеристик возникла необходимость в нескольких методах измерения и графического изображения, различных по природе и технологическим особенностям.

С помощью этих традиционных методов очень часто невозможно получить адекватные количественные данные для полных геомеханических характеристик массива горных пород и для анализа механизмов его нестабильности.

Здесь экспериментально доказана эффективность наземного лазерного сканирования при исследовании структурных нарушений (направления и угла распада трещин) и коэффициента площадного растрескивания горного массива.

Благодаря этой технологии исследование структурных нарушений массивов горных пород приобретает новые количественные и качественные измерения. На основе предельно детализированной 3D-модели даже труднодоступных участков горного массива создается реалистичное скопление трещин и предпосылки для адекватного определения коэффициента растрескивания площади массива. Кроме того, данные наземного лазерного сканирования являются бесспорным источником ценной информации о шероховатости поверхности горных пород.

В качестве объекта эксперимента была выбрана часть горного массива, имеющая хорошо развитые, хорошо заметные трещины. Сканирование проводилось с помощью наземного лазерного сканера Scan Station 2 компании Leica (рис. 11).



**Рисунок 11 – Практические аспекты и технологические особенности при реализации технологии**

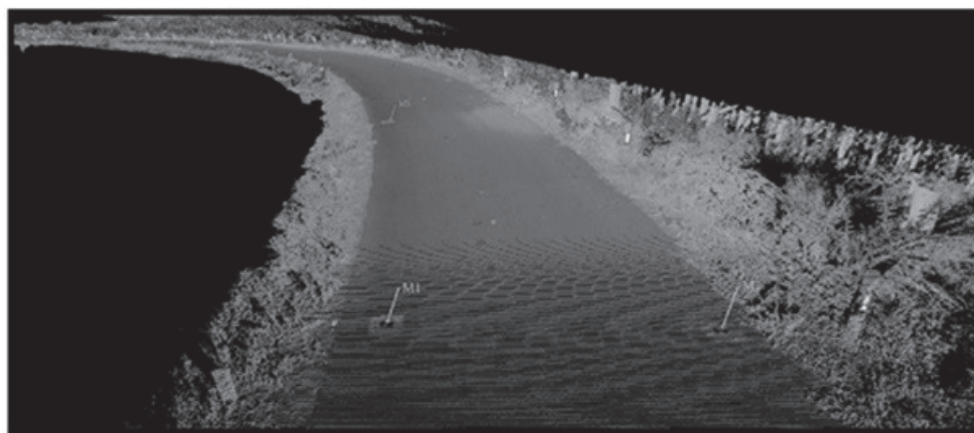
*Использование мобильного лазерного сканирования при ремонте и аудите безопасности дорог*

В этом исследовании дается объяснение современного метода массового сбора данных, который будет использоваться для процесса реабилитации дорог и проектирования аудита безопасности дорожного движения с использованием мобильной картографической системы более известной как мобильное лазерное сканирование (MLS).

Облака точек содержат информацию о цвете точек, которая позже во многом помогла в идентификации конкретных особенностей дороги и дала лучшую визуализацию участков в созданных моделях, что снизило потребность в дополнительных выездах на места для дизайнеров (рис. 12).

Высокий уровень детализации данных облака точек позволяет создавать точные 3D-модели, которые являются основой для дальнейших процессов проектирования.

В зависимости от потребностей, есть много возможностей, начиная с извлечения продольных и поперечных сечений, автоматического извлечения признаков, создания планов съемки 2D / 3D, даже для создания анимации полета по видео.



**Рисунок 12 – Сравнительный анализ между контрольными точками GNSS и их идентичными из облака - географическая привязка данных облака точек**

На рисунке 13 показаны некоторые практические примеры, использованные в проекте.

По 3D-модели были созданы конкретные чертежи САПР в соответствии с потребностями дизайнера и требованиями этапа проектирования. (Например, продольные и поперечные сечения, горизонтальная дорожная разметка, дорожные знаки, инженерные сети, модели местности и т.д.)

*Использование геоинформационных служб для спасательных работ*

В Российской Федерации ведется определенная работа по созданию агентств по чрезвычайным ситуациям с использованием единого номера 112. В этих агентствах активно используются геоинформационные службы, обеспечивающие картирование инцидента, места нахождения транспорта и объектов ме-



стности на карте.

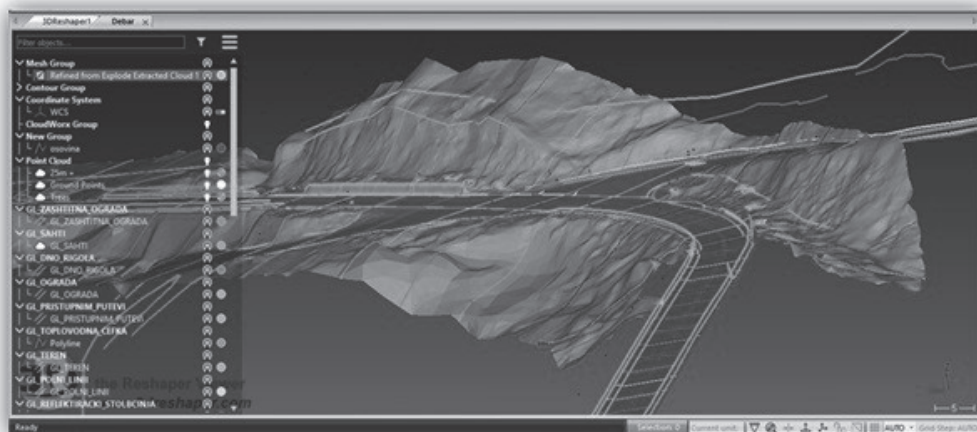


Рисунок 13 – Процесс автоматического извлечения продольных, поперечных сечений, линий излома местности и дорожных элементов

*Виртуальная модель железнодорожной станции*

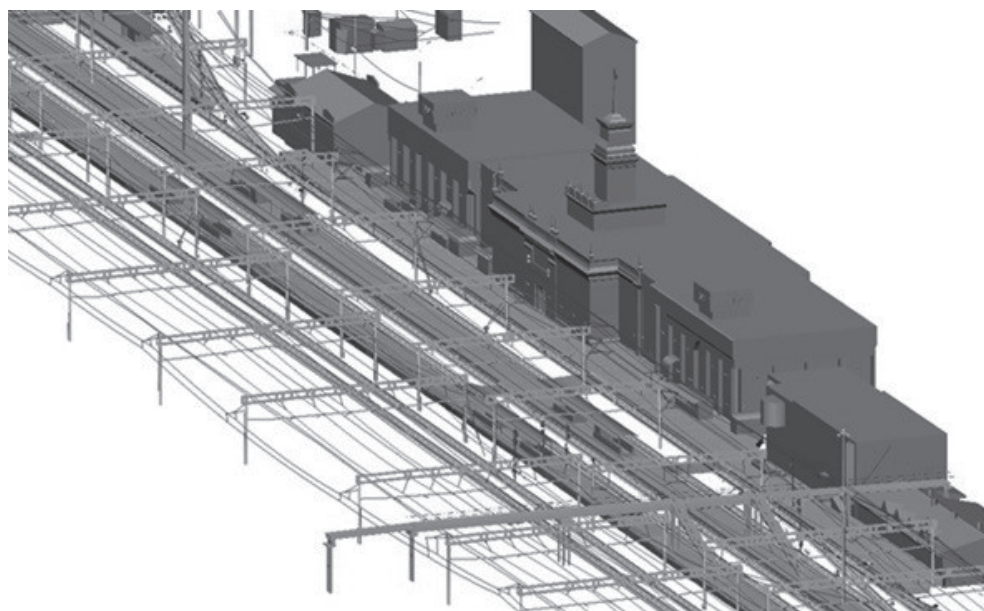
Для железнодорожного транспорта является обеспечение комплексной пространственно согласованной информации по всем сферам его деятельности [6, 23, 32].

Модель железнодорожного транспорта создается методом лазерного сканирования (рис. 14).



Рисунок 14 – Модель железнодорожной станции в виде облака точек

По облаку точек создается трехмерная модель станции (рис. 15).



**Рисунок 15 – Трехмерная модель, построенная по облаку точек**

*Система контроля над безопасностью объектов  
на основе виртуальной реальности*

В связи с антитеррористической деятельностью актуальными являются защита муниципальных объектов. В больницах, школах и других муниципальных объектах существует система охраны. Обычно по периметру охраняемого участка ставятся видеокамеры. Выходы с видеокамер сводятся на контрольно-пропускном пункте.

Процесс контроля за территорией может быть автоматизирован путем создания трехмерной модели. Система защиты муниципальных объектов основана на интеграции средств наблюдения, средств распознавания образов и трехмерной модели местности. Весь анализ производится на программном обеспечении контрольно-пропускного пункта (рис. 16) [1].



Рисунок 16 – Интеллектуальный контрольно-пропускной пункт

Интеллектуальная система позволяет проводить контроль всей территории и осуществляет распознавание движущихся объектов. На этих объектах также стояли системы контроля управлением доступом, которые включали в себя турникеты тревожные кнопки и системы связи (рисунок 17).



Рисунок 17 – Отображение камер по периметру территории

Трехмерная модель является основой для интеллектуального анализа данных (рис. 18).



Рисунок 18 – Модель муниципального объекта в трех измерениях

Геоинформационная система реализует функции мгновенного отображения объектов из просматриваемого или архивированного видео на карте, выделения отдельного объекта в кадре и его географической привязки, 2D и 3D моделирования и оптимизации расположения камер, определения зон видимости и «слепых» зон и отображение тревожных сообщений, например, о пересечениях периметра, оставленных вещах с точной ссылкой на место на карте и т.д.

При создании трехмерной модели исследуемого объекта и на этом этапе при большом объеме работ не заменимо мобильное лазерное сканирование. Технология пространственного моделирования с использованием мобильного лазерного сканирования позволяет решать задачи большинства пространственных инфраструктур, городской, сельской, водной, транспортной. Данные методики и технологии позволяют не только решать задачи построения пространственных моделей, но и решать задачи управления, например, управление цифровой железной дорогой в режиме реального времени с погружением в виртуальную реальность. Преимущество данной технологии состоит в возможности обработки информации содержащей десятки и сотни миллионов пространственных точек без привлечения трудоемких геодезических работ на местности.

*Метод сопоставления изображений графического процессора в больших 3D-сценариях реального мира*

Наложение изображений на огромные трехмерные сценарии реального мира является одним из самых фундаментальных и дорогостоящих вычислительных процессов для интеграции данных зондирования из нескольких источников. Исследования по дистанционному зондированию Земли из космоса, были усилены распространением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и датчиков, способных собирать массивные наборы данных с высокой пространственной разрешающей способностью. Несмотря на успехи в производстве новых камер и

универсальных платформ, были разработаны методы для характеристики изучаемой области путем объединения разнородных данных, таких как тепловизионные, мультиспектральные или гиперспектральные изображения с 3D-моделями высокого разрешения. Отсутствие решений является проблемой для интеграции многомасштабных наборов данных и больших вычислительных усилий, требуемых для отображения изображений на плотных и сложных геометрических моделях. Существуют высоко оптимизированные графические процессоры для отображения геометрии в 3D-моделях, а также распараллеливания на основе графического процессора управления 3D-моделью с учетом нескольких пространственных разделов в соответствии с возможностями графического процессора.

Таким образом, используя преимущества графических процессоров, этот метод открывает двери для встроенных и периферийных вычислительных устройств для отображения 3D-изображений в крупномасштабных сценариях почти в реальном времени.

#### *Визуальный анализ данных траектории судна*

Морские перевозки играют важнейшую роль в международной торговле и коммерции. Массивные суда, плавающие по всему миру, непрерывно генерируют данные траектории судна, которые содержат богатые пространственно-временные модели навигации судов. Анализ и понимание этих моделей ценны для наблюдения и управления морскими перевозками. В качестве основных методов анализа и понимания сложных данных, визуализация и визуальный анализ широко используются в анализе данных траектории судна. Во-первых, вводятся часто используемые наборы данных траектории судна и суммируются основные операции при предварительной обработке данных о траектории судна. Затем мы предоставляем таксономию визуализации и визуального анализа данных траектории судна на основе существующих подходов, и подробно представляются репрезентативные работы. Наконец, мы разъяем перспективы остающихся вызовов и направления будущих исследований.

Морские перевозки играют важнейшую роль в международной торговле и коммерции. Более 90% международных грузоперевозок осуществляется судами. В условиях экономической глобализации число судов, их тоннаж и скорость постоянно увеличиваются. Такая ситуация легла огромным бременем на морские пути, порты и гавани во всем мире. Морские пробки и дорожно-транспортные происшествия на судах происходят часто. Таким образом, для содействия безопасным и эффективным морским перевозкам в 1990-х годах Национальное морское управление и операторы береговой охраны начали наблюдение за морским движением во всем мире, применив Автоматическую идентификационную систему (АИС) с глобальной системой позиционирования (GPS), открыв путь к интеллектуальному управлению морским транспортом на основе данных.

АИС может автоматически идентифицировать суда по всему миру и предоставлять данные (например, название судна, тип судна и идентификатор морской мобильной службы) и даже исторические траектории судов в режиме реального времени. За последние 30 лет АИС уже стала стандартом в навигации судов и наблюдении за морским движением. Одновременно и другие системы появились в области наблюдения и управления морским движением. Все эти сис-

темы предоставляют значительные ресурсы данных, которые привлекли большое количество исследователей, чтобы сосредоточиться на анализе больших данных судов для повышения уровня интеллекта наблюдения и управления морским движением.

Методы визуализации и визуального анализа важны для анализа больших данных. Позволяя интуитивно понятные наблюдения за данными и прямые взаимодействия человека и машины, пользователи могут исследовать данные в интерактивном режиме для получения информации. В последнее десятилетие методы визуализации и визуального анализа широко применяются в анализе траекторных данных в различных областях, особенно в области городских вычислений. В последние годы ресурсы данных в этой области становятся обильными и разнообразными, требования к анализу данных постоянно развиваются, и было предложено много новых подходов. Все более быстрые успехи в анализе данных траектории судна наблюдаются в связи с визуализацией и визуальным анализом. Целесообразно собрать ресурсы данных, обобщить методы предварительной обработки данных о траектории судна и обеспечить таксономию визуализации и визуального анализа данных о траектории судна путем пересмотра ранних работ и изучения новых подходов.

Были введены часто используемые наборы данных о траектории судна и обобщены основные операции по предварительной обработке данных о траектории судна. Затем были изучены методы визуализации и подходы к визуальному анализу. В аспекте визуализации были обобщены три важных типа визуализаций, а именно карта плотности, пространственно-временной куб и граф отношений, которые в основном использовались для визуального представления траекторий судов. В аспекте визуального анализа были классифицированы существующие подходы на три категории в соответствии с фокусирующими аналитическими задачами, а именно анализ пространственного характера, анализ временных характеристик и анализ моделей поведения судов.

Данные о траектории судна обычно содержат три типа информации, а именно судно, рейс и траекторию. Информация о судне предоставляет основы судна, такие как идентификация, название, тип, длина, ширина, тоннаж и регистрация. Информация о рейсе описывает происхождение, пункт назначения и ожидаемую продолжительность рейса. Информация о траектории записывает изменения позиций (например, долготы и широты) и состояний (например, скорости и скорости поворота) судна во время рейса.

Данные о траектории судна могут быть получены из системы АИС и других известных систем, включая систему мониторинга судов (VMS), систему контроля и наблюдения, систему морского кадастра и живую морскую систему. За исключением типичных данных о траектории судна, некоторые источники данных тесно связаны с наблюдением и управлением морским движением.

Эти источники данных могут играть важную роль в анализе траектории судна. Например, глобальная база данных судов предоставляет подробную информацию о судне. Мировой индекс портов и глобальные данные по административным регионам фиксируют информацию о портах и административных под-

разделениях в мире, что обеспечивает анализ траектории судна точками интереса.

Траектории судов имеют много общих точек с траекториями транспортных средств, самолетов, животных и человечества в формах данных и характеристиках данных. Различия обусловлены четырьмя аспектами: 1) непространственными или низко пространственными ограничениями: движение судов имеет непространственные или низко пространственные ограничения в обширном океане; 2) длительная продолжительность: продолжительность рейса обычно составляет несколько недель или даже месяцев из-за длительных рейсов и низких скоростей; 3) медленные изменения: траектории судов редко демонстрируют разрыв, поскольку суда с трудом тормозят внезапно или резко поворачиваются; и (4) изогнутое геометрическое представление: движения судов происходят вдоль океанского геоида. Поэтому при формировании данных о траектории судна необходимо учитывать географические прогнозы.

Предварительная обработка данных необходима для достижения превосходной визуализации данных и плавного взаимодействия данных, поскольку необработанные данные часто имеют недостатки.

Рассмотрим три распространенные операции, а именно очистку, сжатие и агрегацию в предварительной обработке данных траектории судна. Эти три операции также подходят для траекторий транспортных средств и самолетов.

**Очистка траектории.** Проблемы с качеством данных обычно существуют в необработанных данных о траектории судна из-за сбоев устройств, ошибок передачи и ненадлежащей выборки. Поэтому пользователям данных необходимо использовать комбинацию методов для повышения качества данных. Например, использование исследования уникальности для устранения дублирования данных, использование медиан смежных записей данных для заполнения недостающих данных и использование фильтрации Кальмана для стирания шумовых данных.

**Сжатие траектории.** Данные о траектории судна, как правило, имеют большой масштаб из-за экстремальных пространственно-временных диапазонов и высокой частоты дискретизации, что ставит под сомнение эффективность вычислений и эстетику визуализаций. Сжатие траектории является простым и эффективным методом уменьшения масштаба данных о траектории судна. Было предложено много алгоритмов сжатия траектории. Технически алгоритмы сжатия можно разделить на линейные и семантические. Алгоритмы сжатия траектории на основе линий рассматривают траекторию как последовательность отрезков линии и используют отрезок линии для представления набора непрерывных точек траектории. Алгоритмы сжатия траекторий на основе семантических траекторий используют высокоуровневую семантическую информацию для упрощения траекторий судов. Семантическая информация может быть извлечена из траектории (например, поворотные точки и точки изменения скорости) или предоставлена другими источниками данных (например, портами и известными островами). Со стадии применения сжатия алгоритмы сжатия траектории судна можно разделить на офлайн и онлайн.

*Агрегация траекторий.* Агрегация траекторий относится к группировке траекторий по аналогичным признакам данных или шаблонам поведения. Кластеризация является основным методом агрегации траекторий. Способ измерения сходства между траекториями является ядром кластеризации траекторий. В соответствии с различиями в измерениях сходства алгоритмы кластеризации траекторий могут быть разделены на основанные на расстоянии, плотности и на основе статистики.

*Визуализация данных траектории судна.* В последние годы было предложено много визуализаций данных траектории судна. Можно классифицировать эти визуализации на три категории: на основе плотности, на основе куба пространства-времени и на основе отношений.

*Визуализации на основе плотности.* Судовая навигация будет формировать определенное пространственное распределение траектории. Такое пространственное распределение является основой для выполнения многих задач анализа траектории судна, таких как мониторинг морского движения и выявление горячих точек деятельности судов. Классическая визуализация, называемая картой плотности, была широко адаптирована для визуального изображения пространственного распределения. Карта плотности получает информацию о плотности путем вычисления количества судов или количества точек траектории судна, затем использует цветовое отображение для представления значения плотности каждой единицы пространства по цвету, тем самым формируя цветную карту.

#### *Визуальное представление исторических сведений*

В последние годы все больше профессиональных работ и научных исследований сочетают в себе цифровые гуманитарные науки и визуализацию. История, или повествование, является эффективным методом передачи информации и передачи смыслов через последовательность. Цифровое повествование – это новый метод повествования, который интегрирует цифровые технологии в традиционные традиции. Учитывая его характеристики, такие как интерактивность, сюжетно-нелинейность и гибкость результата, в последние годы ученые и практики цифрового человечества активно применяют методы цифрового повествования для создания нескольких типов историй для педагогических, археологических, научных или общественных кампаний и исторических целей. Согласно литературе, современные практики цифрового повествования в цифровом человечестве включают: вычислительные методы, такие как статистический анализ, интеллектуальный анализ текста, визуализация данных, иммерсионный рендеринг и расширенное программирование, мульти платформенная дистрибуция, такая как социальные сети, мобильные устройства и виртуальный музей; и мультимедийные/трансмедийные презентации, такие как устные истории, под кастинг, анимация и долгосрочные интерактивные повествования. Например, один из основных шаблонов для повествования цифрового человечества включает в себя пространственно-временные нарративы путем реализации статических и/или динамических карт и временных линий, таких как геолокация семантической информации в определенном физическом месте, социальные сети, скоординированные с иммерсионными геовизуализациями, мультимедийный картогра-



фический анализ данных о культурном наследии и совместное устное/слуховое историческое отображение на небольших экранах, приспособленных к мобильной мантре.

### Выводы

Таким образом, мы видим, что геоинформационный сервис, как научное направление включает в себя ряд технологий. Это технологии ввода, обработки, хранения, анализа и представление пространственно-распределенной информации и ресурсов [23]. Область применения геоинформационных технологий весьма широка и не поддается полному описанию. В области ввода информации применяются технологии аэрокосмического получения информации, геодезической съемки, снятия с существующих карт и планов, получение уже имеющейся информации из различных компьютерных источников. Картографические и геоинформационные банки данных, содержащие разнородную пространственную и алфавитно-цифровую информацию, могут быть как локальными, так и распределенными. Анализ геопространственных данных применяется в геомаркетинге, аналитических системах разного рода. В разнородных информационных системах геопространственная информация служит для интеграции тематической информации. Визуализация геопространственных данных может производиться на плоскости или в трехмерном пространстве. Причем форма представления данных может варьироваться от схематического представления, например, в форме картографических условных знаков, до реалистических изображений в виртуальной, добавленной и смешанной реальности.

### Литература

1. Fedulin A.A., Tsyshchuk E.A. Method of designing service infrastructure of tourist destinations. – 3rd International Multidisciplinary Scientific Conference on Social Science and Arts SGEM 2016. Conference Proceedings. 2016. С. 401-408.
2. Shaitura S.V., Feoktistova F.M., Minitaeva A.M., Olenov L.A., Chulkov V.O., Kozhaev Y.P. Spatial geomarketing powered by big data // Revista Turismo Estudos & Práticas. 2020. № S5. С. 13.
3. Shaitura S.V., Kozhaev Yu.P., Ordov K.V., Vintova T.A., Minitaeva A.M., Feoktistova V.M. Geoinformation services in a spatial economy // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2018. Т. 9. № 2. С. 829-841.
4. Shaitura S.V., Ordov K.V., Lesnichaya I.G., Romanova Yu. D., Khachaturova S.S. Services and mechanisms of competitive intelligence on the internet // Espacios. 2018. Т. 39. № 45. С. 24.
5. Tsvetkov V.Ya., Shaitura S.V., Minitaeva A.M., Feoktistova V.M., Kozhaev Yu.P., Belyu L.P. Metamodeling in the information field // Amazonia Investiga. 2020. V. 9. № 25. p. 395-402.
6. Tsvetkov V.Ya., Shaitura S.V., Ordov K.V. Digital management railway. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference on Digital Economy (ISCDE 2019), Yekaterinburg, Russia, pp. 181-185. DOI: 10.2991/iscde-19.2019.34.

7. Tsvetkov V.Ya., Shaytura S.V., Sultaeva N. L. Digital Enterprise Management in Cyberspace. Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference «Modern Management Trends and the Digital Economy: from Regional Development to Global Economic Growth» (MTDE 2020), Yekaterinburg, Russia, pp. 361-365 DOI: 10.2991/aebmr.k.200502.059.
8. Артюшенко В.М., Аббасова Т.С. Особенности резервирования источников бесперебойного питания компьютерного и телекоммуникационного оборудования // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2007. Т. 3. № 3. С. 20-23.
9. Артюшенко В.М., Воловач В.И. Особенности отражения зондирующих сигналов радиотехнических устройств обнаружения от протяженных объектов сложной формы // Школа университетской науки: парадигма развития. 2012. № 2-1(6). С. 42-46.
10. Артюшенко В.М., Кучеров Б.А. Анализ энергетических характеристик линий корпоративной сети спутниковой связи // Информационно-технологический вестник. 2014. № 1(1). С. 13-19.
11. Артюшенко В.М., Кучеров Б.А. Оценка экономической эффективности использования автоматизированной системы распределения средств управления космическими аппаратами в условиях ресурсных ограничений // Вестник Поволжского государственного университета сервиса. Серия: Экономика. 2013. № 5(31). С. 131-136.
12. Духихин В.В., Иванов А.С., Межуев И.Ю., Шоков А.В., Якупов И.Ю. Распознавание радиолокационных изображений, полученных в миллиметровом диапазоне, с использованием нейронных сетей // Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей». 2022. № 3. С. 48-58.
13. Лурье И.К. Цифровая эпоха в картографии: от автоматизации к картографическим сервисам // Вопросы географии. 2017. № 144. С. 15-28.
14. Малинников В.А., Соловьев И.В., Цветков В.Я. О развитии геодезического образования // Геодезия и картография. 2010. № 2. С.52-59.
15. Перепелкина Ю.В. Оптимизация критериев математической модели экономикосоциального управления в период социальной активности // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2020. Т. 10. № 4-1. С. 25-31.
16. Савиных В.П. Геоинформатика в системе наук // Образовательные ресурсы и технологии. 2016. № 3(15). С. 106-113.
17. Савиных В.П. Состояние космической геоинформатики. Монографическая статья // Славянский форум. 2021. № 2(32). С. 7-17.
18. Савиных В.П., Цветков В.Я., Шайтура С.В. Основные положения в области геоинформационных технологий // Славянский форум. 2015. № 2(8). С. 293-301.
19. Цветков В.Я. Развитие геосервиса // Науки о Земле. 2017. № 4. С. 31-42.
20. Шайтура Н.С. Визуализация трехмерных сцен // Славянский форум. 2022. № 3(37). С. 312-325.
21. Шайтура Н.С. Выявление, учёт и оценка текущих площадных изменений в лесном фонде по космическим снимкам / В книге: Практическое применение

- космического мониторинга. Розенберг И.Н., Шайтура С.В., Прудкий А.С., Шайтура Н.С. Бургас. 2022. С. 64-78.
22. Шайтура Н.С. Выявление, учёт и оценка текущих площадных изменений в лесном фонде по космическим снимкам / В книге: Практическое применение космического мониторинга. Розенберг И.Н., Шайтура С.В., Прудкий А.С., Шайтура Н.С. Бургас. 2022. С. 105-145.
23. Шайтура Н.С. Геопространственный анализа и стратегии управления ресурсами / В сборнике: Методы и программные средства дистанционного зондирования Земли. Сборник научных трудов. Бургас. 2022. С. 191-208.
24. Шайтура Н.С. Космический мониторинг ледовой обстановки / В сборнике: Методы и программные средства дистанционного зондирования Земли. Сборник научных трудов. Бургас. 2022. С. 164-190.
25. Шайтура Н.С. Мониторинг сельскохозяйственных земель при помощи беспилотных летательных аппаратов / В книге: Практические аспекты применения современных беспилотных летательных аппаратов. Шайтура С.В., Шайтура Н.С., Байгутлина И.А., Замятин П.А. Бургас. 2022. С. 46-57.
26. Шайтура Н.С. Применение космического мониторинга для анализа разновременных карт температур / В сборнике: Методы и программные средства дистанционного зондирования Земли. Сборник научных трудов. Бургас. 2022. С. 122-148.
27. Шайтура Н.С. Управление процессом развития систем точного земледелия в сельском хозяйстве / В книге: Практические аспекты применения современных беспилотных летательных аппаратов. Шайтура С.В., Шайтура Н.С., Байгутлина И.А., Замятин П.А. Бургас. 2022. С. 16-26.
28. Шайтура Н.С., Байгутлина И.А. Основные направления использования геоинформационных систем в землеустройстве и земельном кадастре / В книге: Практические аспекты применения современных беспилотных летательных аппаратов. Шайтура С.В., Шайтура Н.С., Байгутлина И.А., Замятин П.А. Бургас. 2022. С. 37-45.
29. Шайтура С.В. Геоинформационный подход и геоинформационный сервис / В сборнике: Методы и программные средства информационного сервиса в информационных и пространственных полях. Сборник научных трудов. Бургас. 2020. С. 87-93.
30. Шайтура С.В. Геоинформационный сервис / В сборнике: Реестр новых научных направлений. Москва. 2018. С. 205-206.
31. Шайтура С.В. Развитие геомаркетинга // Науки о Земле. 2019. № 4. С. 35-47.
32. Шайтура С.В. Распределенное управление в транспортной сети // Наука и технологии железных дорог. 2017. Т. 1. № 3(4). С. 25-34.
33. Шайтура С.В. Теоретические аспекты геоинформационного сервиса // Славянский форум. 2020. № 1(27). С. 19-28.
34. Шайтура С.В., Белю Л.П., Минитаева А.М., Неделькин А.А. Геоинформационный сервис – новое направление или этап развития цифровой экономики // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 8. С. 100-110.

35. Шайтура С.В., Галкин Д.А. Геомаркетинговый анализ больших данных // Информационные технологии. 2021. Т. 27. № 4. С. 180-187.
36. Шайтура С.В., Ознамец В.В. Теоретические и технологические основы геосервиса / В сборнике: Методы и программные средства информационного сервиса в информационных и пространственных полях. Сборник научных трудов. Бургас. 2020. С. 94-104.
37. Шайтура С.В., Шайтура Н.С., Байгутлина И.А., Замятин П.А. Практические аспекты применения современных беспилотных летательных аппаратов. Бургас. 2022.

УДК [521.322+531.391.5]:[629.78:528]

**Математические модели кратных солнечно-синхронных орбит  
полного покрытия экватора полосами обзора бортовой аппаратуры  
космического аппарата**

**Д.Ю. Виноградов**, аспирант кафедры  
информационные технологии и управляющие системы,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области  
«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза,  
летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

*Описаны математические модели кратных солнечно-синхронных орбит  
полного покрытия экватора полосами обзора бортовой аппаратуры косми-  
ческого аппарата. Показано, что разработанный алгоритм формирования ката-  
лога орбитальных структур космических систем на кратных геометрически  
устойчивых солнечно-синхронных орбитах обладает новизной.*

Орбита, космический аппарат (КА), космическая система (КС), солнечно-  
синхронная орбита (ССО).

**Mathematical models of multiple sun-synchronous orbits of the full  
coverage of the equator by the viewing bands of the spacecraft onboard  
equipment**

**D.Y. Vinogradov**, Postgraduate student of the Department of Information  
Technology and Control Systems,  
State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Moscow Region  
«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union,  
pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

*Mathematical models of multiple sun-synchronous orbits of the full coverage  
of the equator by the viewing bands of the onboard equipment of the spacecraft are  
described. It is shown that the developed algorithm for the formation of a catalog of  
orbital structures of space systems on multiple geometrically stable sun-synchronous  
orbits has a novelty.*

Orbit, spacecraft (spacecraft), space system (CS), solar synchronous orbit (SO).

**Введение.** В соответствии с [5], межвитковое смещение гринвичской  
долготы восходящего узла орбиты  $\Delta L_{\text{МВ}}$  равно углу поворота Земли за один обо-  
рот спутника, т.е.

$$\Delta L_{\text{МВ}} = T_{\text{др}} \omega_3,$$

где  $T_{\text{др}}$  – драконический период обращения КА;  $\omega_3 = 7,29211 \cdot 10^{-5}$  рад/с – угловая скорость вращения Земли.

Это смещение отсчитывается в направлении с востока на запад, т.е. в сторону убывания восточной долготы. Из-за непрерывного смещения плоскости орбиты под влиянием нецентральной поля сил земного притяжения фактическое значение  $\Delta L_{\text{МВ}}$  несколько отличается от расчётного значения по приведённой выше формуле. Так в модели геопотенциала с учётом второй зональной гармоники (сжатия Земли) межвитковое смещение трассы полёта определяется выражением:

$$\Delta L_{\text{МВ}} = T_{\text{др}} \omega_3 - \Delta \Omega, \quad (1)$$

где значение драконического периода обращения  $T_{\text{др}}$  вычисляется по формуле [5]:

$$T_{\text{др}} = 2\pi \left\{ \sqrt{\frac{a^3}{\mu}} - \frac{\varepsilon}{\sqrt{\mu^3 p}} \left[ 3 - \frac{5}{2} \sin^2 i - e_1 (1 - 5 \sin^2 i) \right] \right\}; \quad (2)$$

$\Delta \Omega$  – смещение восходящего узла орбиты за виток полёта, определяемое по формуле [5]:

$$\Delta \Omega = - \frac{2\pi \cdot \varepsilon \cdot \cos i}{\mu p^2}. \quad (3)$$

Обозначим через  $n_{\text{сут}}$  наименьшее целое число, определяемое по формуле:

$$n_{\text{сут}} = E \left[ \frac{2\pi}{\Delta L_{\text{МВ}}} \right]. \quad (4)$$

где  $E[...]$  – оператор взятия целой части числа.

Из выражения (4) следует, что космический аппарат (КА) делает  $n_{\text{сут}}$  витков приблизительно за сутки. Поэтому число  $n_{\text{сут}}$  обычно называют суточным числом витков орбиты или числом витков в полётных сутках [4].

Очевидно, что в начале витка  $n_{\text{сут}} + 1$  КА наиболее близко подойдёт к своему исходному положению на начальном (первом) витке. Расстояние по дуге между 1-ым и  $(n_{\text{сут}} + 1)$ -ым витками трассы полёта называется суточным смещением орбиты  $\Delta L_{\text{сут}}$  и определяется по формуле:

$$\Delta L_{\text{сут}} = 2\pi - n_{\text{сут}} \cdot \Delta L_{\text{мв}}. \quad (5)$$

Если отношение  $2\pi/\Delta L_{\text{мв}}$  является целым числом, то  $\Delta L_{\text{сут}} = 0$  и КА через сутки возвратится в исходное положение. Орбиты такого типа обычно называют орбитами суточной кратности [5].

Если это отношение представляет собой рациональную дробь:

$$\frac{2\pi}{\Delta L_{\text{мв}}} = \frac{n}{D}, \quad (6)$$

где  $n$  и  $D$  – целые числа, то КА возвратится в исходное положение (трасса КА замкнётся) через  $D$  суток, совершив при этом  $n$  полных витков. Интервал замыкания трассы в сутках (число  $D$ ) называют периодом кратности орбиты, а сами такие орбиты – кратными.

В общем случае, когда отношение  $2\pi/\Delta L_{\text{мв}}$  является иррациональным числом, КА вообще не возвратится в исходное положение. Однако стоит отметить, что иррациональное число с любой степенью точности может быть приближено рациональным числом  $n/D$  [1-3]. В частности, как отмечено [2], можно найти десятичную дробь, как угодно мало отличающуюся от данного иррационального числа. Поскольку численные расчёты могут проводиться только с конечным числом десятичных знаков, то это даёт определённые основания говорить, что «все орбиты – кратные», только кратность их может быть весьма велика.

Согласно общему определению, орбита имеет  $D$ -суточную кратность, если за  $D$  эффективных суток КА сделает  $n$  полных витков, где под эффективными сутками подразумевается время, за которое Земля в своём суточном вращении совершает один полный оборот относительно плоскости прецессирующей орбиты [4].

Для солнечно-синхронной орбиты (ССО) эффективные сутки есть средние солнечные сутки  $T_{\text{с.с}} = 86400$  с. Исходя из определения кратной орбиты, для

кратной ССО имеет место соотношение:

$$T_{др} = T_{с.с} \frac{D}{n}. \quad (7)$$

Отношение  $n/D$  может быть представлено в виде правильной дроби:

$$\frac{n}{D} = \left\{ n_{сут} \frac{m}{D} \right\}, \quad (8)$$

где

$$n_{сут} = E[n/D]; \quad (9)$$

$m = 0, 1, 2, \dots, D - 1$  – целое число витков, называемое индексом кратной орбиты, которое совершит КА в период кратности  $D$  за счёт превышения суточного числа витков  $n/D$  над числом витков в полётных сутках  $n_{сут}$ .

Числа  $m$  и  $D$  – взаимно простые натуральные числа.

Выражение (8) позволяет вычислять число витков  $n$  за период кратности орбиты как:

$$n = n_{сут}D + m. \quad (10)$$

Далее для указания кратности орбиты будет использоваться обозначение  $K\{D; n\}$ .

Приближённо значение большой полуоси орбиты на экваторе определяется формулой [4]:

$$a = \left[ \frac{\sqrt{\mu} \cdot T_{с.с}}{2\pi \frac{n}{D}} \right]^{\frac{2}{3}},$$

откуда, средняя высота орбиты вычисляется как:



$$h_{\text{ср}} = \left[ \frac{\sqrt{\mu} \cdot T_{\text{с.с}}}{2\pi \left( n_{\text{сут}} + \frac{m}{D} \right)} \right]^{\frac{2}{3}} - R_e. \quad (11)$$

Из (11) выражается зависимость для отношения  $n/D$ :

$$\frac{n}{D} = \left[ \frac{\sqrt{\mu} \cdot T_{\text{с.с}}}{2\pi(R_e + h_{\text{ср}})} \right]^{\frac{3}{2}}.$$

Учитывая (8), получаем выражение для  $n_{\text{сут}}$ :

$$n_{\text{сут}} = E \left[ \left[ \frac{\sqrt{\mu} \cdot T_{\text{с.с}}}{2\pi(R_e + h_{\text{ср}})} \right]^{\frac{3}{2}} \right]. \quad (12)$$

Выражение (12) позволяет утверждать, что каждое число  $n_{\text{сут}}$  соответствует определённому слою высот. Например, орбиты с  $n_{\text{сут}} = 14$  располагаются в высотном слое [570; 897] км.

Элементарные преобразования выражений (5), (6) и (10) дают соотношение:

$$\Delta L_{\text{сут}} D = \Delta L_{\text{мв}} m = \Delta L_D. \quad (13)$$

Из соотношения (13) следует, что  $m$  межвитковых расстояний равны  $D$  суточным сдвигам. Данное следствие не используется для  $m = 0$ , т.е. для орбит суточной кратности, на которых КА совершает целое число витков за одни полётные сутки.

Величину  $\Delta L_D$  называют сдвигом трассы за период кратности  $D$  [4]. Необходимость использования этого понятия обусловлена тем, что изомаршрутность расположения трасс на поверхности Земли проявляется не на межвитковом расстоянии, а на участке экватора длиной  $\Delta L_D$ , поэтому свойства кратных орбит, например, полноту и частоту покрытия экватора полосами обзора бортовой аппаратуры, можно изучать не на всей длине экватора, а только на его части, рав-

ной сдвигу трассы.

Выполнение условия непрерывности покрытия на экваторе достаточно для выполнения условия непрерывности покрытия на широте  $B \neq 0$  (точнее на  $0 < B \leq i$ ).

Для анализа условий покрытия земной поверхности вводится понятие эквивалентной ширины полосы обзора на экваторе, являющейся проекцией поперечной ширины полосы обзора бортовой аппаратуры КА в узле орбиты на линию экватора [4]:

$$b_{\text{э}} = \frac{b_{\alpha}}{\sin i}, \quad (14)$$

где  $b_{\alpha}$  – поперечная ширина полосы обзора, соответствующая углу обзора  $\alpha$ .

В (14) и далее полагается, что  $b_{\text{э}} < \Delta L_{\text{мв}}$ . В противном случае разрывов покрытия не может быть – задача о покрытии вырождается.

Понятно, что если кратность орбиты задана, то только ширина полосы обзора определяет, будет ли обеспечено полное покрытие или нет.

Поперечная ширина полосы обзора  $b_{\alpha}$  измеряется длиной дуги большого круга сферической Земли с радиусом  $R_e$  и вычисляется с помощью соответствующего значения геоцентрического угла  $\psi_{\alpha}$  по формуле [4]:

$$b_{\alpha} = R_e \psi_{\alpha}, \quad (15)$$

где угол  $\psi_{\alpha}$ , измеряемый в радианах, вычисляется по значениям средней высоты полёта  $h_{\text{ср}}$  и угла обзора  $\alpha$  по формуле:

$$\psi_{\alpha} = 2 \left\{ \arcsin \left[ \left( 1 + \frac{h_{\text{ср}}}{R_e} \right) \sin \frac{\alpha}{2} \right] - \frac{\alpha}{2} \right\}. \quad (16)$$

Поперечную ширину полосы захвата в надире ввиду малости величины угла захвата  $\beta$  можно определить простой формулой:

$$b_{\beta} = 2h \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}. \quad (17)$$

Когда линия визирования оптической оси видеоаппаратуры отклонена от надира на величину угла крена КА  $\gamma$ , значение  $b_\beta$  вычисляется по формуле:

$$b_\beta = R_e \left\{ \arcsin \left[ \left( 1 + \frac{h_{cp}}{R_e} \right) \sin \left( \gamma + \frac{\beta}{2} \right) \right] - \arcsin \left[ \left( 1 + \frac{h_{cp}}{R_e} \right) \sin \left( \gamma - \frac{\beta}{2} \right) \right] - \beta \right\}.$$

Если задано значение поперечной ширины полосы обзора  $b_\alpha$ , то угол обзора  $\alpha$  при заданной высоте  $h_{cp}$ , определяется выражением:

$$\alpha = 2 \operatorname{arctg} \left( \frac{R_e \sin \frac{\psi_\alpha}{2}}{h_{cp} + R_e \sin \frac{\psi_\alpha}{2} \operatorname{tg} \frac{\psi_\alpha}{4}} \right).$$

Условие, обеспечивающее полное покрытие экватора, можно сформулировать в виде следующей теоремы [4].

**Теорема о полном покрытии.** Для того чтобы ССО кратности  $K[D; n]$  была орбитой полного покрытия, необходимо и достаточно, чтобы ширина полосы обзора удовлетворяла условию:

$$b_\varepsilon \geq \frac{\Delta L_{сут} R_e}{m} = \frac{\Delta L_{мв} R_e}{D} = \frac{2\pi R_e}{n} = b_\varepsilon^{\min}, \quad (18)$$

при этом полное покрытие будет осуществлено за время, не превосходящее период кратности  $D$ .

В соотношениях (18) произведения  $\Delta L_{сут} R_e$  и  $\Delta L_{мв} R_e$  представляют собой соответственно линейные меры суточного и межвиткового смещений по длине экватора.

При анализе покрытия экватора полосами обзора аппаратуры КА удобно использовать относительную ширину полосы обзора:

$$\bar{b}_\varepsilon = \frac{b_\varepsilon}{b_\varepsilon^{\min}}. \quad (19)$$

Условие (18) с учётом (19) эквивалентно записи  $\bar{b}_\varepsilon$ .

$$\bar{b}_3 \geq 1. \quad (20)$$

Время, в течение которого достигается сплошное покрытие экватора, называют продолжительностью сплошного покрытия  $T_{СП}$ .

Если  $\bar{b}_3 = 1$ , то полосы обзора без перекрытий один раз накроют все точки межвиткового расстояния (а значит, и весь экватор) за период кратности  $D$ , т.е.  $T_{СП} = D$ .

Если же  $\bar{b}_3 = D$ , что эквивалентно  $b_3 = \Delta L_{МВ}$ , то период сплошного покрытия экватора полосами обзора равен одним суткам.

При  $\bar{b}_3 > 1$  соседние полосы обзора начнут перекрываться, и наряду с одноразовым появятся участки экватора с покрытием два и более раз. Можно сказать, что обеспечивается  $f$ -разовое покрытие некоторой точки экватора, если эта точка  $f$  раз за период кратности  $N$  накрывается полосой обзора бортовой аппаратуры КА. Если данное условие выполняется для любой точки экватора, то имеет место  $f$ -разовое покрытие экватора за период кратности орбиты [4].

**Теорема о частоте покрытия.** Для того чтобы на ССО кратности  $K[D; n]$  частота покрытия экватора за период кратности орбиты равнялась  $f$ , где  $f = 1, \dots, N$ , необходимо и достаточно, чтобы полоса обзора имела относительную ширину  $\bar{b}_3 = f$ .

Теорема с некоторым уточнением может быть распространена на случай  $\bar{b}_3$  – не целое. При этом в качестве  $f$  рассматривается целая часть  $\bar{b}_3$ :

$$f = E[\bar{b}_3]. \quad (21)$$

В этом случае вся длина экватора покрывается полосой обзора за период кратности орбиты  $f$  раз, и  $(\bar{b}_3 - f) \cdot 100\%$  длины экватора покрывается  $f + 1$  раз.

Коэффициент перекрытия полос обзора определяется по формуле:

$$\xi = \left( 1 - \frac{\Delta \bar{L}_{CM}}{\bar{b}_3} \right) \cdot 100\%, \quad (22)$$

где  $\Delta \bar{L}_{CM}$  – относительная линейная величина, равная

$$\Delta \bar{L}_{\text{см}} = \frac{\Delta L_{\text{см}} R_e}{b_3^{\min}};$$

$\Delta L_{\text{см}}$  – разность гринвичских долгот узлов орбит со смежными (перекрываемыми) полосами обзора.

В общем случае за период кратности орбиты смежные полосы обзора системы КА могут перекрываться с разным коэффициентом перекрытия. При этом выделяют величины максимального  $\xi_{\max}$  и минимального  $\xi_{\min}$  коэффициентов перекрытия, которые могут быть как положительными (полосы перекрываются), так и отрицательными (полосы не перекрываются).

Если для орбиты кратности  $K[D; n]$  требуется обеспечить заданную продолжительность сплошного покрытия экватора  $T_{\text{СП}}$ , то бортовая аппаратура должна обладать величиной относительной ширины полосы обзора не менее, чем  $\bar{b}_3^T$  [4]:

$$\bar{b}_3^T = \begin{cases} D, & \text{при } T_{\text{СП}} = 1; \\ D - m(T_{\text{СП}} - 1), & \text{при } 1 < T_{\text{СП}} < k; \\ m, & \text{при } T_{\text{СП}} = k; \\ 1, & \text{при } T_{\text{СП}} = D, \end{cases} \quad (23)$$

где

$$k = E \left[ \frac{D}{m} \right]^+;$$

$E[\dots]^+$  – оператор получения наибольшего ближайшего целого числа. Так если  $A$  – целое число, то  $E[A]^+ = A$ ; если  $A$  – рациональное число, то  $E[A]^+ = A + 1$ .

Зная  $\bar{b}_3^T$ , легко определяется требуемое число КА с шириной полосы обзора  $\bar{b}_3$ , размещённых в одной плоскости орбиты, для обеспечения времени  $T_{\text{СП}}$ :

$$S^T = E \left[ \frac{\bar{b}_3^T}{\bar{b}_3} \right]^+ \quad (24)$$

Числа КА, рассчитываемого по формуле (24), будет достаточно для обеспечения сплошного покрытия экватора за время  $T_{СП}$ , если КА разместить таким образом, чтобы полосы обзора соседних спутников перекрывали или касались друг друга. Но такая расстановка КА не всегда удовлетворяет выдвигаемому требованию об их равномерном расположении в плоскости орбиты. В случае выполнения указанного требования может получиться такой вариант расстановки КА, что появятся участки на экваторе, наблюдение которых в течение времени  $T_{СП}$  окажется невозможным, чему при вычислениях будет соответствовать наличие отрицательных коэффициентов перекрытия. Тогда подобные орбиты исключаются из рассмотрения.

При известной кратности орбиты и ширине полосы обзора может потребоваться определить период сплошного покрытия экватора за период кратности орбиты одним КА, если при этом частота покрытия экватора  $f \geq 2$  (при  $f = 1$   $T_{СП} = D$ ).

Используя (8), получается:

$$T_{СП} = \begin{cases} 1, & \text{при } f = D; \\ E \left[ \frac{D - f}{m} \right]^+ + 1, & \text{при } m < f < D; \\ k, & \text{при } f = m; \\ D, & \text{при } f = 1. \end{cases} \quad (25)$$

В выражениях (23) и (25) отсутствует взаимосвязь между периодом сплошного покрытия экватора и относительной шириной полосы обзора, когда соответственно  $k < T_{СП} < N$  и  $2 \leq \bar{b}_3 < m$ . Для охвата всех возможных вариантов требований к характеристикам сплошного покрытия экватора разработаны алгоритмы, позволяющие однозначно определить связь между  $T_{СП}$  и  $\bar{b}_3$  в обозначенных диапазонах значений.

Алгоритмы получены при анализе распределения полос обзора на интервале, равном одному межвитковому расстоянию, поскольку за период кратности орбиты на межвитковое расстояние приходится  $D$  не повторяющихся расположений полос обзора. Значит, если полосами обзора обеспечивается сплошное покрытие межвиткового расстояния, то ими будет покрыта вся длина экватора.

Для удобства вычислений значения межвиткового и суточного смещений приведены к относительным величинам по аналогии с  $\Delta L_{см}$ . Поэтому

$$\Delta\bar{L}_{\text{мв}} = D; \Delta\bar{L}_{\text{сут}} = m.$$

За счёт того, что расчёты ведутся в относительных величинах, особенностью обоих алгоритмов является выполнение операций с целыми числами.

**Алгоритм А.** Определение относительной ширины полосы обзора  $\bar{b}_3^T$  при известной величине периода сплошного покрытия экватора  $T_{\text{СП}}$ .

1. Формируется массив разностей  $\Delta\bar{L}_j$  между относительными гринвичскими долготами узлов с номерами  $j = 1 \dots T_{\text{СП}}$ , приходящимися на одно межвитковое расстояние, и долготой узла, расположенного в левом крае этого межвиткового расстояния. Значение  $j$  определяется номером суток, в которые получено расположение узла внутри межвиткового расстояния. Величина  $\Delta\bar{L}_{\text{нач.тр}}^j$  рассчитывается по формуле

$$\Delta\bar{L}_j = m(j - 1)$$

и приводится к интервалу  $(0; D)$ . Также в массив записывается величина  $\Delta\bar{L}_{\text{мв}} = D$ .

2. В сформированном массиве производится сортировка его элементов по возрастанию, но с сохранением привязки к каждому элементу его номера  $j$ .

3. Формируется второй массив, элементами которого являются пары чисел  $[\Delta\bar{L}_{\text{см}}; j]$ : разность относительных гринвичских долгот между смежными узлами (разность между соседними элементами первого массива) и наибольший номер узла из рассматриваемых на итерации.

4. Второй массив сортируется по убыванию  $\Delta\bar{L}_{\text{см}}$ . При равенстве у соседних элементов величины  $\Delta\bar{L}_{\text{см}}$  большим считается тот, у которого больше номер  $j$ .

5. Выбирается первый элемент отсортированного второго массива  $[\Delta\bar{L}_{\text{см}}; j]^1$ . Тогда искомая относительная ширина полосы обзора  $\bar{b}_3^T = \Delta\bar{L}_{\text{см}}^1$ . При этом если  $j^1 = T_{\text{СП}}$ , то сплошное покрытие экватора обеспечивается за время  $T_{\text{СП}}$ . Если же  $j^1 < T_{\text{СП}}$ , то экватор покрывается полосой обзора  $\bar{b}_3^T$  за время  $j^1$ .

**Алгоритм Б.** Определение периода сплошного покрытия экватора  $T_{\text{СП}}$  при известной величине относительной ширины полосы обзора  $\bar{b}_3$ .

Определяется частота покрытия экватора  $f$  по формуле (21). Формируется цикл по  $j = 1 \dots D$ . На каждой итерации:

1. Вычисляется величина  $\Delta\bar{L}_j$ :

$$\Delta \bar{L}_j = m(j - 1),$$

приводимая к интервалу  $(0; D)$ .

2. Определяется диапазон покрытия межвиткового расстояния полосой обзора  $j$ -го узла, представляемый в виде целочисленного множества  $w_j = \{\Delta \bar{L}_j + 1; \Delta \bar{L}_j + f\}$ .

3. Осуществляется объединение множеств:  $w_j \cup W$ , где  $W$  – результирующее множество.

4. Цикл прекращается, когда размер множества  $W$  равен  $D$ . В этом случае период сплошного покрытия равен последнему значению  $j$ :  $T_{\text{СП}} = j$ .

Приведённые алгоритмы примечательны тем, что, в отличие от подхода, изложенного в [2], они позволяют определить необходимую ширину полосы обзора для всего диапазона  $T_{\text{СП}} \in [1; D]$ , где  $T_{\text{СП}}$  – целое число суток.

Таким образом, соотношения (23) и (25) для орбиты кратности  $K[D; n]$  с учётом дополнений записываются в виде:

$$\bar{b}_3^T = \begin{cases} D, & \text{при } T_{\text{СП}} = 1; \\ D - m(T_{\text{СП}} - 1), & \text{при } 1 < T_{\text{СП}} < k; \\ m, & \text{при } T_{\text{СП}} = k; \\ \bar{b}_3^A, & \text{при } k < T_{\text{СП}} < D; \\ 1, & \text{при } T_{\text{СП}} = D, \end{cases} \quad (26)$$

где  $\bar{b}_3^A$  – относительная ширина полосы обзора, вычисляемая по алгоритму А;

$$T_{\text{СП}} = \begin{cases} 1, & \text{при } f = D; \\ E \left[ \frac{D - f}{m} \right]^+ + 1, & \text{при } m < f < D; \\ k, & \text{при } f = m; \\ T_{\text{СП}}^B, & \text{при } 1 < f < m; \\ D, & \text{при } f = 1, \end{cases} \quad (27)$$

где  $T_{\text{СП}}^B$  – период сплошного покрытия экватора, вычисляемый по алгоритму Б.



**Выводы.** Разработанный алгоритм формирования каталога орбитальных структур КС на кратных геометрически устойчивых ССО обладает новизной, заключающейся в том, что данный алгоритм позволяет определить необходимую ширину полосы обзора в зависимости от заданного периода сплошного покрытия экватора для диапазона значений  $T_{\text{СП}} \in [1; D]$ , где  $T_{\text{СП}}$  – период сплошного покрытия экватора, измеряемый целым числом суток;  $D$  – период кратности орбиты в сутках. А существующий подход, изложенный в [4], позволяет производить расчёты ширины полосы обзора для более узкого диапазона значений периодичности покрытия экватора  $T_{\text{СП}} \in \left[1; E \left[\frac{D}{m}\right]^+\right]$ , где  $m$  – индекс орбиты.

*Литература*

1. Артюшенко В.М., Воловач В.И. Анализ математических моделей информационных параметров сигналов, обрабатываемых радиолокационными устройствами наблюдения ближнего действия // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2014. № 5. С. 14-20.
2. Артюшенко В.М., Воловач В.И. Особенности определения дальности действия радиотехнических устройств обнаружения охранных систем // Школа университетской науки: парадигма развития. 2012. № 3(7). С. 77-80.
3. Артюшенко В.М., Воловач В.И. Оценка погрешности измерения параметров движения протяженных объектов на фоне коррелированных аддитивных негауссовских помех // Двойные технологии. 2015. № 2(71). С. 19-22.
4. Чернов А.А., Чернявский Г.М. Орбиты спутников дистанционного зондирования Земли. М: Радио и связь, 2004. 202 с.
5. Эльясберг П.Е. Введение в теорию полёта искусственных спутников Земли. М: Наука, 1965. 540 с.

УДК 004.942

**Разработка информационной системы для мониторинга напряженно-деформированного состояния изделия по данным тензометрии**

**Е.Е. Истратова**, кандидат технических наук,  
доцент кафедры автоматизированных систем управления,  
**Е.В. Глинин**, студент 4 курса,  
Новосибирский государственный технический университет (НГТУ),  
г. Новосибирск

*В статье приведены результаты разработки информационной системы для мониторинга напряженно-деформированного состояния изделия по данным тензометрии. Отличительными особенностями программы являются применение микросервисной архитектуры, позволяющей масштабировать систему, заменять, тестировать и настраивать каждый из модулей отдельно от других, а также разработка регрессионной модели для корректировки точности измерений напряженно-деформированного состояния изделия, получаемых на основе экспериментальных данных. Готовый программный продукт может применяться либо как встраиваемый модуль, либо в качестве самостоятельного программного продукта.*

Тензометрия, регрессионный анализ, информационная система, микросервисная архитектура.

**Development of the information system for monitoring the stress-strain state of a product according to strain gauge data**

**E.E. Istratova**, Ph.D., Associate Professor of the Automated Control Systems Department,  
**E.V. Glinin**, 4th year student,  
Novosibirsk State Technical University (NSTU), Novosibirsk

*The article presents the results of the development of an information system for monitoring the stress-strain state of the product according to strain gauge data. Distinctive features of the program are the use of a microservice architecture that allows scaling the system, replacing, testing and configuring each of the modules separately from others, as well as the development of a regression model to correct the accuracy of measurements of the stress-strain state of a product obtained on the basis of experimental data. The finished software product can be used either as an embedded module or as a standalone software product.*

Tensometry, regression analysis, information system, microservice architecture.

Последние несколько десятилетий связаны с увеличением интереса к более активному применению информационных технологий для задач сбора, обработки и визуализации информации, что дает возможность не только повысить качество, но и сократить время на обработку экспериментальных данных. Поэтому в настоящее время различные программные продукты используются в разных отраслях промышленности.

Применение информационных технологий позволяет просчитать характеристики готового сырья, скорректировать параметры технологического процесса в зависимости от продукции, поступающей на предприятие, рассчитать и спрогнозировать изменение прочностных характеристик натуральных испытаний.

В связи с этим разработка и модернизация программного обеспечения предоставляет возможности для совершенствования системы оценки качества исходных данных, прогнозирования показателей работы оборудования, а также для регулирования операционных процессов в режиме реального времени в случае отклонения их от заданных режимов работы. Все это в итоге стимулирует выход на качественно новый уровень развития производства в целом и свидетельствует об актуальности и востребованности данного направления.

На сегодняшний день тензометрия является одним из наиболее популярных методов оценивания напряженно-деформированного состояния изделий в различных отраслях промышленности. Так, согласно литературным источникам, тензометрия применяется для диагностики элементов горнодобывающего оборудования [1], для мониторинга трубопроводов нефтеперерабатывающих производств [2], в качестве средства неразрушающего контроля в системах технической диагностики высотных сооружений [3] и в авиации [4].

Помимо этого, методы тензометрии также могут быть использованы для измерения напряжения полимеризации [5], при анатомических исследованиях [6], в машиностроении [7], а также для исследования и оценивания инженерно-технического состояния потенциально-опасных объектов в химической промышленности [8] и в строительстве [9].

Таким образом, причиной широкого распространения методов тензометрии является их способность решать технические задачи, для которых классические аналитические и численные способы не дают точных результатов.

Цель работы заключалась в создании информационной системы для сбора, хранения и обработки данных натуральных испытаний изделия. В дальнейшем готовое программное обеспечение может быть использовано для прогнозирования напряженно-деформированного состояния других объектов при проведении их прочностных испытаний.

Для реализации указанной цели были решены задачи по анализу предметной области; характеристике экспериментального стенда; исследованию параметров технологического процесса, влияющих на точность измерений; выбору инструментальных средств для реализации информационной системы и непосредственному ее проектированию. Перечисленные задачи можно разделить на две группы, связанные с исследованием предметной области и непосредственно с разработкой информационной системы.

Экспериментальные исследования в рамках выполнения работы включали в себя эксперимент с нагружением двутавровой балки, имеющей несколько концентраторов, для разработки программного обеспечения, способного записывать, хранить и обрабатывать данные с натурного эксперимента.

В рамках эксперимента к двутавровой балке длиной рабочей части 2200 мм и профилем 16Б2 (ГОСТ 26020-83), имеющей концентраторы в стенке и в полках, была приложена нагрузка с силой 500 кгс. Стенд для испытаний представлял собой четыре пакета перекладин, имитирующих заделку, и сервопривод, который нагружает балку заданным усилием. Схема стенда представлена на рисунке 1.

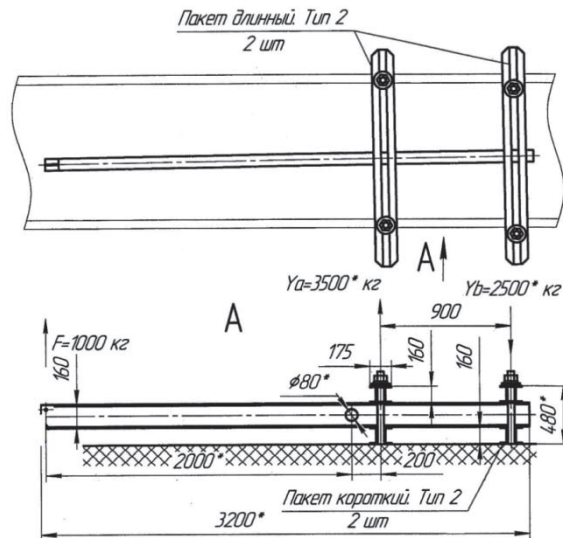


Рисунок 1 – Экспериментальный стенд

В качестве изделия была рассмотрена двутавровая балка, имеющая шесть отверстий, пять из которых на рабочей части выполняли роль концентраторов, шестое отверстие являлось точкой приложения силы. Для балки была проведена серия экспериментов с нагружением и записью значений напряженно-деформированных состояний. На слайде приведена схема размещения тензодатчиков на двутавре. В местах концентрации напряжений был установлен 21 тензодатчик, из них: по 3 датчика – у каждого отверстия в полках, 6 датчиков – вокруг отверстия в стенке, и по 1 – в каждой полке. С их помощью были зафиксированы и переданы в информационную систему значения деформаций. Схема размещения датчиков на поверхности балки представлена на рисунке 2.

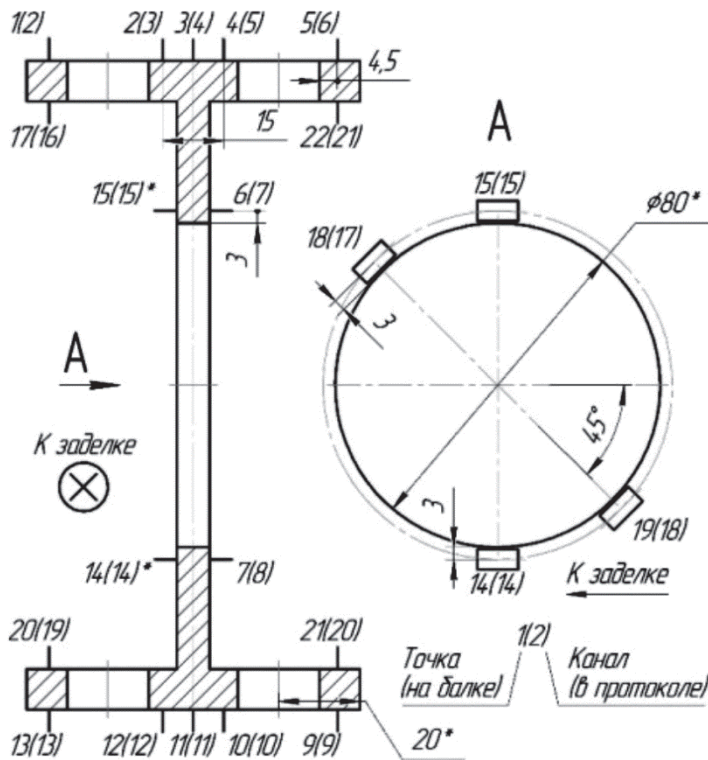


Рисунок 2 – Расположение тензодатчиков и их нумерация

Измерение напряженно-деформированного состояния деталей осуществляется за счет использования тензодатчиков и тензомостов. Несмотря на устойчивость к влиянию окружающей среды, тензомосты существенно проигрывают тензодатчикам по стоимости, простоте монтажа и использования. В связи с этим, именно тензодатчики получили большее распространение в промышленности для проведения натурных испытаний.

Измерения тензодатчиками в основном производятся при различных испытаниях способом прямой наклейки их на испытываемый объект. Тензорезисторы позволяют регистрировать незаметные удлинения или деформации, встречающиеся в конструкциях. Измерение таких деформаций позволяет измерить механическое напряжение от приложенных к объекту нагрузок и напряжений, вызванных ударом в конструкциях для различных форм и материалов. Также распространено их применение в качестве промежуточных измерительных преобразователей различных датчиков, которые применяются для определения различных механических величин [10,11].

Несмотря на простоту монтажа и применения, основным недостатком тензометрических датчиков, ограничивающих их использование, является их зависимость от влияния окружающей среды. В качестве основных параметров микроклимата помещения, значительно влияющих на показания тензометрических датчиков, можно выделить температуру и влажность воздуха. Причем про-

блема нестабильной работы тензометрических датчиков при изменении значений температуры воздуха зависит от следующих факторов:

1. зависимость температурного коэффициента сопротивления резистора от сопротивления на нем;
2. наличие паразитного тензорезистивного эффекта, возникающего вследствие разницы температур материала резистора и его подложки.

При повышении температуры воздуха в помещении увеличивается разность температур между материалом и подложкой. Это приводит к деформации тензодатчика и снижению чувствительности измерений, из-за чего, в свою очередь, появляются погрешности при проведении исследований. Понижение температуры воздуха в помещении приводит к снижению температурного коэффициента сопротивления резистора, что отрицательно влияет на диапазон растяжения и сжатия изделия [12].

Таким образом, чем ниже температурный коэффициент сопротивления тензодатчика, тем стабильнее резистор в условиях колебаний температур, причем учитывают также и клеящий состав, который оказывает влияние на появление погрешностей измерений. Помимо этого, большое значение имеет основа, на которую нанесен полупроводник. Одним из самых стабильных видов тензодатчиков являются фольговые резисторы, у них температурный коэффициент сопротивления может составлять всего  $\pm 0,05 \text{ ppm/}^\circ\text{C}$  с колебаниями в диапазоне от 0 до  $+60^\circ\text{C}$ . При этом самый большой температурный коэффициент сопротивления наблюдается у датчиков на основе углеродной проводящей пленки, он может достигать  $500 \text{ ppm/}^\circ\text{C}$  и погрешность измерений будет не менее 5-10%. Поэтому такие тензодатчики не используются там, где нужна высокая точность измерений.

Защита тензодатчиков от действия окружающей среды может осуществляться различными способами, наибольшее распространение из которых получили следующие:

- 1) легирование полупроводников;
- 2) использование константановой проволоки;
- 3) соединение двух полупроводников с р- и n-проводимостью;
- 4) применение термических чехлов для защиты от низких и высоких температур.

Полная компенсация воздействия окружающей среды не возможна особенно в случае экстремальных условий эксплуатации, поэтому наибольшая точность достигается в стабильных условиях и с применением защитных устройств и покрытий [13,14].

Для повышения точности измерения, помимо параметров микроклимата помещения, также необходимо учитывать влияние кабеля, которым тензодатчик подключается к весовому индикатору. При использовании постоянного напряжения питания существуют два основных эффекта:

- 1) Влияние на чувствительность из-за падения напряжения по длине кабеля. В данном случае, если тензодатчик поставляется уже со стандартным кабелем определенной длины, то чувствительность определяется

заводскими характеристиками. Для тензодатчиков с разъемами или при наращивании длины кабеля происходит потеря чувствительности измерений из расчета примерно 0,37% на каждые 3 метра для кабеля диаметром 0,32 мм и 0,09% на каждые 3 метра для кабеля диаметром 0,65 мм. Данная величина погрешности может быть устранена за счет применения шестипроводного соединения датчика с контроллером.

- 2) Эффекты, связанные с изменением сопротивления кабеля из-за температуры окружающей среды. Изменение температуры оказывает влияние на измерительные характеристики весовой системы. Для 6-жильных кабелей этот эффект устраняется. Для 4-жильных кабелей эффект влияния температуры при стандартной длине кабеля, поставляемого с тензодатчиков, не оказывает сильного влияния, если тензодатчик и кабель находятся одновременно при той же температуре. Для нестандартной длины кабеля будет присутствовать эффект от изменения температуры. Эффект от добавления 3 метров к кабелю с диаметром 0,32 мм вызывает снижение чувствительности, равное 0,0008% на каждый 0С. Если добавить 3 метра к кабелю с диаметром 0,65 мм, то снижение чувствительности составит по 0,0002% на каждый 0С.

Погрешности в результате неправильной установки и монтажа тензодатчиков могут возникать из-за следующих причин:

- 1) плохое закрепление тензорезистора на объекте измерения;
- 2) «кажущаяся» деформация тензорезистора вследствие различия коэффициентов линейного расширения материала тензорезистора и упругого элемента, с которым он связан;
- 3) ползучесть материала из-за нарастания во времени остаточной деформации при длительных нагрузках, что приводит к изменению сопротивления тензорезистора;
- 4) систематическая погрешность, вызванная термоэлектрическим эффектом в местах присоединения контактных проводов к датчику;
- 5) влияние сопротивления изоляции между наклеенным тензорезистором и металлической поверхностью объекта измерения, которая зависит от свойств подложки и клея, толщины слоя и влажности окружающей среды;
- 6) влияние сопротивлений контактных соединений;
- 7) влияние внешних электрических полей и, как следствие, возникновение паразитных электрических напряжений.

Таким образом, на основании предварительного исследования было установлено, что на ход натурных испытаний влияют две группы параметров. К первой группе относятся характеристики, задаваемые на этапе монтажа и подготовки стенда к работе, ко второй – оказывающие влияние непосредственно на ход эксперимента. Так, воздействие могут оказать только параметры микроклимата помещения и параметры, связанные с нагрузкой, поскольку при использовании одних и тех же датчиков при необходимом качестве их наклеивания их диаметр и длина кабеля остаются неизменными.

Из собранных данных было установлено, что наиболее значимыми характеристиками микроклимата помещения являются температура и влажность воздуха в помещении. Повышение этих параметров оказывает отрицательное воздействие на чувствительность тензометрических датчиков, вследствие чего сильно искажаются поступающие с них сигналы. Для повышения точности измерений необходимо учитывать значения температуры и влажности воздуха в помещении путем замеров и внесения их в программу. Корректировка измерений будет производиться автоматически на основании внесенных данных.

Согласно собранным данным об условиях микроклимата помещения, было установлено, что значения температуры воздуха меняются в пределах от 10 до 30 °С, а значения относительной влажности воздуха – в пределах от 15 до 60%. Также в ходе испытаний стенда были измерены величины отклонений в значениях напряженно-деформированного состояния, зависящие от изменений микроклимата помещения. Эти данные послужили основой для получения уравнения множественной регрессии.

Таким образом, для повышения точности результатов натуральных испытаний было изучено комплексное действие всех параметров, оказывающих влияние на процесс тензометрии. Для реализации данной задачи был выполнен статистический анализ собранных в ходе экспериментов данных, была рассчитана регрессионная модель, полученные результаты были учтены при разработке программного обеспечения для корректировки значений, поступающих с тензометрических датчиков.

Независимыми переменными в исследовании выступают значения температуры и влажности воздуха в помещении. Зависимой переменной является величина отклонения напряжения, получаемая в процессе нагружения изделия. Для оценки параметров уравнения множественной регрессии был использован метод наименьших квадратов.

В результате расчетов было получено уравнение множественной регрессии (1):

$$Y = 0.0349 + 0.0049 X_1 - 0.0019 X_2 \quad (1)$$

где  $Y$  – погрешность измерений напряженно-деформированного состояния; 0.0349 – свободный член, определяющий значение напряжения, в случае, когда все объясняющие переменные  $X_j$  равны 0; 0.0049 и  $X_1$  – значения коэффициента и непосредственной величины температуры воздуха в помещении; 0.0019 и  $X_2$  – значения коэффициента и непосредственной величины влажности воздуха в помещении.

В результате исследования параметров микроклимата на точность измерений напряженно-деформированного состояния изделия была определена зависимость между указанными величинами, представленная на рисунке 3.



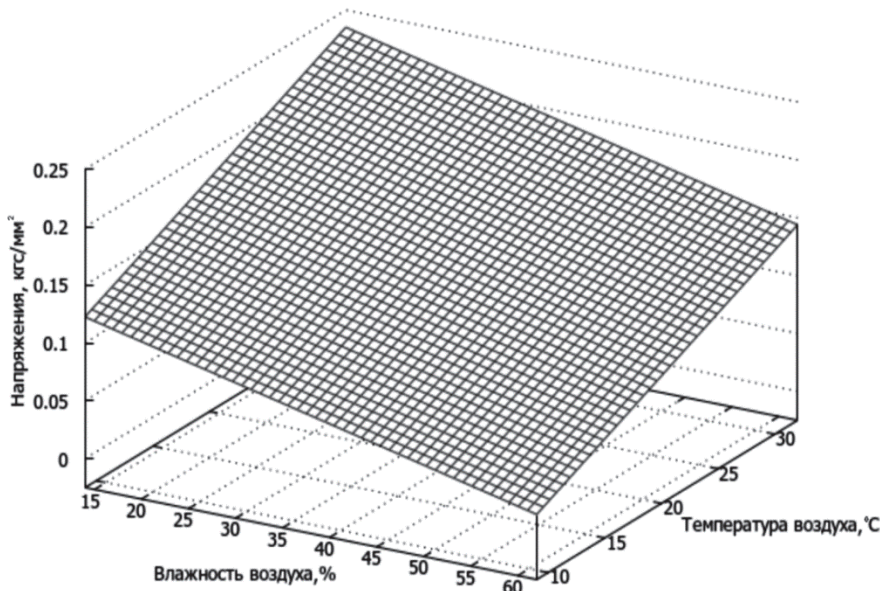


Рисунок 3 – Зависимость точности измерения напряженно-деформированного состояния изделия от параметров микроклимата

Обработка сырых данных осуществляется в соответствующем программном модуле. На рисунке 4 приведены результаты для сырых и скорректированных данных. Ближе к расчетным оказались данные после корректировки.

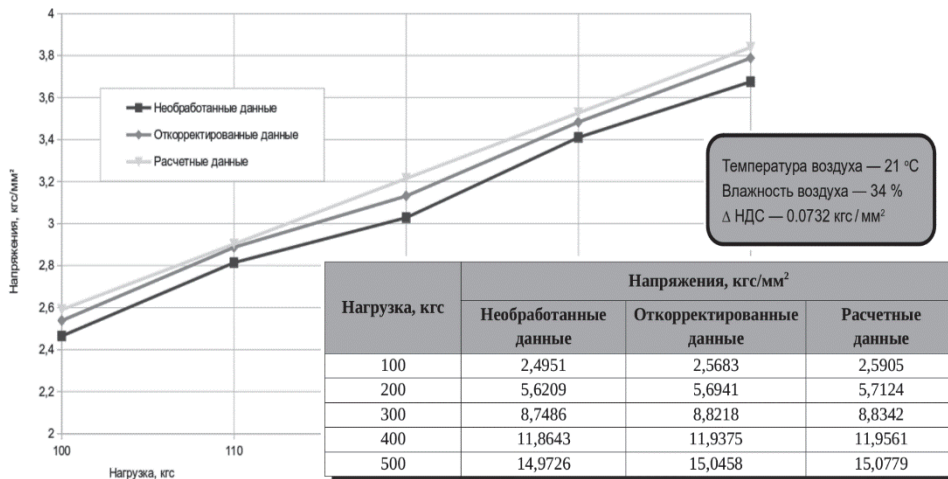


Рисунок 4 – Результаты сравнения данных до и после корректировки

Для реализации информационной системы была выбрана микросервисная архитектура, позволяющая масштабировать систему, заменять, тестировать и настраивать каждый из модулей отдельно от других. Архитектура информацион-

ной системы представлена на рисунке 5 и включает следующие модули:

1. модуль для сбора данных с тензодатчиков;
2. база данных для хранения данных;
3. модуль для корректировки значений, поступающих с тензодатчиков;
4. модуль для визуализации полученных значений.

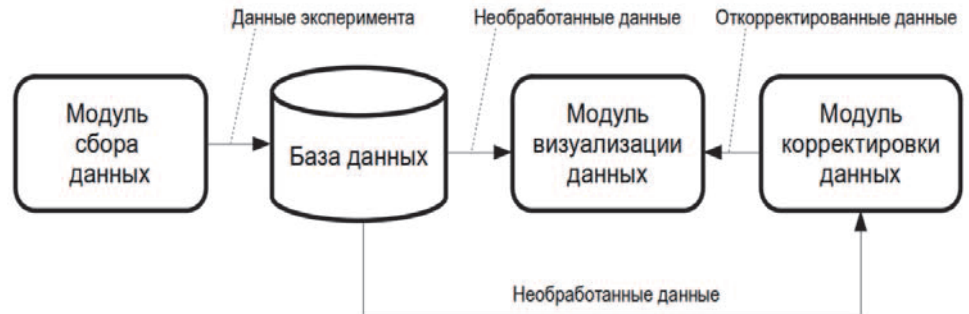


Рисунок 5 – Структура информационной системы

В соответствии со схемой, работа информационной системы начинается со сбора первым модулем экспериментальных данных, которые направляются для хранения и последующей обработки в базу данных. Следующим этапом является корректировка данных, осуществляемая в соответствующем модуле. Результат в виде откорректированных или сырых данных передается в модуль визуализации, где полученная информация преобразуется в графический вид. В состав информационной системы входит база данных для хранения сырых данных, а также модули для их корректировки и визуализации. Причем выводить с помощью SQL-запросов к базе данных можно как сырые, так и обработанные данные.

Следующим этапом реализации информационной системы был выбор инструментальных средств, который состоял из трех этапов. На основе учета представленных на слайде критериев из перечисленных языков программирования был выбран C#. В качестве системы управления базами данных была выбрана система управления базами данных MySQL. Для разработки интерфейса была выбрана программная среда Microsoft Visual Studio.

Практическая значимость работы напрямую связана с проблемами, решаемыми в ходе ее выполнения. Первой проблемой является сложность интеграции готового решения с программным обеспечением в конкретной организации. Так, для предприятия не всегда целесообразно специально приобретать лицензию и устанавливать новое программное обеспечение, а также обучать пользователей работе с ним. Поэтому выбранный набор инструментальных средств позволяет решить данную проблему.

Применение микросервисной архитектуры позволяет решить ряд вопросов, например, таких, как: масштабируемость системы, независимость ее элемен-

тов друг от друга, их взаимозаменяемость. В ходе работы были выявлены и проанализированы параметры окружающей среды как со стороны стенда, так и со стороны микроклимата, оказывающие влияние на точность измерений. Таким образом, экспериментальные данные могут быть скорректированы.

*Литература*

1. Богодухов С.И., Гарипов В.С., Солосина Е.В. Определение модуля упругости различных материалов с применением средств тензометрии // Вестник ОГУ. 2021. № 4(165). С. 289-294.
2. Орлова Т.И., Стрелков В.В., Цымбалюк В.И. Мониторинг нагрузок и накопленной усталостной повреждаемости в условиях эксплуатации: реализация, результаты и возможности // Известия Самарского научного центра РАН. 2019. № 1-5. С. 1512-1520.
3. Барышников В.Д., Качальский В.Д. Анализ погрешности определения деформационных свойств образцов кернов при лабораторных испытаниях // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2020. № 2. С. 13-16.
4. Паже К.С. Применение датчиков на основе тонких металлических пленок для контроля целостности конструкций воздушных судов // Физ. Мезомех. 2020. № 6. С. 43-48.
5. Cheng Ya-Jun. Evaluation of Tensometry for Polymerization Stress Measurement // Conference: IADR General Session. 2019. P. 72-84.
6. Mikhailov S. Technic for using tensometry in anatomic research // Arkhiv anatomii, gistologii i embriologii. 2021. № 78. P. 94-100.
7. Бобренко В.Д. Испытание на термические напряжения в железнодорожных рельсах методом акустической тензометрии // NDT World. 2018. № 10. С. 73-76.
8. Дилфуза А.Ю., Мохичехра Д.Ф. Основные характеристики и особенности полупроводниковых пленочных тензорезистивных преобразователей // Scientific progress. 2021. № 1. С. 441-447.
9. Махмудов Х.Ф. Диагностика потери устойчивости нагруженных железобетонных балок // Вестник российских университетов. Математика. 2018. № 4-2. С. 1909-1910.
10. Bekher S.A., Stepanova L.N., Ryzhova A.O. Testing the Loading of Bearing Rings with Surface Waves Using Acoustoelasticity Effect. Russ J Nondestruct Test 57, 261-268 (2021) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://doi.org/10.1134/S1061830921040033>.
11. Polevoi E.V., Yunin G.N., Smirnov L.A. Rail Quality Standards and Monitoring. Steel Transl. 49, 496-498 (2019) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://doi.org/10.3103/S096709121907009X>.
12. Гайсин Э.Ш. Непрерывный контроль технического состояния резервуара для хранения нефти по фактическому положению стенки с помощью световодов // Транспорт и хранение нефтепродуктов. 2021. № 2-3. С. 18-22.

13. Ser'eznov A.N., Mal'tsev A.V., Stepanova L.N. Inspection of fatigue defects in endurance testing of half-axles of maneuverable aircraft's stabilizers by means of acoustic emission and tensometry. *Russ J Nondestruct Test* 40, 573-579 (2014) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://doi.org/10.1007/s11181-005-0062-4>.
14. Komkov V.A., Vasilevskii V.V., Korolev V.F. Research and development version of computer-aided system of aircraft and rocket-space equipment vibration tests. *Russ. Aeronaut.* 55, 217-222 (2018) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://doi.org/10.3103/S10687998120200183>.

УДК 621.391

**Математические модели многолучевого распространения  
радиосигнала в беспроводных сетях устройств  
малого радиуса действия**

**С.М. Строганова**, старший преподаватель  
кафедры «Информационные технологии и управляющие системы»,  
**М.П. Шумилин**, студент направления 09.04.03  
«Прикладная информатика» (магистр),  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области  
«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза,  
летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

*В работе рассматривается многолучевая модель распространения радиосигнала и даются оценки электромагнитного взаимодействия устройств малого радиуса действия при развертывании беспроводной сети внутри закрытых помещений.*

Модель многолучевого распространения сигнала, беспроводные устройства малого радиуса действия, математическое моделирование.

**Mathematical models of multipath propagation of a radio signal in wireless  
networks of short-range devices**

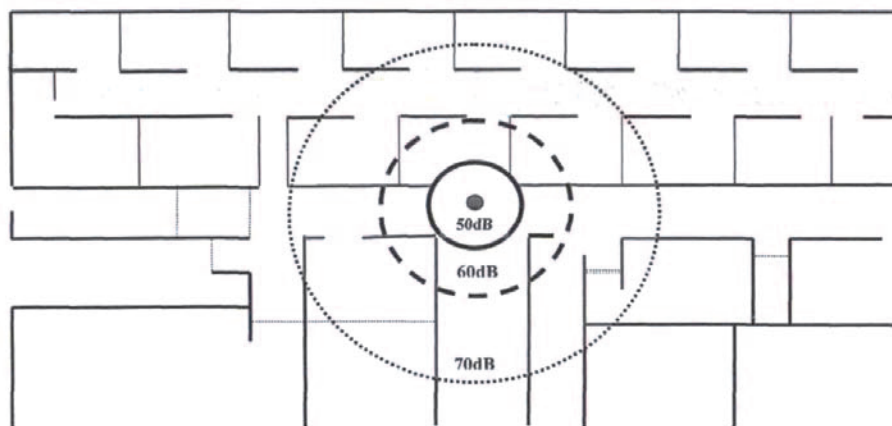
**S.M. Stroganova**, senior teacher of information technology  
and management systems department,  
**M.P. Shumulín**, student of the direction 09.04.03 «Applied Informatics» (master),  
State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Moscow Region  
«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union,  
pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

*The article considers a multi-beam model of radio signal propagation and assesses electromagnetic interaction of small-range devices when deploying a wireless network inside indoor premises.*

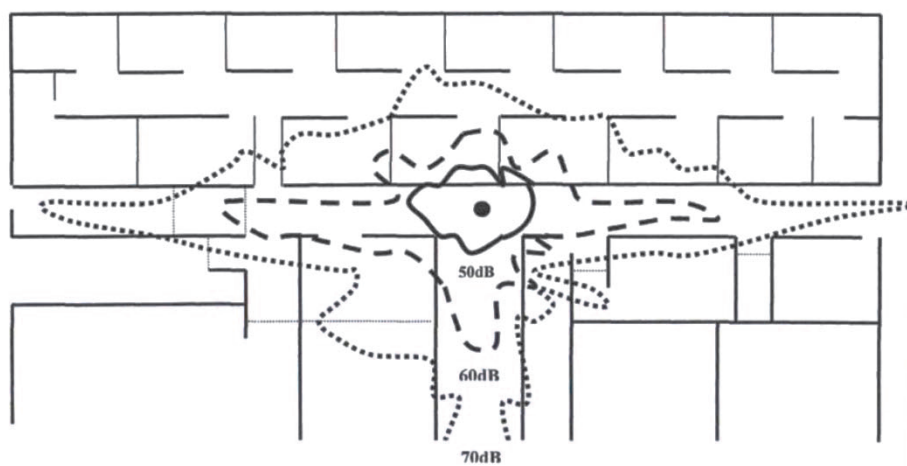
Multi-beam signal propagation model, small-range wireless devices, mathematical modeling.

Широкая востребованность новых технологий для устройств малого радиуса действия (УМРД) в разных сферах деятельности обуславливает актуальность исследования вопросов связанных с развертыванием беспроводных сетей. Важным достоинством беспроводных сетей является их быстрое разворачивание, масштабирование и поддержка при обслуживании. Одна из проблем, которая

связана с развертыванием сетей беспроводного доступа с использованием УМРД, связана с прогнозом зон эффективной работы, когда УМРД расположены в закрытых помещениях.



а)



б)

Рисунок 1 – Модели распределения уровней радиосигнала при наличии коридоров в помещении: а) – идеальное б) – реальное [4]

При разработке методов расчета оценок помехоустойчивости устройств малого радиуса действия необходимо учитывать механизмы распространения радиоволн для различных вариантов размещения устройств. Если УМРД располагаются на открытой местности, то распространение радиоволн характеризуется такими эффектами как: прохождение и отражение от земной поверхности с учетом рельефных неоднородностей, потери при распространении, связанные с различными атмосферными явлениями, например, рассеивании энергии радиоволн на атмосферных образованиях или нерезонансные поглощения частицами в

атмосфере и др. Если УМРД располагаются внутри помещений, то необходимо учитывать такие эффекты как замирание, экранирование, потери энергии при отражениях от стен, пола, потолка помещения [4]. На рисунке 1 приводится пример распределения уровней радиосигнала УМРД при наличии коридоров в помещении. Наличие коридоров и их ориентация оказывают влияние на уровень сигнала УМРД. При этом считается, что высота помещения много больше, чем расстояние между источниками УМРД и слушай, когда УМРД располагаются в закрытом помещении, и высота которых сопоставима с расстоянием между УМРТ.

При распространении радиоволн внутри помещения напряженность энергии волн зависит от количества коридоров и препятствий, а также от материала препятствий [4]. На рисунке 2 показана структурная схема распространения радиоволн.

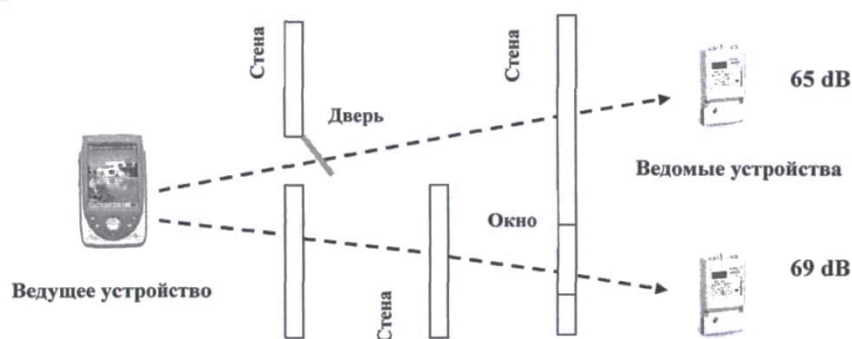


Рисунок 2 – Ослабление радиосигнала при наличии препятствий [4]

Потери мощности сигнала в открытой местности могут быть вычислены по формуле:

$$A_0 = 10lgG_m + 10lgG_s + 20lg\left(\frac{\lambda}{4\pi L}\right),$$

где  $G_m$  – коэффициент усиления УМРД – источника (ведущее устройство),  $G_s$  – коэффициент усиления УМРД – приемника (ведомое устройство),  $L$  – расстояние между УМРД,  $\lambda$  – длина волны.

Рассмотрим случай, когда расстояния между УМРД значительно меньше чем высота помещения, в которой располагаются сами эти устройства.

На рисунке 3 показано схема двухлучевой аппроксимации распространения радиоволн между устройствами пикосети: присутствуют только прямая волна и отраженная от поверхности.

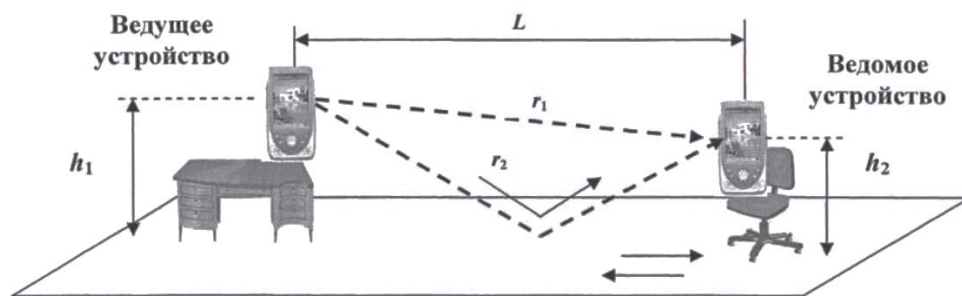


Рисунок 3 – Схема двухлучевой аппроксимации распространения волн [4]

По следующей формуле находится угол падения:

$$\Theta(L, h_1, h_2) = \frac{\pi}{2} - \arctg\{(h_1 + h_2)L^{-1}\}$$

Путь отраженной и прямой волн определяются соотношениями соответственно:

$$r_1(L, h_1, h_2) = \sqrt{(h_1 - h_2)^2 + L^2}$$

$$r_2(L, h_1, h_2) = \sqrt{(h_1 + h_2)^2 + L^2}$$

Напряженность прямой и напряженность отраженной вол определяют результирующее значение напряженности:

$$\dot{E}_c = \dot{E}_{\text{пр}} + \dot{E}_{\text{отр}}$$

Напряженность электрического поля в точке расположения приемника радиосигнала для прямой волны можно найти по формуле:

$$\dot{E}_{\text{пр}} = \frac{\sqrt{60P}}{r_1} \exp[-j(\frac{2\pi}{\lambda})r_1]$$

Тогда в приемнике можем найти напряженность электрического поля по формуле [4]:

$$\dot{E}_{\text{отр}} = \frac{\sqrt{60P}}{r_2} \dot{F} \exp[-j(\frac{2\pi}{\lambda})r_2]$$

Таким образом для результирующей напряженности получим:

$$\dot{E}_c = \frac{\sqrt{60P}}{r_2} \left\{ 1 + \frac{r_1}{r_2} \dot{F} \exp[-j(\frac{2\pi}{\lambda})\Delta r] \right\}$$

где  $\Delta r = r_2 - r_1$  – разность хода волн.

Согласно работам [3; 4] в освещенной зоне можно определить множитель ослабления по формуле:

$$\dot{W} = 1 + \frac{r_1}{r_2} \dot{F} \exp[-j(\frac{2\pi}{\lambda})\Delta r]$$

Модуль этого множителя определяется как:



$$|\dot{W}| = \sqrt{1 + \left(\frac{r_1}{r_2} |\dot{F}|\right)^2 + 2 \frac{r_1}{r_2} |\dot{F}| \cos \left[ \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) \Delta r + \arg \dot{F} \right]}$$

Квадрат модуля ослабления напряженности волны:

$$S = 1 + \left(\frac{r_1}{r_2} |\dot{F}|\right)^2 + 2 \frac{r_1}{r_2} |\dot{F}| \cos \left[ \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) \Delta r + \arg \dot{F} \right]$$

Направления поляризации волны, диэлектрическая проницаемость, высота, на которой располагаются ведущее и ведомое устройство определяют значение коэффициента ослабления.

На рисунке 4 приведена зависимость этого показателя для волны, которая вертикально поляризована, от расстояния между УМРД. Рассмотрен случай, когда меняется высота ведущего устройства. Амплитуда квадрата модуля множителя растет с увеличением расстояния между устройствами. Это обусловлено тем, что при угле падения волны, близком к  $90^\circ$ , когда увеличивается расстояние между источниками, коэффициент отражения тоже возрастает

На рисунке 5 показаны аналогичные зависимости для волны, которая горизонтально поляризована. В этом случае амплитуда множителя ослабления растет.

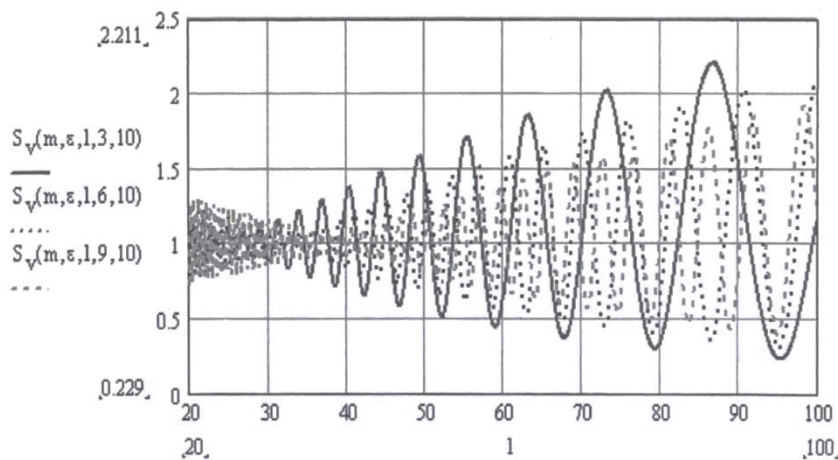


Рисунок 4 – Модуль ослабления суммарной волны с вертикальной поляризацией в зависимости от расстояния между УМРД-устройствами

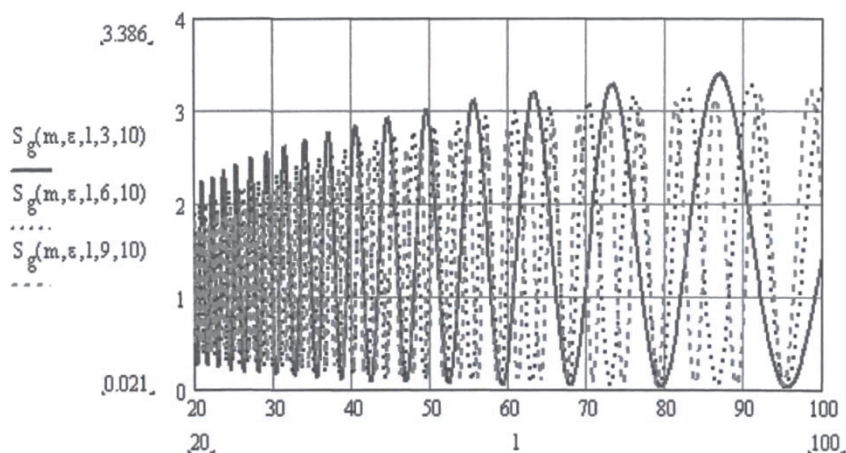


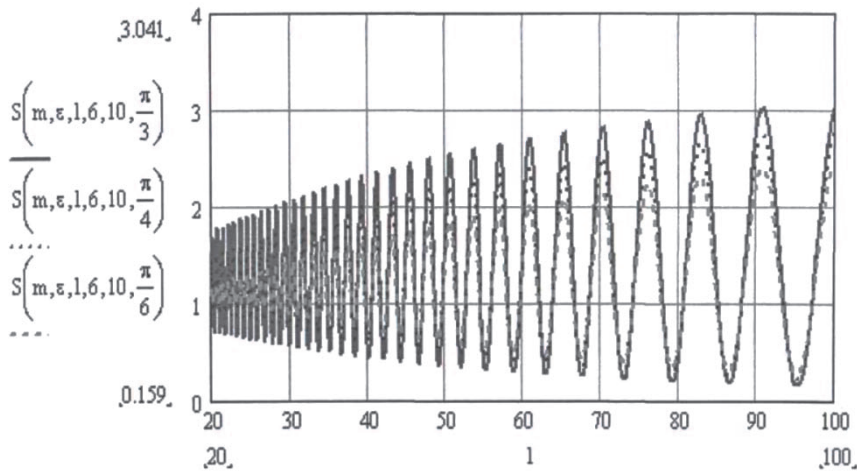
Рисунок 5 – Зависимость  $S$  от расстояниям между МРД-устройствами для волны, которая поляризована горизонтально.

Если не известно направление поляризации, то коэффициент можно найти по следующей формуле (поляризация произвольная):

$$S_v(m, \varepsilon, L, h_1, h_2, \xi) = \sqrt{(S_v(m, \varepsilon, L, h_1, h_2) \cos(\xi))^2 + (S_v(m, \varepsilon, L, h_1, h_2) \sin(\xi))^2}$$

На рисунке 6 приводится кривая связи модуля ослабления для разных углов поляризации волны. Видно, что угол поляризации волны влияет на амплитуду  $S$ .

Таким образом, можно сделать вывод, что высота расположения устройства и расстояние до отражающей поверхности определяют частоту колебаний суммарной волны.



**Рисунок 6 – Модуль ослабления суммарной волны при разных углах поляризации в зависимости от расстояния между УМРД-устройствами**

Рассмотрим случай, когда устройства малого радиуса действия располагаются в закрытом помещении, высота стен которого соизмерима с радиус действия УМРД. На рисунке 7 приводится схема трехлучевой аппроксимации, учитывающей взаимодействие волн с полом, потолком и стенами. Согласно схеме при трехлучевой аппроксимации разности длин волн определяются выражениями:

$$r_1 = \sqrt{(h_2 - h_1)^2 + L^2},$$

$$r_2 = \sqrt{(h_1 + h_2)^2 + L^2},$$

$$r_3 = \sqrt{(2H - h_1 - h_2)^2 + L^2},$$

Тогда для  $\Delta r$  можно записать:

$$\Delta r_2 = r_2 - r_1,$$

$$\Delta r_3 = r_3 - r_1.$$

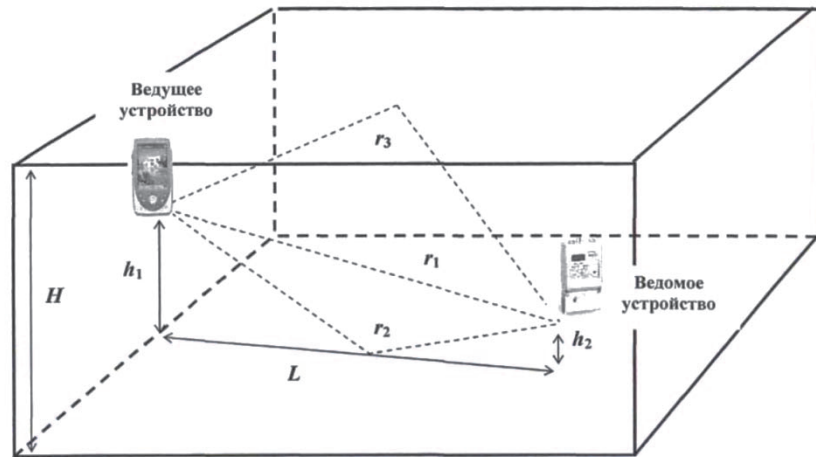


Рисунок 7 – Схема трехлучевой аппроксимации распространения волн

Итоговую напряженность поля как результат суммы напряженностей поля в области, где расположен приемник радиосигнала можно определить следующим выражением:

$$\dot{E}_c = \dot{E}_{пр} + \dot{E}_{отр2} + \dot{E}_{отр3},$$

Здесь первое слагаемое обозначает напряженность поля в точке расположения ведомого УМРД, это точка приема радиосигнала для прямой волны; второе слагаемое обозначает напряженность для случая отраженной от пола помещения волны, третье слагаемое – напряженность волны, которая отражается от потолка помещения.

Комплексный множитель ослабления определяется как:

$$\dot{W} = 1 + \frac{r_1}{r_2} \dot{F}_2 \exp \left[ -j \left( \frac{2\pi}{\lambda} \right) \Delta r_2 \right] + \frac{r_1}{r_3} \dot{F}_3 \exp \left[ -j \left( \frac{2\pi}{\lambda} \right) \Delta r_3 \right]$$

На основе геометрических построений можно определить угол отражения радиосигнала для волны, которая отражается от пола помещения:

$$\Theta_2(L, h_1, h_2) = \frac{\pi}{2} - \arctg \left( \frac{h_1 + h_2}{L} \right)$$

Аналогичным образом определяется угол отражения радиосигнала для волны, которая отражается от потолка помещения:

$$\Theta_3(L, h_1, h_2) = \frac{\pi}{2} - \arctg \left( \frac{2H - h_1 - h_2}{L} \right)$$

Тогда можно определить квадрат параметра  $S$ , который будет определять ослабление напряженности радиоволны по следующей формуле [1]:

$$S = 1 + \left(\frac{r_1}{r_2} |\dot{F}_2|\right)^2 + \left(\frac{r_1}{r_3} |\dot{F}_3|\right)^2 + 2 \frac{r_1}{r_2} |\dot{F}_2| \cos \left[ \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) \Delta r_2 + \arg \dot{F}_2 \right] + 2 \frac{r_1}{r_3} |\dot{F}_3| \cos \left[ \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) \Delta r_3 + \arg \dot{F}_3 \right] + 2 \frac{r_1^2}{r_2 r_3} |\dot{F}_2| |\dot{F}_3| \cos \left[ \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) (\Delta r_2 - \Delta r_3) + \arg \dot{F}_2 - \arg \dot{F}_3 \right]$$

На рисунке 8 показаны результаты расчета кривой зависимости модуля ослабления от расстояния между устройствами УМРД. Волна вертикально поляризована. Как видно из графика множитель ослабления зависит от высоты ведущего УМРД. При высоте потолка равном 3 метра и высоте расположения ведомого УМРД в 1,5 м отраженные волны складывается в фазе.

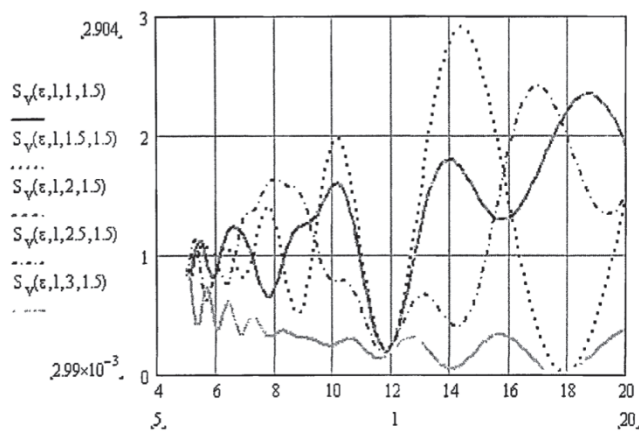


Рисунок 8 – Модуль ослабления суммарной волны с вертикальной поляризацией в зависимости от расстояния между УМРД-устройствами

На рисунке 9 приводятся данные аналогичного расчета для волны, которая поляризована горизонтально.

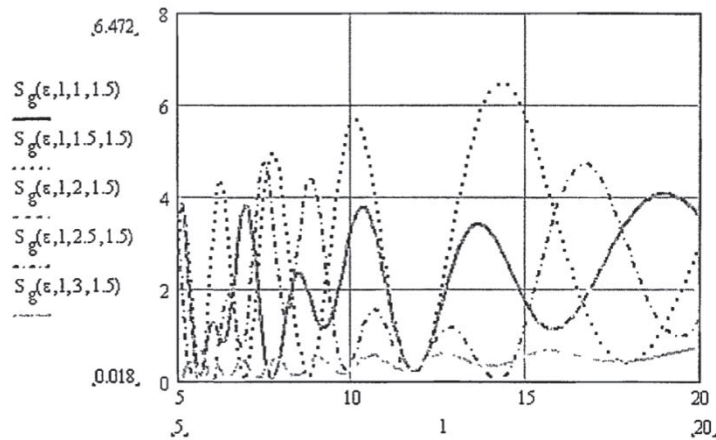


Рисунок 9 – Зависимость модуля S от расстояния между УМРД (волна поляризована горизонтально)

Если волна поляризована произвольно, то параметр S определяется по формуле:

$$S(\varepsilon, L, h_1, h_2, \xi) = \{(S(\varepsilon, L, h_1, h_2) \cos(\xi))^2 + (S(\varepsilon, L, h_1, h_2) \sin(\xi))^2\}.$$

На рисунке 10 приводится зависимость этого модуля от расстояния между устройствами УМРД для разных углов поляризации волны. Высота потолка составляет 3 метра. Из графиков можно заключить, что угол поляризации волны определяет амплитуду множителя ослабления.

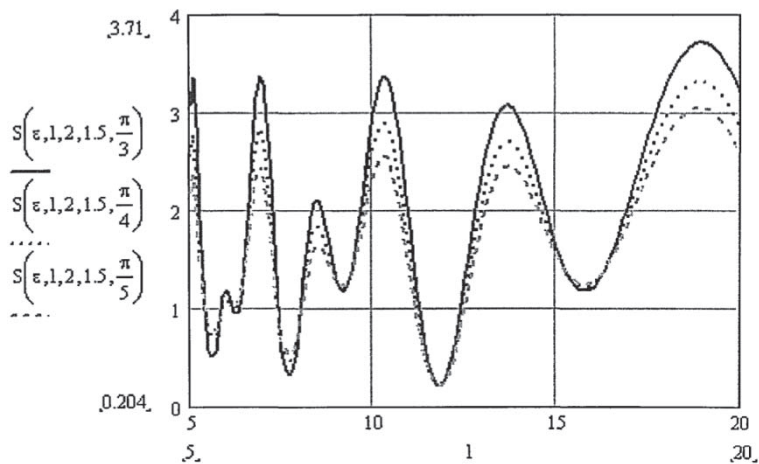


Рисунок 10 – Ослабление результирующей волны для случая произвольной поляризации в зависимости от расстояния между УМРД-устройствами

Для модели пятилучевой аппроксимации необходимо учитывать отражение волн от потолка, стен и других предметов. Для упрощения будем считать,

что лучи отражаются от пола, потолка и двух стен. На рисунке 11 показаны кривые зависимости от удаления УМРД параметра  $S$ , рассчитанного для модели пятилучевой аппроксимации аналогично приведённым выше формулам. Волна поляризована вертикально,  $H=3\text{м}$ .

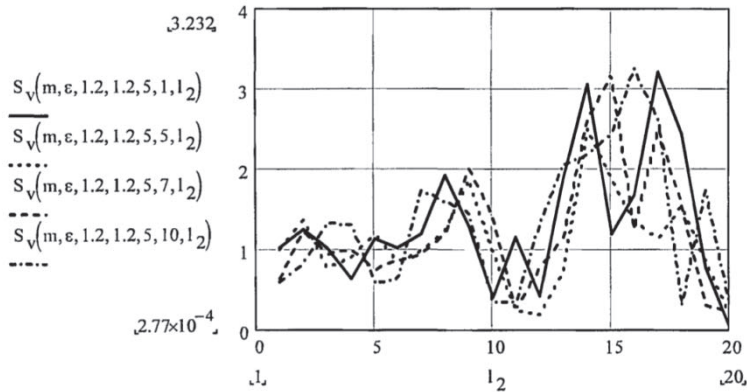


Рисунок 11 – Зависимость модуля  $S$  от расстояния между УМРД. Волна поляризована вертикально

На рисунке 12 представлен расчет зависимости от расстояния между УМРД квадрата модуля ослабления  $S$  для волны с горизонтальной поляризацией, высота равно 3м. На рисунке 13 представлена зависимость от удаления УМРД квадрата модуля затухания волны  $S$  с произвольной поляризацией, высота равна 3м. Видно, что от угла поляризации значение параметра  $S$  практически не зависит.

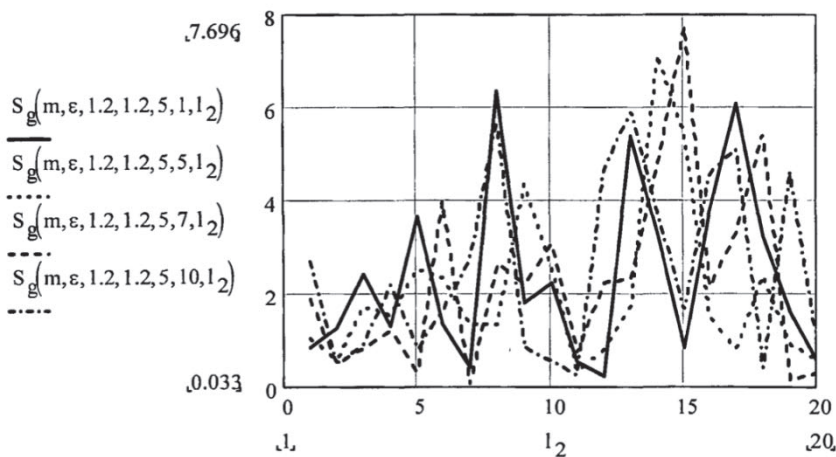


Рисунок 12 – Зависимость модуля  $S$  от расстояния между УМРД. Волна поляризована горизонтально

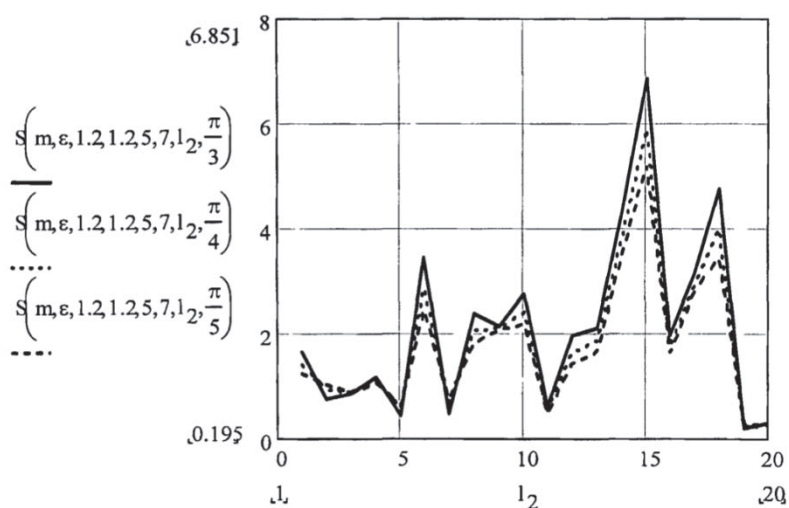


Рисунок 13 – Зависимость модуля  $S$  от расстояния между УМРД. Волна поляризована произвольно

Можно заключить, что разные направления поляризации волны определяют различные значения амплитуды колебаний напряженности электрического поля. Расположение УМРД-устройств определяет характер колебаний напряженности.

#### Выводы

В рамках двух-, трех- и пятилучевой моделей аппроксимации получены оценки напряженности электрического поля, когда УМРД-устройства располагаются внутри закрытого помещения. В зависимости от взаимного расположения источника и приемника УМРД меняется характер колебаний электрического поля, а направление поляризации волны определяет амплитуду колебания напряженности электрического поля.

#### Литература

1. Артюшенко В.М., Корчагин В.А. Анализ особенностей распространения радиоволн в пикосетях беспроводных устройств малого радиуса действия // Промышленный сервис. № 4(31). 2009. С. 32-37.
2. Кон Е.Л., Фрейман В.И. Теория электрической связи. Помехоустойчивая передача данных в информационно-управляющих и телекоммуникационных системах: модели, алгоритмы, структуры. Пермь: изд-во Перм.гос.техн.ун-та, 2007. 312 с.
3. Тузов Г.И., Сивов В.А., Прытков В.И. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами. М.: Радио и связь, 1995. 264 с.
4. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра. М.: Радио и связь, 2009. 520 с.



УДК 629.78

### **Лунная пилотируемая транспортная система с использованием околоземной орбитальной инфраструктуры**

**А.Д. Бычков**, ведущий инженер,

**И.И. Ковалёв**, руководитель направления по технико-экономическому обоснованию проектов по перспективным комплексам, АКА и средствам выведения,  
Публичное акционерное общество  
«Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва»  
(ПАО «РКК «Энергия»), г. Королёв, Московская область

*Рассматривается альтернативная схема пилотируемой экспедиции на Луну с использованием околоземной орбитальной инфраструктуры. Представлен проектно-баллистический и экономический анализ транспортной системы, проектный облик её элементов, а также способ дозаправки и длительного хранения криогенных компонентов топлива. Транспортная система устойчива к переносу пуска или потере любого элемента при выведении, это позволяет обеспечить высокую надёжность системы. Элементы лунного экспедиционного комплекса могут выводиться РН среднего, тяжелого и сверхтяжелого класса.*

Лунный экспедиционный комплекс, РН сверхтяжелого класса, дозаправка и длительное хранение криогенного топлива на орбите, российская орбитальная станция.

### **Lunar manned transportation system using near-Earth orbital infrastructure**

**A.D. Bychkov**, lead engineer,

**I.I. Kovalev**, head of the direction for the cost estimating analysis of projects on promising complexes, unmanned spacecraft and launch vehicles,  
S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia (RSC Energia),  
Korolev, Moscow region

*An alternative crewed Moon Mission scheme using near-Earth orbital infrastructure is being considered. Design, ballistic and cost estimating analysis as well as cryogenic refueling and long-term cryogenic fuel storage method is given. Transportation system is resistant to any element launch reschedule or any element loss during the ascend providing high reliability of the system. Lunar expeditionary complex elements can be launched by medium, heavy or super-heavy launch vehicles.*

Lunar expeditionary complex, Superheavy launch vehicle, Orbital refueling and long-term cryogenic fuel storage, Russian orbital station.

## 1. Введение.

Одной из важнейших стратегических целей российской пилотируемой космонавтики является исследование и освоение Луны [6]. Задачу первой пилотируемой экспедиции на Луну необходимо решить до 2030 года. Для достижения этой цели в настоящее время ведётся разработка пилотируемого транспортного корабля (ПТК) и космического ракетного комплекса сверхтяжелого класса (КРК СТК). Доставку полезных грузов с околоземных орбит на окололунные планируется осуществлять с помощью разгонно-тормозного блока (РТБ).

Создание КРК СТК со всей необходимой наземной инфраструктурой является очень сложным, долгосрочным и дорогостоящим проектом. Был разработан эскизный проект КРК СТК. Работы по техническому проекту остановлены. Источник финансирования дальнейших работ не определён.

Кроме того, используемые в Лунной программе РН должны решать и другие задачи, не связанные с Лунной программой [3]. Эти РН должны быть конкурентоспособными на мировом рынке пусковых услуг. В связи с ростом конкуренции на этом рынке особенно остро стоит задача повышения экономической эффективности отечественных средств выведения, снижения стоимости выведения одного килограмма полезной нагрузки.

Поэтому особенно актуален поиск путей осуществления пилотируемых экспедиций на Луну до появления КРК СТК. При этом создание двух совершенно разных транспортных систем – с КРК СТК и без него – представляется неразумным, так как приведёт к значительному увеличению общей стоимости всей программы. Целесообразно на всех этапах исследования и освоения Луны использовать одни и те же пилотируемые корабли и максимально унифицировать средства межорбитальной транспортировки.

## 2. Концепция транспортной системы

Представленным выше требованиям отвечает транспортная система со сборкой Лунного экспедиционного комплекса (ЛЭК) с использованием околоземной орбитальной инфраструктуры.

В состав транспортной системы входят следующие орбитальные средства:

- лунный экспедиционный комплекс;
- дополнительные топливные баки;
- сборочно-заправочные космические аппараты.

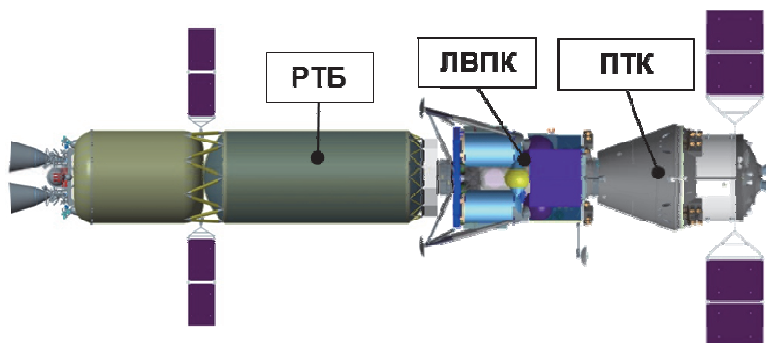
Сборочно-заправочные КА целесообразно включить в состав орбитальной пилотируемой станции (МКС или РОС).

Лунный экспедиционный комплекс предназначен для доставки на орбиту искусственного спутника Луны (ОИСЛ) ПТК, ЛВПК и иных полезных грузов.

Лунный экспедиционный комплекс состоит из:

- Пилотируемого транспортного корабля (ПТК);
- Лунного взлётно-посадочного корабля (ЛВПК);

- Разгонно-тормозного блока (РТБ).
- Компоновочная схема ЛЭК представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Компоновочная схема ЛЭК**

Аналогично транспортным кораблям для МКС элементы ЛЭК могут длительное время храниться на орбите. Поэтому перенос пуска или потеря любого элемента не приводит к потере других элементов. Обеспечивается высокая надёжность транспортной системы.

Транспортная система создаётся в два этапа:

- первый этап – опережающая лётная отработка транспортной системы на РН среднего и тяжелого класса;
- второй этап – адаптация элементов транспортной системы для РН СТК.

На всех этапах создания и эксплуатации транспортной системы ПТК выводится с помощью РН типа «Ангара». Космический комплекс с ПТК и РН типа «Ангара» создаётся в настоящее время на космодроме «Восточный».

На первом этапе беспилотные элементы ЛЭК выводятся РН «Ангара-А5», «Союз-5» или «Ангара-А5В». Необходимая масса топлива в баках РТБ обеспечивается за счёт дозаправки РТБ на орбите.

Топливо доставляется с помощью дополнительных топливных блоков (ДТБ) с запасом окислителя и горючего. Дополнительный топливный блок может быть создан на базе базового модуля РБ типа ДМ без установки маршевого двигателя. Количество блоков определяется грузоподъёмностью используемых РН.

После создания РН СТК для проведения экспедиции на Луну потребуется один пуск «Ангара-А5» и два пуска РН СТК (одним пуском РН СТК выводится связка РТБ+ЛВПК, вторым пуском – ещё один РТБ, используемый в качестве дополнительного топливного блока для дозаправки). Возможно также использование многоразовых РН с меньшей грузоподъёмностью и большим количеством пусков.

### 3. Схема функционирования транспортной системы

Лётные испытания космической транспортной системы начинаются с вы-

ведения двух сборочно-заправочных космических аппаратов с помощью РН «Союз-2.1б». СЗКА являются многоразовыми аппаратами и используются при проведении последующих экспедиций к Луне.

Типовая схема функционирования транспортной системы, состоит из следующих этапов:

- этап сборки ЛЭК на ОИСЗ;
- этап проведения экспедиции на Луну.

Этап сборки ЛЭК включает в себя следующие операции (см. рис. 2):

1. Выведение РТБ на НОО, перелёт на сборочную орбиту. Стыковка сборочно-заправочного космического аппарата № 1 к РТБ. Термостатирование жидкого кислорода средствами СЗКА №1.

2. Проведение нескольких циклов заправки РТБ:

а) Выведение дополнительного топливного блока на НОО, стыковка СЗКА №2 к ДТБ, перелёт и стыковка связки «СЗКА №2+ ДТБ» к связке «СЗКА №1+РТБ» средствами СЗКА №2.

б) Закрутка орбитального сборочно-заправочного комплекса (РТБ + СЗКА №1 + СЗКА №2 + ДТБ) вокруг поперечной оси для создания центробежной перегрузки. Дозаправка РТБ из баков ДТБ. Полёт ОСЗК в режиме закрутки на Солнце в ожидании следующего ДТБ.

в) Остановка вращения ОСЗК, отделение связки «СЗКА №2 + ДТБ», спуск связки на НОО, отделение и сведение ДТБ с орбиты. Повторение цикла.

г) Цикл заправки МОБ-ДМ выполняется шесть раз, если ДТБ выводятся РН типа «Ангара-А5М» на орбиту наклонением  $51,7^\circ$  или десять раз, если ДТБ выводятся РН «Союз-5» (возможны варианты выведения на других РН).

3. Выведение ЛВПК, переход на сборочную орбиту. Отстыковка СЗКА от РТБ. Стыковка ЛВПК к РТБ. Стыковка СЗКА к ЛВПК (термостатирование жидкого кислорода осуществляется через транзитные магистрали ЛВПК).

4. Выведение ПТК, переход на сборочную орбиту. Отстыковка СЗКА от ЛВПК. Стыковка ПТК к ЛВПК. Разгон к Луне.

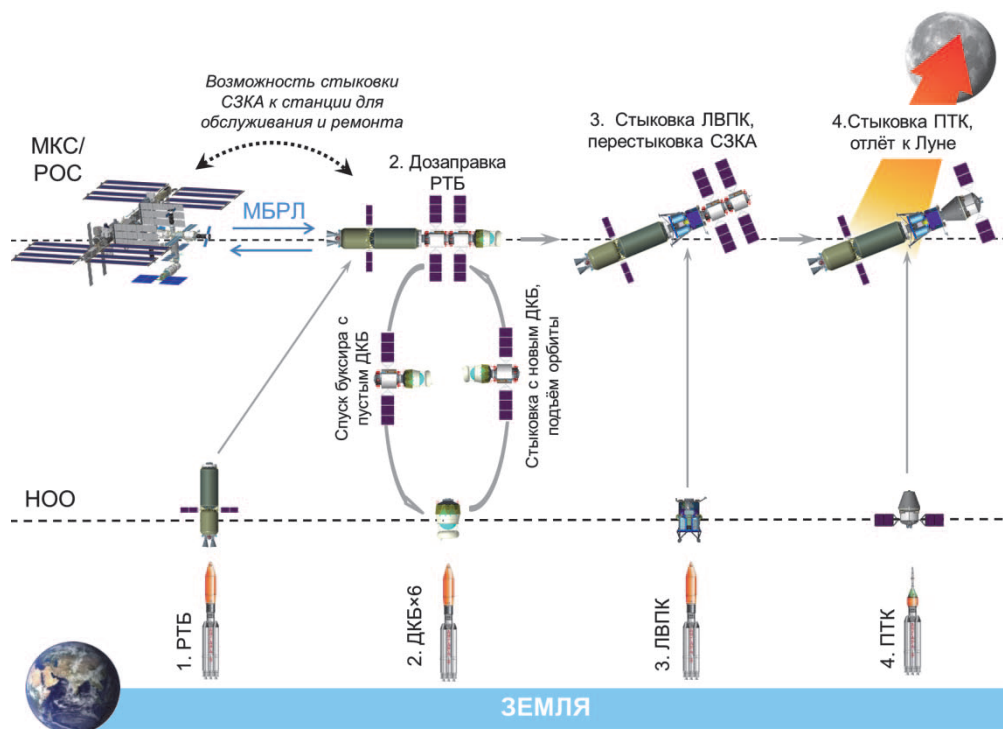


Рисунок 2 – Схема полёта, этап сборки ЛЭЖ

Этап проведения экспедиции на Луну включает в себя следующие операции (см. рис. 3):

1. Двухимпульсный разгон для отлёта к Луне маршевыми двигателями РТБ.
2. Пассивный полёт ЛЭЖ (ПТК+ЛВПК+РТБ) к Луне с проведением коррекций.
3. Торможение у Луны двигателями РТБ, переход экипажа в ЛВПК, отделение ПТК.
4. Посадка ЛВПК на поверхность Луны (часть тормозного манёвра при посадке выполняется двигателями РТБ, после чего РТБ отделяется и совершает жёсткую посадку на поверхность Луны, ЛВПК продолжает торможение своими двигателями и совершает мягкую посадку).
5. Проведение работ на поверхности Луны.
6. Взлёт взлётного модуля ЛВПК с Луны, стыковка с ПТК, переход экипажа в ПТК, отделение взлётного корабля.
7. Отлёт ПТК с ОИСЛ. Пассивный полёт ПТК с коррекциями к Земле. Отделение двигательного отсека ПТК, вход возвращаемого аппарата ПТК в атмосферу Земли, посадка.

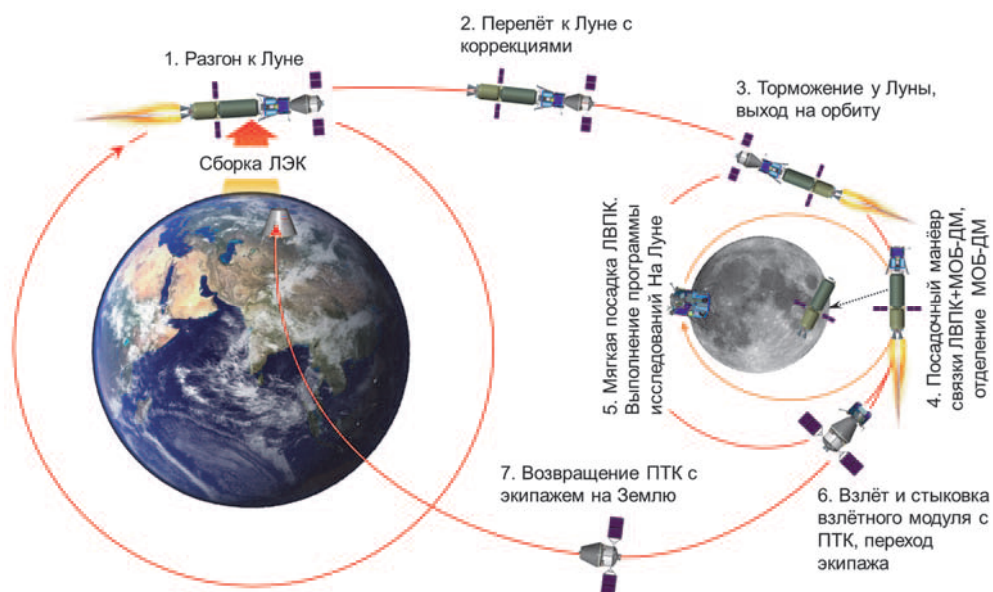


Рисунок 3 – Схема полёта, этап экспедиции на Луну

Лётные испытания транспортной системы состоят из трёх миссий в окололунном пространстве:

1. Беспилотный облёт Луны.
2. Пилотируемый полёт на ОИСЛ и беспилотная посадка на Луну.
3. Пилотируемый полёт на ОИСЛ и пилотируемая посадка на Луну.

Облёт Луны выполняется без ЛВПК (ЛЭК состоит из РТБ и ПТК). Для облёта потребуется одна дозаправка РТБ.

Интервал между пусками РН «Ангара-А5М» с одной пусковой установки составляет 30 суток. При выведении РТБ, ЛВПК, ПТК и 6 ДТБ на РН «Ангара-А5М» с одной ПУ номинальное время сборки ЛЭК составит 8 месяцев от первого пуска до отлёта к Луне. При выведении части ДТБ на РН «Союз-5» время сборки может быть сокращено до 5 месяцев. Дальнейшее сокращение времени сборки возможно за счёт создания дополнительных ПУ.

Облёт Луны потребует трёх пусков РН «Ангара-А5М», они могут быть выполнены с одной ПУ. Выполнение первых миссий с посадкой на Луну также возможно с одной ПУ, однако будет сложно совместить выведение большого количества ДТБ с пусками в рамках других программ, не связанных с Луной. Для проведения регулярных экспедиций на Луну целесообразно создание дополнительной ПУ РН «Ангара-А5М» на космодроме «Восточный». Это необходимо учесть при оценке стоимости транспортной системы.

Наиболее перспективным вариантом выведения является создание многоэтажной РН тяжелого класса на базе РН «Амур-СПГ» (далее – РН «Амур-СПГ 27»). Компоновка такой РН может быть аналогична РН «Falcon Heavy». РН предлагается выполнить по пакетной схеме с первой ступенью (боковыми блоками) на базе двух блоков первой ступени РН «Амур-СПГ», второй ступенью (центральный блок) на базе одного блока первой ступени РН «Амур-СПГ» и

третьей ступени на базе второй ступени РН «Амур-СПГ». В варианте со спасением первой и второй ступеней её грузоподъёмность принимается равной грузоподъёмности РН «Ангара-А5М».

4. Дозаправка РТБ. Орбитальный сборочно-заправочный комплекс

Для обеспечения сборки лунного экспедиционного комплекса, длительного полёта элементов ЛЭК в космическом пространстве и дозаправки РТБ с помощью дополнительных топливных баков на орбите пилотируемой станции (МКС или РОС) формируется орбитальный сборочно-заправочный комплекс, который состоит из:

- сборочно-заправочного КА №1;
- сборочно-заправочного КА №2;
- РТБ;
- дополнительного топливного бака.

Компоновочная схема ОСЗК представлена на рисунке 4.

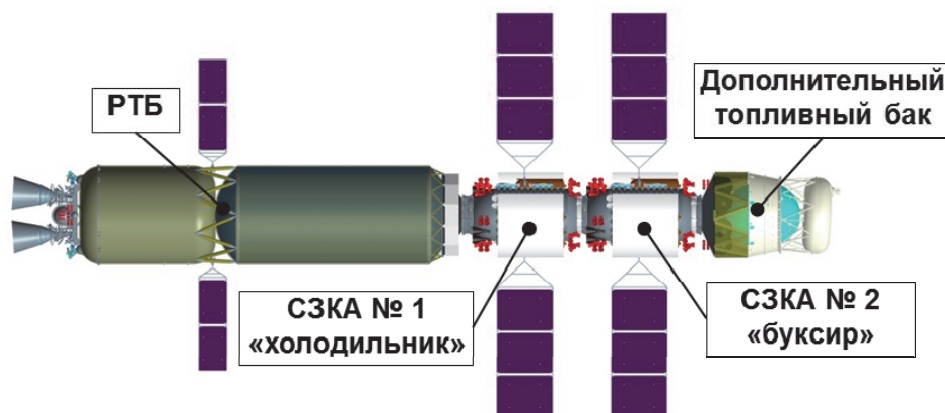


Рисунок 4 – Компоновочная схема ОСЗК

Для дозаправки РТБ топливом из ДТБ (или другого РТБ) необходимо решить следующие задачи:

- стыковка с формированием герметичных магистралей дозаправки, проверка герметичности магистралей;
- осаждение компонентов топлива в баках;
- заливка заправочных магистралей;
- передача топлива из баков ДТБ в баки РТБ за счёт перепада давления в баках;
- дренаж магистралей, обеспечение готовности к расстыковке.

После стыковки и проверки герметичности магистралей дозаправки окислителя и горючего выполняется закрутка комплекса вокруг поперечной оси. При этом создаются центробежные силы, которые обеспечивают осаждение топлива в баках. Центр масс комплекса не проходит через баки ДТБ, поэтому всё топливо в баках прижимается к нижним днищам с заборными устройствами. Минимальная угловая скорость закрутки определяется из ускорения в зоне заборных устройств ДТБ, необходимого для осаждения топлива (приблизительно

$10^{-4}g$ , по аналогии с ускорением, создаваемым работой ДУ СОЗ РБ ДМ или ДУ СОЗ РБ Centaur [7]).

После осаждения топлива открываются клапаны заправочных магистралей, осуществляется передача топлива из баков ДТБ в баки РТБ за счёт перепада давления. В баках ДТБ создаётся избыточное давление наддува на  $0,3 \pm 0,5$  атм больше давления в баках РТБ. Газ наддува – гелий из погружных шарбаллонов. Давление в баках РТБ поддерживается дренажными клапанами с безмоментными насадками.

Дозаправка завершается по окончанию компонентов топлива в ДТБ с прорывом газовых подушек в магистрали дозаправки и баки РТБ. Обратное перетекание исключается за счёт наличия в магистралях обратных клапанов.

Открываются дренажные клапаны магистралей дозаправки с безмоментными насадками. Газ из магистралей дозаправки стравливается. Комплекс готов к отстыковке ДТБ и стыковке следующего ДТБ.

Длительное термостатирование жидкого кислорода в баке РТБ обеспечивается газовой криогенной машиной, установленной на СЗКА №1. На внутренней поверхности бака РТБ установлен трубчатый теплообменник, аналогичный теплообменнику ОДУ ОК «Буран» [5]. ГКМ связывается с теплообменником с помощью трубопроводов, образуя контур криостатирования. По контуру прокачивается теплоноситель – жидкий кислород. ГКМ может быть создана на основе обратного цикла Стирлинга или обратного цикла Брайтона [2,4]. КПД ГКМ составит приблизительно 6%.

#### 5. Проектный облик средств межорбитальной транспортировки

Сборочно-заправочные КА создаются на базе задела по научно-энергетическому модулю МКС и КА ОКА-Т. Имеется возможность стыковки СЗКА к МКС/РОС или проведения экспедиций посещения СЗКА с МКС/РОС для обслуживания и ремонта.

СЗКА №1 обеспечивает длительный полёт разгонно-тормозного блока (РТБ) и ЛЭК в целом на НОО. СЗКА №1 обеспечивает термостатирование жидкого кислорода, формирование транзитных магистралей для дозаправки, управление ориентацией, связь с наземным комплексом управления и т.д. СЗКА №1 является ведущим КА при полёте в связке с другими КА.

СЗКА №2 используется в качестве буксира для доставки и стыковки дополнительных топливных блоков (ДТБ) с запасом окислителя и горючего для дозаправки. Кроме того, он дублирует большую часть функций первого аппарата и обеспечивает резервирование на случай НШС. Коррекции орбиты ОСЗК обеспечиваются двигателями, установленными на СЗКА №2 или на ДТБ.

СЗКА в составе МКС/РОС также может обеспечивать решение ряда задач, не связанных с экспедициями на Луну:

- Доставка автоматических КА с рабочей орбиты на орбиту РОС и стыковка к РОС для обслуживания и ремонта.
- Обслуживание и ремонт автоматических КА на его рабочей орбите.
- Проведение экспериментов на борту СЗКА (аналогично проекту ОКА-Т). Создание особых условий для экспериментов (микрогравитация, сверхвысокий вакуум, опасные эксперименты).



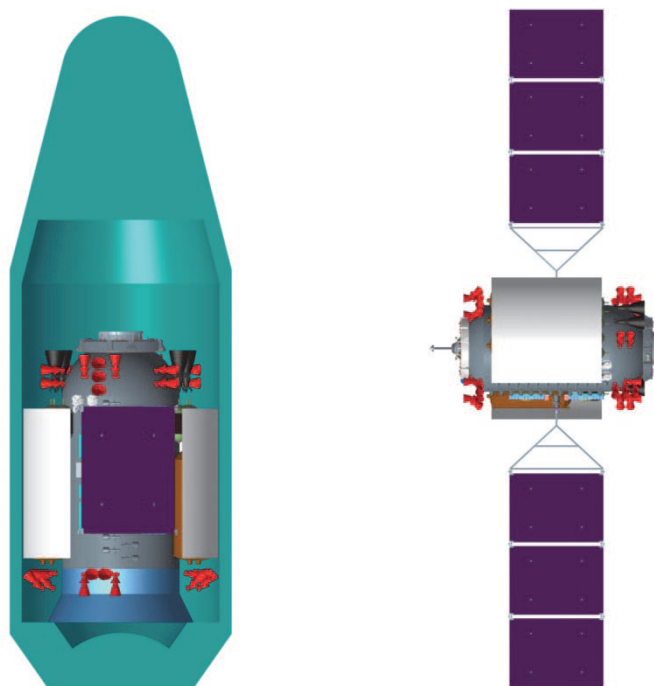
– Транспортно-техническое обеспечение РОС. Использование СЗКА в качестве буксира, аналогично буксиру «Паром».

– Создание на базе СЗКА служебного отсека для целевых модулей.

Основные характеристики СЗКА представлены в таблице 1. Компонентные схемы СЗКА при выведении и в орбитальном полёте представлены на рисунке 5.

**Таблица 1 – Основные характеристики СЗКА**

Наименование параметра	Значение
1. Масса СЗКА, кг:	
- после отделения от РН	до 8000
- минимальная конечная масса (для СЗКА.№1)	6700
2. Высота орбиты функционирования, км	до 450
3. Масса топлива в баках объединенной двигательной установки, кг	до 2640
4. Компоненты топлива ОДУ	НДМГ+АТ
5. Орбитальный срок службы, лет	до 7
6. Ракета-носитель	«Союз-2.1б»
7. Сборочно-защитный блок	на базе 81КС



**Рисунок 5 – Компонентные схемы СЗКА при выведении и в орбитальном полёте**

Разгонно-тормозной блок создаётся с использованием задела по РБ типа ДМ и двигательной установке корабля «Буран» в части двигателя 11Д58М, пневмогидравлических средств подачи, решений по теплоизоляции кислородно-

го бака. В составе РТБ используется два маршевых двигателя 11Д58М с увеличенным сопловым насадком. Максимальный рабочий запас топлива в баках составляет 160 т (большая часть топлива доставляется на орбиту с помощью ДТБ). В связи со значительным увеличением рабочего запаса топлива потребуются создание баков новой конструкции.

Основные характеристики РТБ представлены в таблице 2. Компоновочные схемы РТБ при выведении и в орбитальном полёте представлены на рисунке 6.

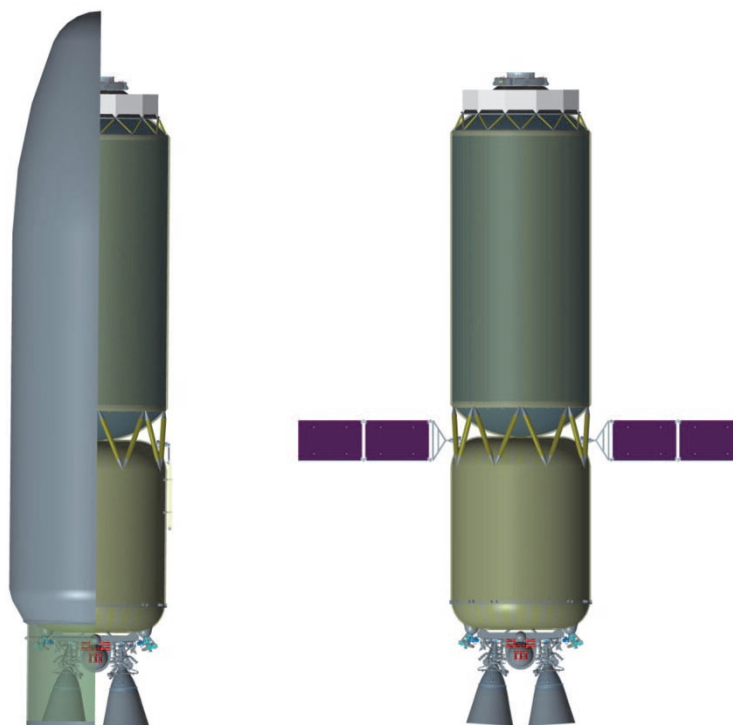


Рисунок 6 – Компоновочные схемы РТБ при выведении и в орбитальном полёте

Таблица 2 – Основные характеристики РТБ

Наименование	Значение
1 Компоненты топлива маршевого двигателя:	Жидкий кислород, синтин
2 Максимальный рабочий запас топлива, т	до 160
3 Рабочий запас топлива, заправляемый на Земле, т	до 14
4 Общее время орбитального полёта, сут	до 365
5 Масса конструкции полностью собранного блока (с учётом переходного отсека), кг	10400
6 Конечная масса блока, кг	10000
7 Номинальная тяга МД в пустоте, тс	2×8
8 Номинальный удельный импульс тяги МД в пустоте кгс/кг·с	365

Дополнительный топливный блок может быть создан на базе базового

модуля РБ типа ДМ без установки маршевого двигателя. Компоновочная схема ДТБ представлена на рисунке 7. После создания КРК СТК в качестве ДТБ используется второй РТБ.

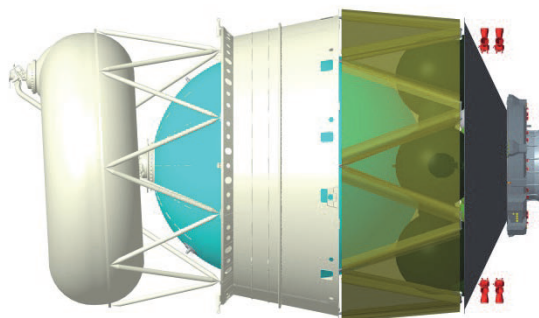


Рисунок 7 – Комповочная схема ДТБ

6. Массовые характеристики системы. Изменение массы по этапам полёта.

Изменение массы по этапам полёта при доставке ПТК и ЛВПК на круговую орбиту ИСЛ высотой 200 км представлено в таблице 3. Дозаправка РТБ осуществляется с помощью шести ДТБ, выводимых РН «Ангара-А5М» (общее количество пусков  $N_{\Sigma}=9$ ).

Таблица 3 – Изменение массы по этапам полёта при доставке ПТК и ЛВПК на круговую орбиту ИСЛ

Событие	$\Delta V$	РТБ	ЛВПК	ПТК	ЛЭК
Выведение на орбиту 200/350 км, $i=51,7^\circ$	-	25,50	25,50	22,30	-
Отделение ПхО	-	25,00	24,50	22,30	-
Перелёт на орбиту РОС	80	24,44	23,88	21,70	-
Стыковка к ЛЭК	40	24,44	23,56	21,41	-
Дозаправка РТБ, сборка ЛЭК	-	143,24	23,56	21,41	188,21
Разгон к Луне	325 0	32,24	23,56	21,41	77,21
Коррекции	30	31,59	23,56	21,41	76,55
Поддержание ориентации	-	31,39	23,56	21,41	76,35
Торможение у Луны	920	14,50	23,56	21,41	59,47

Масса связки ЛВПК+РТБ с остатками топлива на ОИСЛ высотой 200 км составляет около 38 т. При такой массе РТБ обеспечивает выдачу посадочных

импульсов до 459 м/с. Связка ЛВПК+ РТБ обеспечивает доставку на Луну полезной нагрузки массой не менее 10 т, то есть является эквивалентом ЛВПК массой 27 т.

В работе были рассмотрены различные варианты выведения составных частей ЛЭК на НОО для различных вариантов наклона орбиты сборки. Массово-энергетические характеристики для различных вариантов выведения ЛЭК представлены в таблице 4.

**Таблица 4 – Массово-энергетические характеристики для различных вариантов выведения ЛЭК**

Наклонение орбиты сборки	Используемые РН	Полезная нагрузка на ОИСЛ
51,7 °	9× Ангара-А5М (25,5 т на орбите 200/350 км; ПТК 22,3 т на орбите 135/380 км)	ПТК 21,4 т ЛВПК+РТБ до 38 т
	3× Ангара-А5М (25,5 т на орбите 200/350 км; ПТК 22,3 т на орбите 135/380 км); 10× Союз-5 (17,8 т на орбите 200/200 км)	ПТК 21,4 т ЛВПК+РТБ до 38 т
	2×РН СТК (125 т на орбите -870/200 км); 1× Ангара-А5М (ПТК 22,3 т на орбите 135/380 км)	ПТК 21,4 т ЛВПК+РТБ до 48 т
	1× Ангара-А5М (ПТК 22,3 т на орбите 135/380 км) 8× Амур-СПГ 27 тяжелого класса (27 т на орбите 200/200 км)	ПТК 21,4 т ЛВПК+РТБ до 38 т
96,8 °	11× Ангара-А5М (21,3 т на орбите 200/335 км; ПТК 19,8 т на орбите 135/380 км)	ПТК 19 т ЛВПК+РТБ до 40 т
	3× Ангара-А5М (21,3 т на орбите 200/350 км; ПТК 19,8 т на орбите 135/380 км); 13× Союз-5 (14,4 т на орбите 200/200 км)	ПТК 19 т ЛВПК+РТБ до 39 т
	2×РН СТК (106 т на орбите -870/200 км); 1× Ангара-А5М (ПТК 19,8 т на орбите 135/380 км)	ПТК 19 т ЛВПК+РТБ до 39 т
	1× Ангара-А5М (ПТК 19,8 т на орбите 135/380 км) 10× Амур-СПГ 27 тяжелого класса (22,5 т на орбите 200/200 км)	ПТК 19 т ЛВПК+РТБ до 40 т

Все рассмотренные варианты обеспечивают проведение пилотируемой экспедиции на поверхность Луны. Для всех рассмотренных вариантов энергетиче-

ческие возможности связки РТБ+ЛВПК по доставке ПН на Луну превосходят энергетические возможности ЛВПК массой 27 т. Возможно дальнейшее увеличение массы полезной нагрузки на Луне за счёт увеличения количества дозаправок.

Так как грузоподъёмность РН при выведении ПН на орбиту наклонением  $96,8^\circ$  существенно меньше, чем при выведении на орбиту наклонением  $51,7^\circ$ , при сборке ЛЭЖ на орбите наклонением  $96,8^\circ$  потребуется больше дозаправок РТБ.

При сборке ЛЭЖ на орбите наклонением  $96,8^\circ$  масса ПТК на ОИСЛ составляет 19 т. По предварительным оценкам, запас характеристической скорости ПТК на возвращение на Землю составляет приблизительно 950 м/с. Этого достаточно для выполнения компланарного манёвра возвращения на Землю при продолжительности перелёта Луна-Земля  $3,5 \div 5$  суток. Выполнение программы полёта ПТК обеспечивается.

Наиболее перспективным вариантом выведения является использование многоразовой РН тяжелого класса «Амур-СПГ 27» на базе трёх блоков первой ступени и одного блока второй ступени РН «Амур-СПГ». При десятикратном использовании многоразовых блоков РН проведение экспедиции на Луну будет соответствовать выработке ресурса всего одного комплекта блоков первой и второй ступени.

#### 7. Техничко-экономические показатели

Оценка технико-экономических показателей проводилась с использованием экспертно-аналоговых методов на основе данных по стоимости изделий-аналогов, а также на основании методических рекомендаций отраслевых институтов. Все технико-экономические показатели приводятся в ценах 2022 года.

РН «Ангара-А5М» с наземной инфраструктурой, а также ПТК и космический комплекс для его запуска уже создаются в рамках имеющихся программ. Лётные испытания ПТК на РН «Ангара-А5М» запланированы с 2023 по 2025 год.

Стоимость создания составных частей транспортной системы с учётом создания орбитальных средств, космических головных частей, наземных средств, дооснащения наземного комплекса управления и т.д., без учёта стоимости лётных испытаний представлена в таблице 5 в ценах 2022 года.

Таблица 5 – Стоимость создания СЧ транспортной системы

Наименование	Стоимость, млрд. руб
1 НИР по хранению жидкого кислорода	0,3
2 Создание комплекса ЛВПК	52,60
3 Создание комплекса РТБ и ДТБ	44,03
4 Создание комплекса СЗКА	18,81
5 Создание второй пусковой установки для РН «Ангара» на космодроме Восточный (с учётом капитального строительства)	75
6 Резерв (10 %)	228,89
Всего создание системы, без учёта ЛИ	Σ

Данные по стоимости запуска орбитальных средств представлены в таблице 6. Стоимость пуска РН приводится при заказе единичной пусковой услуги, без учёта серийности.

**Таблица 6 – Стоимость изготовления и запуска орбитальных средств**

Наименование	Стоимость, млн. руб.
1. Стоимость пуска РН «Ангара-А5»	7 050
2. Стоимость пуска РН «Союз-5»	3 750
3. Стоимость пуска РН «Амур СПГ 27»	3 500
4. Стоимость пуска РН «Союз-2»	2 166
5. Изготовление СЗКА №1, СЗКА №2, СЗБ для СЗКА №1, №2, подготовка к пуску	7 550
6. Изготовление РТБ, СЗБ для РТБ, подготовка к пуску	3138
7. Изготовление ДКБ, СЗБ для ДТБ, подготовка к пуску	1 270
8. Изготовление ЛВПК, СЗБ для ЛВПК и подготовка к пуску	4 963
9. Изготовление и подготовка к пуску ПТК (первый полёт), включая СЗБ и РБАС ПТК	7 320
10. Изготовление и подготовка к пуску ПТК (повторное использование), включая СЗБ и РБАС ПТК	4 990
11. Подготовка экипажа ПТК, изготовление индивидуального снаряжения, управление полетом, обеспечение посадки и послеполетное обслуживание	620

Экспедиции к Луне по многопусковым схемам потребуют значительного увеличения серийности производства и частоты запусков РН. Это приведёт к снижению стоимости изготовления и запуска РН [1].

В соответствии с отраслевыми методиками, расчет стоимости изготовления  $N$ -го серийного образца РН для разрабатываемых (модернизируемых) изделий, находящихся в опытном производстве, проводится по формуле:

$$C_N^c(N) = K_{сер} \cdot C^{он} \cdot N_c^{-\gamma}, \quad (1)$$

где  $C^{он}$  – стоимость изготовления опытного образца, рассчитанная по отраслевым методикам;

$K_{сер}$  – коэффициент перехода от опытного производства к серийному производству ( $K_{сер} = 0,95 \div 0,97$  – единичное или мелкосерийное производство);

$N_c$  – порядковый номер серийного образца;

$\gamma$  – коэффициент, характеризующий снижение затрат на изготовление образца в зависимости от его порядкового номера в серии:  $\gamma = 0,14$  – мелкосерийное производство  $N_c < 20$ ;  $\gamma = 0,2 \div 0,25$  – крупносерийное производство  $20 \leq N_c < 100$ .

Данная оценка не учитывает пуски РН в интересах других программ, а

также возможность проведения нескольких экспедиций на Луну в год. При учёте этих факторов серийность РН будет выше, а средняя стоимость одного пуска – ниже.

Оценка стоимости миссии при выведении элементов ЛЭК РН «Ангара-А5М» на орбиту наклонением 51,7° с учётом серийности производства РН представлена в таблице 7.

**Таблица 7 – Стоимость миссии при выведении элементов ЛЭК РН «Ангара-А5М» с учётом серийности производства РН**

Наименование	Стоимость, млн. руб.			
	РТБ	ЛВПК	ПТК	ДТБ (6 пусков)
1 Изготовление и запуск РН	50667			
2 Изготовление и запуск элемента ЛЭК	3138	4963	5610	7620
Всего	71998			

Оценка стоимости миссии при выведении элементов ЛЭК РН «Амур-СПГ 27» на орбиту наклонением 51,7° с учётом серийности производства РН представлена в таблице 8.

**Таблица 8 – Стоимость миссии при выведении элементов ЛЭК РН «Амур-СПГ 27» с учётом серийности производства РН**

Наименование	Стоимость, млн. руб.			
	РТБ	ЛВПК	ПТК	ДТБ (6 пусков)
1 Изготовление и запуск РН	31500			
2 Изготовление и запуск элемента ЛЭК	3138	4963	5610	7620
Всего	52831			

Наибольшей экономической эффективностью обладает вариант экспедиции с выведением элементов ЛЭК на орбиту наклонением 51,7° РН «Амур-СПГ 27». Стоимость миссии для этого варианта ниже, чем для варианта с РН СТК. Однако даже для этого варианта большая часть затрат (74%) приходится на выведение и дозаправку элементов ЛЭК. Дальнейшее снижение стоимости возможно за счёт объединения функций ДТБ и второй ступени РН.

Работы по созданию космического ракетного комплекса с РН тяжелого класса на базе РН «Амур-СПГ» в настоящее время не ведутся и не запланированы в программных документах. Отечественный КРК с многоразовой РН скорее всего не будет готов к началу ЛИ лунной транспортной системы. Поэтому ЛИ транспортной системы будут проводиться на РН «Ангара-А5М». Применение многоразовых РН будет возможно на последующих этапах, при проведении ре-

гулярных экспедиций на Луну.

Оценка стоимости создания транспортной системы с учётом ЛИ на РН «Ангара-А5М» (наклонение орбиты сборки 51,7°) представлена в таблице 9.

**Таблица 9 – Стоимость создания транспортной системы с учётом ЛИ на РН «Ангара-А5М»**

Наименование		Стоимость, млрд. руб.
1. Стоимость ОКР (комплексы ЛВПК, РТБ и ДТБ, СЗКА)		115,74
2. Создание второй ПУ для РН «Ангара» на космодроме «Восточный»		75
3. Лётные испытания	Изготовление и запуск СЗКА	11,882
	Беспилотный облёт Луны	33,498
	Пилотируемый полёт на ОИСЛ и беспилотная посадка на Луну	71,998
	Пилотируемый полёт на ОИСЛ и пилотируемая посадка на Луну	71,998
4. Резерв (10%)		38,012
<b>Всего создание системы, с учётом ЛИ</b>		<b>418,128</b>

### Выводы

1. Проектно-баллистический анализ показал возможность создания пилотируемой транспортной системы с использованием околоземной орбитальной инфраструктуры для сборки Лунного экспедиционного комплекса (ЛЭК). ЛЭК состоит из ПТК, ЛВПК и разгонно-тормозного блока.

2. Необходимая масса топлива в баках РТБ обеспечивается за счёт дозаправки на орбите. Показана возможность дозаправки РТБ с предварительным осаждением топлива за счёт закрутки комплекса вокруг поперечной оси.

3. Для проведения пилотируемой экспедиции на Луну обеспечивается доставка на окололунную орбиту ПТК массой до 21 т и связки РТБ+ЛВПК массой до 48 т. Лётные испытания транспортной системы также включают облёт Луны с помощью упрощённого ЛЭК, состоящего из ПТК и РТБ.

4. Сборочная инфраструктура на НОО позволяет проводить пилотируемые экспедиции на Луну до создания КРК СТК.

5. Решение задачи экспедиции на Луну обеспечивается даже в случае потери любого элемента ЛЭК при выведении. Транспортная система со сборочной инфраструктурой на НОО обладает высокой надёжностью.

6. Стоимость создания транспортной системы без использования РН СТК составляет  $\approx 420$  млрд. руб. в ценах 2022 года.

7. При использовании существующих РН «Ангара-А5М» стоимость экспедиции составляет  $\approx 72$  млрд. руб. Стоимость может быть снижена за счёт использования многоразовых РН ( $\approx 53$  млрд. руб.). Основным критерием выбора РН для Лунной программы становится не масса ПН, выводимая одним пуском, а стоимость выведения одного килограмма ПН. Для выведения дополнительных



топливных блоков могут быть использованы практически любые РН, если это экономически оправдано.

8. Предлагаемая транспортная система позволяет функционально объединить два основных направления развития российской пилотируемой космонавтики: орбитальную станцию и лунную программу, снижая общие затраты и повышая прикладное значение каждого из направлений.

*Литература*

1. Бычков А.Д., Ковалёв И.И. Технично-экономический анализ лунных пилотируемых экспедиций с использованием сборочной инфраструктуры на низкой околоземной орбите // Доклад 54 Научных Чтений памяти К.Э. Циолковского, сентябрь 2019 г.
2. Бычков А.Д., Филин В.М. Межорбитальная транспортная система с лунным экспедиционным комплексом, собираемым на низкой околоземной орбите с использованием ракет-носителей тяжелого класса // Инженерный журнал: наука и инновации, 2017, вып. 9 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2017-9-1676>.
3. Коптев Ю.Н., Кузнецов Ю.В. Космос в открытом доступе // Военно-промышленный курьер ВПК. 2015. № 32(598). С. 8-9.
4. Костюк В.В., Каторгин Б.И., Фирсов В.П., Ковалёв К.Л., Равикович Ю.А., Антюхов И.В., Тимушев С.Ф., Верещагин М.М., Холобцев Д.П., Ермилов Ю.И., Балабошко Н.Г., Гапеев Ю.А., Лесовников А.С., Сычков А.Е., Модестов К.А. Система криообеспечения высокотемпературной сверхпроводимости устройств (СКР 001) // Инженерный журнал: наука и инновации. 2017. Вып. 8 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2017-8-1647>.
5. Смоленцев А.А., Соколов Б.А., Туманин Е.Н. Длительное хранение жидкого кислорода в баке объединенной двигательной установки орбитального корабля «Буран» // Космическая техника и технологии. 2013. № 3. С. 46-56.
6. «Основные положения Основ государственной политики Российской Федерации в области космической деятельности на период до 2030 года и дальнейшую перспективу» (утв. Президентом РФ от 19.04.2013 N Пр-906).
7. Bernard F. Kutter, Frank Zegler, Steve Sakla, John Wall, Greg Saks, Jack Duffey, Josh Hopkins, David Chato. Settled Cryogenic Propellant Transfer//AIAA 2006-4436.

УДК 004.05

**Фактор неопределенности процесса проектирования  
структурированных кабельных систем  
для наземной инфраструктуры космодрома**

**Д.А. Ваннусов**, ведущий инженер отдела сетей связи и сигнализации  
компании «Метрополис», г. Москва,

**А.Б. Семенов**, доктор технических наук, профессор,  
Национальный исследовательский университет  
Московский государственный строительный университет  
(НИУ МГСУ), г. Москва,

**Т.С. Аббасова**, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных  
технологий и управляющих систем,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области  
«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза,  
летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

*Введено понятие неопределенности проектирования структурированной кабельной системы и обоснована возможность разделения этого параметра на неопределенность по построению и конфигурации. Показано преобладающее влияние первой составляющей и выполнена ее численная оценка по обобщенной энтропии Шеннона. На основе данных реальных проектов показана возможность более чем 2-кратного снижения обобщенной энтропии в случае полноценного применения BIM-технологии при проектировании структурированной проводки для наземной инфраструктуры космодрома.*

Структурированная кабельная система, BIM-проектирование, проектная неопределенность.

**Uncertainty factor in the process of designing structured cabling systems  
for the ground infrastructure of the spaceport**

**D.A. Vannusov**, Lead Engineer, Communications and Signaling  
Networks Department Metropolis company, Moscow,

**A.B. Semenov**, Doctor of Technical Sciences, professor,  
National Research University Moscow State University of Civil Engineering  
(NRU MGSU), Moscow,

**T.S. Abbasova**, Candidate of technical Sciences, Associate Professor,  
Department of Information technologies and control systems  
State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Moscow Region  
«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union,  
pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

*The concept of uncertainty in the design of a structured cabling system is introduced and the possibility of dividing this parameter into uncertainty in terms of construction and configuration is substantiated. The prevailing influence of the first component is shown and its numerical estimation is performed using the generalized Shannon entropy. Based on the data of real projects, the possibility of a more than 2-fold reduction in generalized entropy in the case of a full-fledged application of BIM technology in the design of structured wiring is shown for the ground infrastructure of the spaceport.*

Structured cabling system, BIM design, project uncertainty.

### **Введение**

В современной инфраструктуре космических систем связи реализуется большое количество инженерных систем различного назначения, в перечень которых входит информационно-телекоммуникационная система (ИТС) для передачи данных и видео информации, в том числе телевизионных сигналов (ТВ-сигналов) при обработке телеметрических данных [1, С.20; 2, С.56; 3, С.93]. Разработка их совокупности требует усилий нескольких групп специалистов из различных областей. Необходимое условие достижения общей эффективности их работы – организация плотного взаимодействия в широком смысле этого термина. Комплекс задач, решаемых при проектировании информационно-телекоммуникационной системы для обслуживания наземной инфраструктуры космодрома, реализованной, как правило, с помощью электрической кабельной системы, с использованием беспроводных (в том числе спутниковых) каналов для мониторинга и управления [4, С.4; 5, С.57; 6, С.8], отличается высокой сложностью, что определяется

- вовлечением в процесс создания проекта объективно большого количества технических специалистов и управленцев;
- разнородным характером выполняемых ими функций;
- наличием высокой степени неопределенности в случае применения схемы параллельного проектирования как главного средства, призванного минимизировать общую продолжительность этапов создания проектной документации.

При этом под неопределенностью здесь и далее понимается факт наличия вероятности изменения полученного ранее проектного решения при изменении внешних условий.

Соответствующие сложности кратно возрастают в случае плотного графика работ с космическими объектами, разработка проектной документации которых ведется по популярной схеме аутсорсинга с привлечением ресурсов субподрядных организаций. Последние берут на себя исполнение тех разделов, которые являются для генерального подрядчика непрофильными или второстепенными. Свой немалый вклад в усложнение взаимодействия вносит отсутствие у соисполнителей проекта общего информационного пространства. Актуально снижение неопределенности по построению кабельных трасс наземной инфра-

структуры.

### **Оценка масштабов кабельных систем космодрома**

Масштабы информационно-телекоммуникационной системы космодрома впечатляют. Например, на космодrome «Восточный» эта система реализует обработку информации более чем от 40 источников ТВ-сигналов. Соединительные кабели наземной аппаратуры автономных систем управления ракет-носителей, а также оборудования систем управления космическими аппаратами и станций приема и обработки космической информации должны обеспечить не только неискаженный прием информационных сигналов, но и оптимальные параметры передачи в диапазоне частот, необходимом для воспроизведения исходной информации [7, С.54;8, С.47].

В настоящее время в телекоммуникационных сетях наземной космической инфраструктуры, типовая схема которых приведена на рисунке 1, используются не только оптоволоконные, но и экранированные и неэкранированные электрические кабели. Это связано с тем, что не на всех участках сетевой инфраструктуры целесообразно использовать оптические кабели. Например, в наземном комплексе управления (НКУ), наземном комплексе обработки информации (НКО) для обработки данных об испытаниях изделий на контрольно-измерительной станции (КИС).

В процессе эксплуатации в информационно-телекоммуникационных системах космодрома кабель «витая пара» проще и быстрее восстанавливается в случае повреждений по сравнению с оптоволоконными кабелями. По метражу экранированные кабели «витая пара» значительно превышают неэкранированные в наземной инфраструктуре.

В процессе разработки проектной документации на структурированные кабельные системы (СКС) для электрических каналов связи широко применяется вычислительная техника. В настоящее время ее роль во многом сведена к уровню элементарной автоматизации рутинных процедур типа формирования спецификаций, изготовления и копирования чертежей и аналогичных им действий. Иначе говоря, де-факто компьютер выступает в роли обычного количественного усилителя возможностей проектировщика, крайне незначительно улучшая процесс проектирования на качественном уровне.

Сама возможность интеллектуализации процесса проектирования в такой ситуации остается под серьезным вопросом. Далее рассмотрены некоторые предложения по исправлению сложившейся ситуации применительно к процессу проектирования СКС.

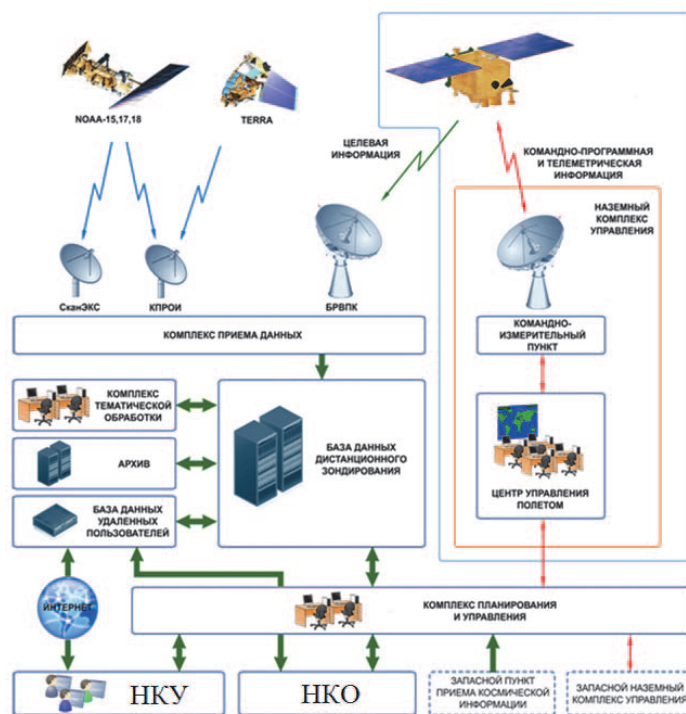


Рисунок 1 – Типовая схема наземной космической инфраструктуры

Проанализируем факторы неопределенности в процессе разработки проектной документации масштабной СКС. Физический уровень современной ИТС в соответствии с требованиями профильных стандартов выполняется как СКС [8, С.5]. Информационная проводка даже среднего масштаба насчитывает несколько тысяч отдельных компонентов, т.е. представляет собой типичную сложную техническую систему с изначально высокой степенью неопределенности. Полную совокупность факторов неопределенности можно разделить на две основные группы:

- «конфигурационная» неопределенность;
- неопределенность «по построению».

Конфигурационная неопределенность во многом определяется отсутствием жестких требований стандартов в отношении количества портов пользовательской информационной розетки и их исполнения по категории и среде передачи. Нормативные документы содержат лишь требование в отношении применения минимум двух универсальных розеточных модулей даже без указания их исполнения. Один из них подключен к горизонтальному кабелю из витых пар и чаще всего поддерживает работу телефонного аппарата. Второй документ используется для подключения рабочей станции, входящей в локальную вычислительную сеть (ЛВС), и может быть выполнен как оптическим, так и электрическим.

Неопределенность данной разновидности несколько снижается тем, что оптические порты на рабочих местах встречаются крайне редко. Тот рост попу-

лярности оптических решений пользовательского уровня, который наблюдается в последнее время в связи с внедрением технологии PoLAN [9, С.30], пока не меняет картину качественно.

Известно, что любая сложная техническая система на этапе проектирования постоянно «дышит» в чертежах. Даже небольшие изменения в любой из классических инженерных систем просто в силу габаритов их оборудования с высокой вероятностью влечет за собой необходимость выполнения более или менее глубокого перепроектирования информационной проводки. Чаще всего это выражается в переносе кабельных трасс, что приводит к появлению сильной неопределенности по построению.

Неопределенность данной разновидности слабо выражена в отношении технических помещениях при условии изначально правильного выбора их площади. Сказывается прямой запрет стандартов на нахождение в них оборудования, которое непосредственно не относится к функционированию кроссовых и аппаратных информационной системы.

Также нельзя сбрасывать со счетов все те усовершенствования, которые непрерывно внедряются в создаваемую ИТС и непосредственно сказываются на СКС вплоть до завершения ее монтажа. Чаще всего это проявляется в следующих действиях:

- перенос пользовательских информационных розеток по требованиям заказчика,
- добавление точек радиодоступа Wi-Fi из-за перехода на более скоростную технику и необходимости устранения слепых зон, которые выявлению по результатам обследования электромагнитной обстановки на обслуживаемой площади,
- изменение местоположения камер системы видеонаблюдения, индикаторов системы часофикации и т.д.

В части области действия конфигурационная неопределенность зачастую, но не обязательно, оказывается гораздо шире неопределенности по построению, так как наряду с отдельными компонентами может охватывать весь кабельный тракт. В отличие от этого неопределенность по построению влияет преимущественно только на архитектурную составляющую СКС: кабельные лотки.

Значимое отличие между конфигурационной неопределенностью и неопределенностью по построению наблюдается также в части причин, которые их порождают. В первом случае речь идет об исключительно внутрисистемных причинах, тогда как неопределенность по построению становится прямым следствием изменений в других инженерных системах объекта недвижимости.

Дополнительно укажем на то, что приведенные соображения справедливы только в отношении горизонтальной подсистемы. Это связано с тем, что магистральные подсистемы используют в качестве кабельных трасс преимущественно стояки, которые как архитектурный компонент объекта недвижимости не подвержены влиянию со стороны организуемых в нем традиционных инженерных систем.

Указанное обстоятельство слабо влияет на общую неопределенность проекта СКС, т.к. основные ресурсы при создании СКС направляются на создание

горизонтальной подсистемы, как показано на рисунке 2.

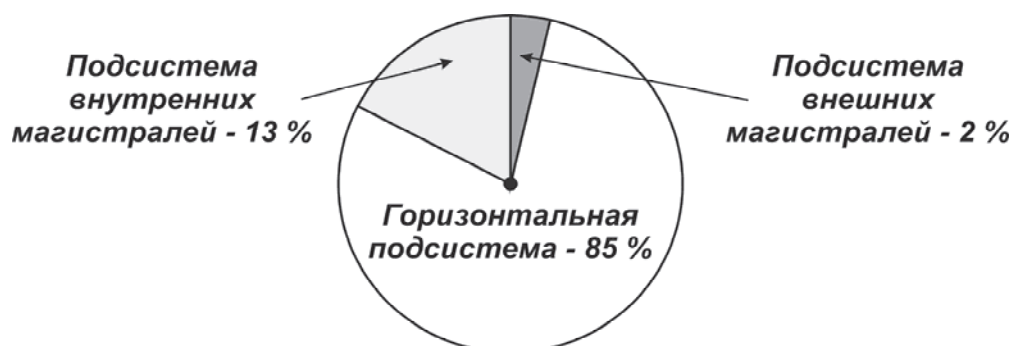


Рисунок 2 – Усредненные по проектам построения офисных объектов ресурсы, направляемые на создание отдельных подсистем СКС

Проведем анализ соотношения конфигурационной неопределенности и неопределенности по построению. Факторы неопределенностей по конфигурации и по построению, строго говоря, влияют друг на друга. Так, например, перевод ЛВС на схему PoLAN не меняет общего количества портов кабельной системы, но за счет централизованного характера построения потенциально может вызывать необходимость увеличения площадей аппаратной. Тем не менее, степень такого влияния мала, в дальнейшем ее наличием пренебрегаем и считаем неопределенности независимыми друг от друга, как показано на рисунке 3.

Количественно неопределенность характеризуется информационной энтропией Шеннона [11, С.9]. Из независимости рассматриваемых неопределенностей следует, что

$$H_{\Sigma} = H_C + H_B, \quad (1)$$

где  $H_C$  – полная конфигурационная информационная энтропия, а  $H_B$  – энтропия неопределенности по построению.



Рисунок 3 – Соотношение конфигурационной неопределенности и неопределенности по построению

Конфигурационная неопределенность носит явно выраженный финитный характер. Она не оказывает влияние на неопределенность по построению, значи-

мую с инженерной точки зрения. Ее минимизации не вызывает серьезных проблем, а сопутствующие этому процедуры носят, преимущественно, технический характер.

Приведем несколько примеров, которые иллюстрируют справедливость данного утверждения.

Простота замены электропроводных модулей на оптические определяется

- идентичностью габаритов модулей и механизмов их крепления в корпусе информационной розетки и коммутационной панели;
- преимуществом оптических панелей над медножильными по конструктивной плотности (в 1,5-2 раза у наиболее совершенных образцов техники) как прямое следствие заметного лучших массогабаритных показателей волоконных световодов по сравнению с витыми парами;
- некоторым превосходством оптических кабелей над 4-парными симметричными по площади поперечного сечения, что особенно ярко проявляется в случае применения задаваемых стандартами изделий категории 6 и выше.

Добавление количества портов в пользовательскую информационную розетку не влечет за собой необходимость перепроектирования кабельных трасс из-за слабой востребованности многопортовых розеток в проектах, что иллюстрирует рисунок 4.

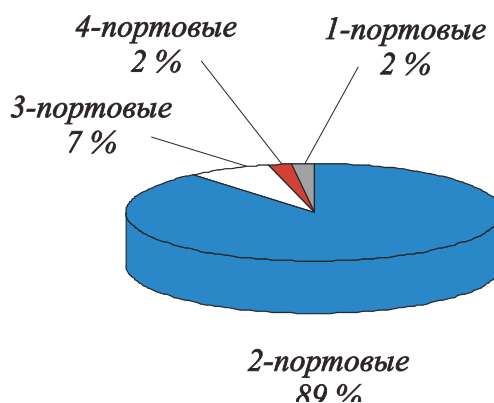


Рисунок 4 – Распределение количества портов пользовательских информационных розеток

Из приведенной на рисунке 4 статистики следует, что среднее по проектам эффективное количество кабелей, подводимых к одной информационной розетке, составляет

$$\bar{n} = \sum_{j=1}^4 j \cdot P_j = 2,09 \quad (2)$$

Габариты лотков как основной разновидности кабельных каналов, закла-



дываемых в проект, обычно обеспечивают естественный запас просто в силу ограниченности доступной номенклатуры лотков и иных элементов формирования кабельных трасс, а также естественного подхода к установке ближайшего подходящего по ближайшему доступному сверху сечению. Проектировщик выбирает лоток с запасом по сечению как минимум 15-20%. Т.е. ожидаемая 5-процентная вероятность увеличения количества портов и, соответственно, подключаемых к ним кабелей, не перекрывает запас, и переполнение лотков становится явлением исключительным.

Со стороны технических помещений добавление подключений из-за ввода новых подсистем (например, часофикации) в процессе текущей эксплуатации объекта не приводит к серьезным проблемам. Сказывается то, что

- используемый для монтажа в кроссовых этажа 19-дюймовый монтажный конструктив из-за характерной для заказчиков явно выраженной тяги к 42-юнитовому исполнению в подавляюще большинстве случаев содержит, по крайней мере, несколько свободных посадочных мест (см. статистику рисунков 5, 6);
- количественный объем по точкам подключения вновь вводимых информационных систем, относящихся преимущественно к цифровому потолку, не превышает 10-15% от количества портов традиционных пользовательских информационных розеток [10, С.7], что опять же в разы меньше ожидаемого количества свободных посадочных мест в 19-дюймовых конструктивах.

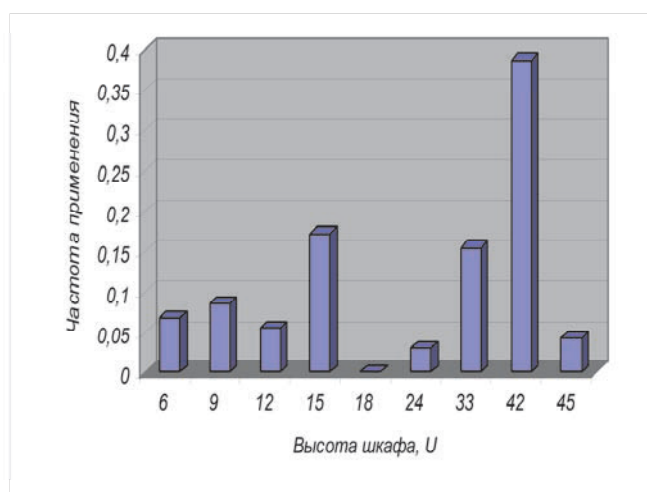


Рисунок 5 – Частота применения монтажных шкафов различной высоты в проектах реализации СКС

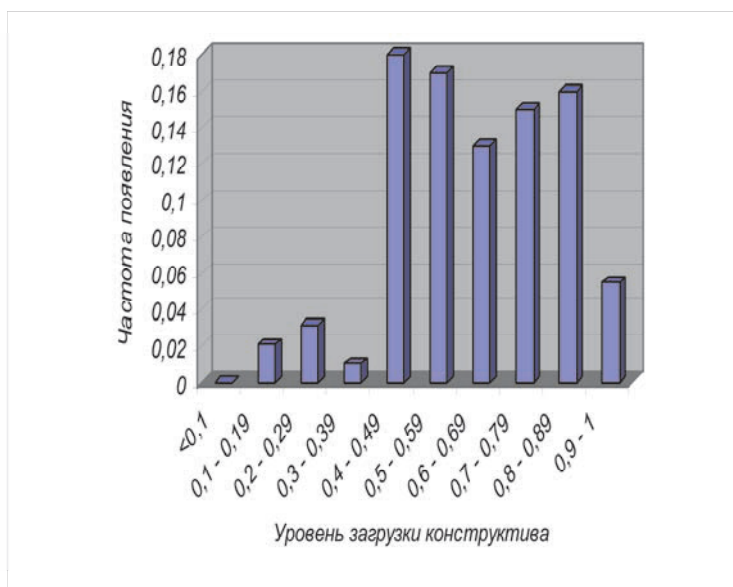


Рисунок 6 – Степень заполнения 19-дюймовых монтажных шкафов этажных кроссовых оборудованием ЛВС и СКС в реализованных проектах (среднее значение 0,6 при среднеквадратичном отклонении 0,2)

В результате имеем

$$H_C \ll H_B \quad (3)$$

Таким образом, основная задача программного обеспечения (ПО) для поддержки проектирования СКС по отношению к конфигурационной неопределенности сводится к недопущению грубых ошибок проектировщика. Она легко решается даже программными продуктами общего применения. Например, степень заполнения 19-дюймового шкафа эффективно контролируется векторными графическими редакторами уровня Corel Draw и Visio при условии активации режима привязки изображения отдельных панелей к сетке в процессе формирования изображения фасада. Сильная сторона такой проверки в том, что она не является дополнительной, т.к. чертеж фасада обязательно включается в графическую часть проектной документации.

#### **Внедрение технологии BIM как средства снижения неопределенности по построению наземной кабельной инфраструктуры**

Создание проектной документации на СКС представляет собой итерационный процесс. Разработка следующей версии уже созданного ранее материала (в данном случае документации СКС) проводится, если изменения, производимые в отношении других инженерных систем, непосредственно влияют на кабельную систему. При реализации очередной итерации специалист, отвечающий за определенную часть проекта, должен как можно ранее выявить возникающий

конфликт, который рассматривается как проектная коллизия, а затем устранить его.

Существенно повысить качество взаимной увязки инженерных систем проектируемого здания позволяет применение BIM-технологий. BIM формируется при создании геометрической модели здания, а затем используется и дополняется разнообразной информацией на протяжении всего процесса проектирования [12, С.325]. При этом создается цифровой образ здания в формате информационной модели, позволяющей прогнозировать свойства и характеристики здания и более эффективно управлять ими [13, С.102].

Обработка данных проектов, выполненных ООО «Метрополис», дополненная анализом листов изменений, а также замечаний заказчиков и экспертизы, позволила сформировать перечень коллизий, непосредственно влияющих на неопределенность по построению. Влиянием остальных факторов, по крайней мере, в первом приближении, можно пренебречь.

Всего в общей сложности анализировалось 12 крупных комплексных проектов, одной из составных частей которых являлась СКС. Проекты делились на две группы. Проекты первой группы выполнялись с привлечением ПО общего назначения AutoCAD. Во втором случае проектирование осуществлялось в среде ПО Autodesk Revit. Результаты обработки соответствующих данных приведены в таблице.

**Таблица – Частота появления различных разновидностей неопределенности по построению в проектах построения СКС и обобщенная шенноновская энтропия**

Тип ошибки	P(A)	
	AutoCAD	Autodesk Revit
Архитектурные изменения	0,83	0,17
Технологические изменения	0,17	0
Недостовверные данные в кабельном журнале	0,33	0,17
Ошибки в расчетах спецификаций	0,17	0,17
Противоречия в документации на отдельные системы здания	0,67	0,33
Обобщенная шенноновская энтропия	5,6	2,14

Положительный эффект от BIM-технологий виден сразу по количеству выявленных ошибок. В первом случае было выявлено 13 коллизий, во втором случае их количество сократилось до 5.

Для количественной оценки эффективности применения BIM-технологии привлекалось понятие энтропии. При ее расчете принималось во внимание то, что выявляемые проектные ошибки являются совместными и независимыми. Кроме того, они могут происходить в любом из возможных сочетаний. Для учета этих особенностей в качестве численной меры неопределенности применим обобщенную энтропию Шеннона [12, С.29].

$$H(X, Y) = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} \cdot \log_2(p_{ij}) \quad (4)$$

Результаты ее расчета также приведены в таблице и свидетельствуют о том, что применение BIM-технологии в варианте Autodesk Revit обеспечивает двухкратное снижение неопределенности.

Для борьбы с фактором неопределенности процесса проектирования структурированных кабельных систем для наземной космической инфраструктуры хорошим решением является также мониторинг состояния информационно-телекоммуникационной системы космодрома. В состав систем мониторинга телекоммуникационных сетей входят измерительные устройства. В функции измерительных устройств входит выявление «узких мест».

Стратегия восстановления ключевых сервисов информационных систем должна предусматривать разработку аварийного генерального плана, проектирование резервных ВК, выполняющих функции резервной обработки данных и удаленной диагностики основного ВК и телекоммуникационной инфраструктуры, организационно-технические мероприятия по улучшению ЭМС и выявлению «узких» мест.

Организационно-технические мероприятия по совершенствованию системы управления наземной кабельной инфраструктурой космодрома позволяют снизить эксплуатационные расходы на 30%, повысить эффективность использования сетевых ресурсов на 40% [1, С.22], улучшить характеристики надежности: увеличение вероятности безотказной работы, сокращение времени на диагностику, сокращение незапланированных простоев телекоммуникационного оборудования и оборудования ВК за счет выявления «узких» мест и обеспечения ЭМС.

#### **Заключение**

Полученные результаты позволяют констатировать следующее

- Главным фактором появления коллизий при разработке проектной документации СКС наземной инфраструктуры космодрома является неопределенности по построению. Конфигурационная неопределенность легко компенсируется типовыми проектными запасами.
- Эффективность программного обеспечения, применяемого в процессе проектирования СКС наземной инфраструктуры, кратно возрастает при переходе на BIM-проектирование, т.е. в случае его прямого или опосредованного взаимодействия с теми программными продуктами, которые привлекаются для поддержки процессов проектирования его традиционных инженерных систем.
- В проект построения СКС по возможности целесообразно закладывать то оборудование, производитель которого предоставляет своим партнерам его BIM-модели.
- Внедрение BIM-технологии в процесс проектирования СКС позволяет добиться значимого эффекта в части снижения неопределенности по построению в первую очередь кабельных трасс горизонтальной подсистемы.

мы наземной инфраструктуры, причем положительный эффект достигается постоянным контролем совместимости кабельных трасс с оборудованием инженерного обеспечения и архитектурными особенностями монтажных испытательных комплексов.

- В целях борьбы с фактором неопределенности процесса проектирования структурированных кабельных систем, входящих в наземную инфраструктуру, хорошим решением является мониторинг состояния информационно-телекоммуникационной системы космодрома.

#### *Литература*

1. Аббасова Т.С., Погосян А.Т. Анализ структуры наземного комплекса управления космическими летательными аппаратами // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации (ITRT-2016): сб. статей VI международной заочной научно-технической конференции. Ч.1 / Поволжский гос. ун-т сервиса. Тольятти: Изд-во: ПВГУС, 24-25.03.2016. С. 19-22 (345 с.).
2. Аббасова Т.С., Комраков А.А. Восстановление и проверка корректности телеметрических данных // Информационно-технологический Вестник. № 2(04). 2015. С. 55-64.
3. Андрейко А.Н., Кравец В.Г., Кучеров М.А., Лучинский В.П. Портативный комплекс приема телеметрической информации для передачи в центр управления полетами данных по спуску пилотируемых транспортных кораблей // Космическая техника и технологии. 2016. № 1(12). С. 90-98.
4. Додонов А.Г., Путятин В.Г. Радиотехнические средства внешнетраекторных измерений // Математические машины и системы. 2018. № 1. С. 3-30.
5. Кучеров Б.А. Адаптация мощности земных станций узловой сети спутниковой связи при работе в стволе с прямой ретрансляцией // Двойные технологии. 2015. № 1. С. 53-58.
6. Аббасов Э.М. Методика оценки дальности приема современными телеметрическими средствами при пусках изделий с космодромов // Информационно-технологический Вестник. № 2(04). 2020. № 3(25). С. 3-12.
7. Артюшенко В.М., Аббасова Т.С. Эффективность защиты от внешних помех электропроводных каналов структурированных кабельных систем для передачи высокоскоростных информационных приложений // Информационные технологии. 2014. № 5. С. 52-57.
8. Семенов А.Б., Артюшенко В.М., Аббасова Т.С. Введение в структурированные кабельные системы // М.: Научный консультант. 2018. 206 с.
9. Шевелев С., Семенов А. Технология PoLAN как новый формат нижнего уровня информационных систем офисных зданий // Первая миля. 2021. № 2(94). С. 28-33.
10. Руководство по проектированию систем освещения PoE 60 Вт: зонное распределение и зоны обслуживания в СКС // Фирменный материал компании Siemon. 2017. 12 с.

11. Шеннон К., Работы по теории информации и кибернетике: [Сборник статей]: Пер. с англ. / С предисл. А.Н. Колмогорова; под ред. Р.Л. Добрушина и О.Б. Лупанова. М.: Изд-во иностранной литературы, 1963. 829 с.
12. Гинзбург А.В., Баранова О.М., Блохина Н.С. и др. Системы автоматизации проектирования в строительстве: учебное пособие // под ред. А.В. Гинзбурга. М.: МГСУ, 2014. 664 с.
13. Талапов В.В. Основы BIM. Введение в информационное моделирование зданий. Саратов: Профобразование, 2017. 392 с.

УДК 621.396.946

**Мониторинг радиочастотного спектра сети спутниковой связи,  
охватывающей всю территорию Российской Федерации:  
особенности практики территориально распределенного решения**

**Л.В. Меньшикова**, кандидат физико-математических наук,  
доцент кафедры информационных технологий и управляющих систем,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области

«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза,  
летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область,

**Д.М. Найденова**, студентка 1-го курса,

Факультет вычислительной математики и кибернетики,

Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

*Приведен обзор состояния орбитальной группировки спутников на геостационарной орбите и их операторов, предоставляющих услуги связи в РФ, и организации, регулирующие предоставление услуг в этой области. Предложена методика контроля радиочастотного спектра каналов спутниковой связи территориально распределенной системы с большим числом земных станций, осуществляемого с одной станцией. Показана взаимосвязь коэффициента ошибок в канале спутниковой связи с отношением «сигнал-шум». Даны рекомендации по выбору параметра контроля, не зависящего от характеристик приемных земных станций.*

Проекты информатизации, проектирование сети спутниковой связи, телекоммуникационные сети с архитектурой «звезда», пропускная способность сетей передачи данных.

**Monitoring of the radio frequency band of the satellite communication  
network: features of the practice of the Russian Federation  
territory dispersed solution**

**L. Menshikova**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Technologies and Control Systems, State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Moscow Region «Technological University named after twice Hero of the Soviet Union, pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region,

**D. Naydenova**, 1st year student of the Department of Applied Mathematics and Cybernetics,

Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Moscow

*An overview of the satellites orbital group state in geostationary orbit and their operators providing communication services in the Russian Federation and or-*

*ganizations regulating the service. Also the article presents a method to monitor the radio frequency distribution of satellite channels of a territorially dispersed system operating with a big number of ground stations. It also demonstrated the interconnection of error coefficients in a satellite communications channel with the SIGNAL-NOISE. Also, recommendations as to the selection of monitoring parameter that would not depend on receiving capabilities of ground-based stations are presented.*

IT-projects, satellite communication network design, the telecommunications networks with the star-architecture, bandwidth of data communication networks.

### **Введение. Состояние орбитальной группировки в Российской Федерации**

В последнее время в Российской Федерации большое внимание уделяется вопросу восполнения и развития орбитальной группировки, так как за годы перестройки орбитальная группировка Российской Федерации сильно «постарела». Надо отметить, что в силу своей уникальности геостационарная орбита является стратегическим ресурсом. России выделено на ней 13 орбитальных позиций, остальные же позиции, не выделенные конкретным странам, распределяются в общем порядке. Кроме того, что неиспользование орбитальных позиций может привести к их потере, а это крайне нежелательно. Немаловажное значение имеет и тот факт, что использование иностранных спутников госструктурами России ставит экономику РФ в зависимость от иностранных компаний. В 2001-2005 в рамках программы «О мерах по обеспечению государственной поддержки развертывания и функционирования гражданских спутниковых систем связи и вещания государственного назначения», разработано, изготовлено и запущено на геостационарную орбиту семь космических аппаратов нового поколения «Экспресс-АМ». Таким образом, сильно постаревшая в годы перестройки орбитальная группировка к 2005 году была восполнена двенадцатью космическими аппаратами (два спутника типа «Экспресс-А», пять – «Экспресс-АМ», «Ямал-100», два «Ямал-200», «Горизонт-45» и «Экран-18»). Следует отметить, что некоторые из этих спутников к 2022 году уже выведены из эксплуатации наряду с теми, которые по тем или иным причинам не приняты в штатную эксплуатацию. В частности, в конце декабря 2003 года был запущен космический аппарат (КА) «Экспресс-АМ22», ныне уже выведенный из эксплуатации. Это был первый из вышеупомянутых спутников нового поколения. Он был разработан НПО «Прикладная механика» им. М.Ф. Решетнева совместно с компанией Alcatel Space и оборудован 24 транспондерами Кудиапазона с полосой пропускания 54 МГц. Срок активного существования спутника на орбите был 12 лет, точность его удержания на орбите по долготе и наклонению составляла +0,05 град. Антенны КА имели контурные и перенацеливаемые лучи, мощность излучения была 53 дБВт в центре зоны обслуживания. Данный спутник связи на тот момент отвечал всем современным требованиям. Для работы с ним можно было задействовать наземные антенны с диаметром зеркала около 1.5 м. Этот КА был предназначен для предоставления целого спектра услуг, включая цифровое телевидение, телефонию, видеоконференц-связь, передачу данных и доступ в Интернет. На его основе были реализованы системы дистанционного обучения и телемедицины. Высокий класс данного спутника подтверждался тем, что половину стволов сразу после его запуска на геостационарную орбиту арендовала компания Евтелсат.



В настоящее время на геостационарной орбите Российская Федерация имеет 25 геостационарных спутников: Экспресс-АМЗ (103° в.д.), Экспресс-АМ5 (140° в.д.), Экспресс-АМ6 (53° в.д.), Экспресс-АМ7 (40° в.д.), Экспресс-АМ8 (14° з.д.), Экспресс-АМ33 (96,5° в.д.), Экспресс-АМ44 (11° з.д.), Экспресс-АМУ1 (36,1° в.д.), Экспресс-АМУ3 (103° в.д.), Экспресс-АМУ7 (145° в.д.), Экспресс-АТ1 (56° в.д.), Экспресс-АТ2 (140° в.д.), Экспресс-103 (96,5° в.д.), Экспресс-80 (80° в.д.), Луч-5А (167° в.д. (во время тестирования 58,5° в.д., 95° в.д.)), Луч-5Б (16° з.д.), Луч-5В (95° в.д.), Ямал-202 (49° в.д.), Ямал-300К (177° з.д.), Ямал-401 (90° в.д.), Ямал-402 (55° в.д.), Ямал-601 (49° в.д.), Электро-Л1 (14,5° з.д.), Электро-П (76°50' в.д.), Электро-Л2 (165,5° в.д.). Технические параметры спутников приведены в таблице 1, а в таблице 2 приведены характеристики лучей тех же спутников.

#### **Организации, регулирующие деятельность в области радиосвязи**

Все вопросы, касающиеся радиосвязи, регламентируются **Международным Союзом Электросвязи (МСЭ)**, штаб-квартира которого расположена в Женеве. Основным документ, регламентирующий эти вопросы – **Регламент радиосвязи**.

В РФ координация и регулирование деятельности в области развития и совершенствования федеральной электросвязи осуществляет Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации (Минцифры России) и подведомственная ему Государственная комиссия по радиочастотам (ГКРЧ), выпускающая положения в рамках вышеуказанной деятельности, которые утверждает Правительство Российской Федерации. Решения ГКРЧ являются обязательными для всех на территории Российской Федерации и регулируют использование радиочастот и радиоэлектронных средств гражданского назначения юридическими и физическими лицами, позволяют проводить контроль за электромагнитной совместимостью радиоэлектронных средств.

**Федеральная служба по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)** контролирует работу сетей и средств связи, проверяет качество услуг, выполнение условий осуществления деятельности в соответствии с полученными лицензиями и требованиями нормативных правовых актов в области связи, в том числе по вопросам модернизации федеральной электросвязи.

#### **Службы радиосвязи, использующие геостационарные спутники**

В зависимости от типа, размещения земных станций и назначения системы связи в соответствии с Регламентом радиосвязи различают несколько видов служб спутниковой радиосвязи, где используются геостационарные спутники.

Прежде всего, это **фиксированная спутниковая служба (ФСС)** – служба радиосвязи через космическую станцию (КС) на искусственном спутнике Земли (ИСЗ) между земными станциями, расположенными в определенных (фиксированных) пунктах.

**Кроме того, это подвижная спутниковая связь (ПСС)** – служба радиосвязи между подвижными земными станциями (ЗС) через одну или несколько КС. В системы связи подвижной службы так же включаются одна или несколько стационарных ЗС, называемые станциями сопряжения и предназначенные для коммутации и управления.

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ, КОНСТРУКЦИЯ И ПРОИЗВОДСТВО  
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

**Таблица 1 – Технические параметры геостационарных спутников РФ**

Спутник/Оператор/ССЦ	Орбитальная позиция, градусов в.д./з.д.	Масса спутника, кг/масса полезной нагрузки, кг	Общая мощность, кВт/общая мощность телепортации спутника, кВт/ Мощность, потребляемая полезной нагрузкой, Вт	Тип космической платформы / производитель	Стабилизация	Срок активного существования на орбите, лет	Габаритные размеры спутника при запуске ХХХХ, форма, размер солнечных батарей	Точность удержания на ГСО, по максимуму по долготе град.	Дата и время запусков космолан (название космолан, если спутник переконструирован для запуска с другого космолан)	РН (ракета-носитель/узел/полный блок/линейка)	Регионы РФ, обслуживаемые спутником	Диапазон частот/Количество телепортации каналов/кгс. МГц
Экспресс-АМВ/ГПКС	23° в.д. (с 03.03.2022, ранее -103° в.д. до 01.08.2015, ранее - 140	2555	4410	Eurostar-3000/ БРТК - НПО ПМ, ПН - Alcatel Space(Франция)	трехосевная	12	-	±0,1 / ±0,1	24.06.2005 / Байконур	РН Протон-К/РБ ДМ-2	РФ	35 {16 (C-band), 12x54МГц(Ku-band)1x1МГц(L-band)}
Экспресс-АМ5 /ГПКС	140° в.д.	3400/1030	14000/12700	Экспресс-2000/БРТК - ИСС им. М.Ф. Решетнева, ПН и антенны: MacDonald, Detwiler&AssLtd(MDA, Канада)	трехосевная	15	-	±0,05 / ±0,05	26.12.2013 11:49:50(UTC) Байконур	РН Протон-М/РБ Бриз-М	видимая часть РФ	151 {30x40МГц (C-band) через 50МГц и, 40x54МГц(Ku-band), 12x182МГц(Ku-band), 1(L-band)}
Экспресс-АМ6/ ГПКС	53° в.д.	3400	14000	Экспресс-2000/БРТК - ИСС им. М.Ф. Решетнева, ПН - MDA (Канада)	трехосевная	15	-	±0,05 / ±0,05	21.10.2014 16:09 UTC/ Байконур	РН Протон-М/РБ Бриз-М	Европейская часть России и Западная Сибирь	72 {14 (C-band), 44 (Ku-band), 12(L-band)}
Экспресс-АМ7/ ГПКС	40° в.д.	5720/ 1438,5	18500/13665	Eurostar-E3000/Airbus DS (Европа-Франция/Германия)	трехосевная	15	-	±0,05 / ±0,05	09.03.2015/ Байконур	РН Протон-М/РБ Бриз-М	С ( 20-105 в.д. 25-70 с.ш.), Ку (Европейская часть России, кроме Калининградской области, Урал и часть Западной Сибири)	80 { из них 24 (C-band) 36(Ku-band), 2(L-band)}
Экспресс АМ8/ГПКС	14° з.д.	2100/661	5880	Экспресс-1000НТВ/БРТК - ИСС им. М.Ф. Решетнева, ПН - TASI(Франция)	трехосевная	15	-	±0,05 / ±0,05	09.03.2015/ Байконур	РН Протон-М/РБ Бриз-М/СТД-100	-	42 {24 (C-band),16 (Ku-band), 2(L-band)}
Экспресс-АМ3/ГПКС	11° з.д. (с 17.08.2022, ранее -96,5° в.д.)	2579	6770	МСС-727/БРТК - ФГУП «Научно-производственное объединение прикладной механики имени академика М.Ф. Решетнева (НПО ПМ), ПН - "Thales Alenia Space Italy" (TASI, Франция)	трехосевная	12	-	±0,05 / ±0,05	28.01.2008 00:18 UTC	РН Протон-М/РБ Бриз-М	-	35.1 {10x40 (C-band), 16x54 (Ku-band) и 1(L-band)}
Экспресс-АМ4 /ГПКС	11° з.д.	2560/590	4410	МСС-727/БРТК - НПО ПМ, ПН - TASI(Франция)	трехосевная	12	-	±0,05 / ±0,05	11.02.2009 00:03 UTC	РН Протон-М/РБ Бриз-М	-	35.1 {10x40 (C-band), 16x54 (Ku-band) и 1(L-band)}
Экспресс-АМУ1/ ГПКС	36,1° в.д.	5892	15000	EADS Astrium (Европа-Франция/Германия)	трехосевная	15	-	±0,05 / ±0,05	24.12.2015 00:30:50мс/ Байконур	РН Протон-М/РБ Бриз-М	Европейская часть РФ	70 {52x36МГц (Ku-band) и 18 (Ka-band)}
Экспресс-АМУ3/ ГПКС	103° в.д.	2150-489	6300	Экспресс-1000Н/БРТК - ИСС им. М.Ф. Решетнева, ПН - Thales Alenia Space(Франция, Италия)	трехосевная	15	-	±0,05 / ±0,05	13.12.2021/ Байконур	РН Протон-М/РБ Бриз-М/СТД-100	видимая часть РФ (С, Ku-band), глобальная зона (L-band)	40 {7 (C-band), Вариант 1 - 2 широких луча и 8 транспондеров или Вариант 2 - 5 узких лучей и 22 транспондера и радиомаяк (Ku-band) и 2 (L-band)}
Экспресс-АМУ7/ ГПКС	145° в.д.	1980/469	6300	Экспресс-1000Н/БРТК - ИСС им. М.Ф. Решетнева, ПН - Thales Alenia Space(Франция, Италия)	трехосевная	15	-	±0,05 / ±0,05	13.12.2021/ Байконур	РН Протон-М/РБ Бриз-М/СТД-101	видимая часть РФ - от Красноярска до Камчатки (С, Ku-band), глобальная зона видимости (L-band)	42 {16 активных+2 резервныхx2 радиомаяка (C-band), 20 активныхx1 радиомаяк (Ku-band) и 1 (L-band)}
Экспресс-АТ1/ ГПКС	56° в.д.	1726/360	5880	Экспресс-1000ТВ/БРТК - ИСС им.М.Ф.Решетнева, ПН - TASI (Франция)	трехосевная	15	-	±0,05 / ±0,05	16.03.2014 0:08 UTC / Байконур	РН Протон-М/РБ Бриз-М	видимая часть РФ	32 {Ku-band}

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ, КОНСТРУКЦИЯ И ПРОИЗВОДСТВО  
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Спутник/Оператор/СПЦ	Услуги	Пределная скорость передачи сигнала	Лучи/название/точка наведения(присоединения) луча	Диапазон частот/Объемности - резервизация тестируемых новых технологий, описание диапазонов, прочие	Зона обслуживания/лучей	ЭИИМ (ожидаемая и фактически используемая мощность) - стволы КА и центры луча, дБВт	Добротность СЧ антенны КА, дБ/К	Тип поляризации луча
Экспресс АТ2/ ГЛКС	ФСС: непосредственное спутниковое телевидение на территории западной и восточной РФ	-	ФЛ11	Ku-диапазон	РФ	53	-	-
Экспресс-103/ГЛКС	ФСС: цифровое ТВ, широкополосный доступ, магистральные каналы связи, организация ТВ-переговоров; ПСС: услуги связи на морских и воздушных судах	-	ФЛ11 (С-диапазон), ФЛ11 (Ku-диапазон)	Антенны: С-band - 1 приемо-передающая D=2000мм, рупорные - 1 передающая и 1 приемная; Ku-band - 2 приемо-передающая D=2000мм, рупорные - 1 передающая, С-band - 2 приемо-передающая (глобальная и зональная)	РФ, северная Индия и Юго-Восточная Азия	46,7 (С-band); 52(Ku-band)	-	-
Экспресс 80/ГЛКС	ФСС: цифровое ТВ, широкополосный доступ, магистральные каналы связи; ПСС: услуги связи на морских и воздушных судах	-	ФЛ11 (С-диапазон), ФЛ11, ФЛ12 (Ku-диапазон)	С-диапазон, Ku-диапазон, L-диапазон	РФ, страны СНГ	45,1 (С-band); 48,8(Ku-band)	-	-
Луч-5А/ Государственная корпорация космической деятельности "Роскосмос" (Госкорпорация "Роскосмос")	для работы с низколетящими спутниками с высотой орбит до 2000 км - прием телеметрии и передача команд на них; пилотируемые космические комплексы, РН, разгонные блоки	150 Мбит/с (Ku-band), 5 Мбит/с (С-band)	1 антенны с узкими ДН - 1 Ku-band, 1 S-band	С-диапазон, Ku-диапазон, Р-диапазон, L-диапазон	-	55	24	-
Луч-5Б/ Государственная корпорация "Роскосмос"	для работы с низколетящими спутниками с высотой орбит до 2000 км - с возможностью передачи команд на них, прием сигналов в Р-диапазоне и их ретрансляция в L-диапазоне систем "КОСПАС-САРСАТ" сбора и передачи гидрометеорологической информации "Планета-С"	150 Мбит/с (Ku-band), 5 Мбит/с (С-band)	2 антенны с узкими ДН, D=4,2 м - 1 Ku-band, 1 S-band	С-диапазон, Ku-диапазон, Р-диапазон, L-диапазон	-	23-59,6	16,5-25,1	-
Луч-5В/ Государственная корпорация "Роскосмос"	для работы с низколетящими спутниками с высотой орбит до 2000 км - с возможностью передачи команд на них, прием сигналов в Р-диапазоне и их ретрансляция в L-диапазоне систем "КОСПАС-САРСАТ" сбора и передачи гидрометеорологической информации "Планета-С"	150 Мбит/с (Ku-band), 5 Мбит/с (С-band)	2 антенны с узкими ДН, D=4,2 м - 1 Ku-band, 1 S-band	С-диапазон, Ku-диапазон, Р-диапазон, L-диапазон	-	-	-	-
Ямал-202/ГЛКС	ФСС: магистральные каналы; ПСС: морские суда	-	-	С-диапазон,	Полуглобальная зона обслуживания (восточная Азия, западная Северная Америка, северная часть Тихого океана)	44	-	-
Ямал-300К/ГЛКС	аренда ресурса и услуги связи на Дальнем Востоке и в Тихоокеанском регионе	-	Контурные лучи (С-band), Северный луч 1 (фиксированный, контурный), Северный луч 2 (фиксированный, эллиптический), Переадресуемый (Ku-band)	С-диапазон, Ku-диапазон	РФ, северная часть Тихого океана и Западное побережье Северной Америки	-	-	-
Ямал-401/ГЛКС	аренда ресурса и услуги связи	-	1 фиксированный в С-диапазоне и 2 фиксированных в Ku-диапазоне: Луч С-диапазона, Российский луч Ku-диапазона, Северный луч Ku-диапазона	С-диапазон, Ku-диапазон	РФ и сопредельные государства	47(С), 51(Ku)	2,5(С), 4-5(Ku)	-
Ямал-402/ГЛКС	высокоскоростные широкополосные услуги	-	4 фиксированных луча и 1 переадресуемый: Российский луч, Северный луч, Европейский луч, Южный луч, Переадресуемый луч	Ku-диапазон	РФ, страны СНГ, Западная и Центральная Европа, Ближний Восток и Африка	52(Ku)/ выходящая мощность транспондеров в С-band: 120-150Вт	4 (Ku)	-

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ, КОНСТРУКЦИЯ И ПРОИЗВОДСТВО  
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Служба/Оператор/ССЦ	Орбитальная позиция, градусы в.д./з.д.	Масса спутника, кг/масса полезной нагрузки, кг	Общая мощность излучения/электрическая мощность к Вл/ Мощность, потребляемая полезной нагрузкой, Вт	Тип космической платформы / провайдер	Стабилизация	Срок активного существования на орбите, лет	Габаритные размеры спутника при запуске XxYxZ, форма, размер солнечных батарей	Точность управления по inclination/по долоте град.	Дата вступления в службу / срок службы (срок службы, если спутник предназначен для запуска с другого космического аппарата)	РН (ракета-носитель)/разомный блок/двигатель	Регионы РФ, обслуживаемые спутником	Диапазон частот/Количество транспондеров эквиваленте 36 МГц
Ямал-601/ГКС	49° в.д.	5400	7400	Srscabus-4000С4/ БРТК - ИСС им.М.Ф.Решетнева, ПН - TASI (Франция)	трехосная	10	-	±0,1 / ±0,1	30.05.2019 17:42UTC Байконур	РН Протон-М/РБ Бриз-М/С-400(Германия)	С (видимая со спутника часть территории РФ), Ка (Европейская часть России, включая Калининградскую область, Урал, Западная Сибирь)	70{18 (C-band), 32(Ka-band)}
Электрон-12/ Гокорпорация Роскосмос	14,5° з.д.	1740/462	1700/700	Научно-производственное объединение им. С.А.Лавочкина (НПО им. С.А.Лавочкина)	трехосная	10	5,5x2,5м	-	11.12.2015	РН Зенит-2SB/РБ Фрегат-СБ	Видимая со спутника часть территории РФ	4{X-band, L-band,UHF-band}
Электрон-13/ Гокорпорация Роскосмос	165,5° в.д.	1740/462	1700/700	НПО им. С.А.Лавочкина	трехосная	10	5,5x2,5м	-	24.12.2019	РН Протон-М/РБ Бриз-М	Видимая со спутника часть территории РФ	4{X-band, L-band,UHF-band}
Электрон-11/ Гокорпорация Роскосмос	76°50' в.д.	-	-	НПО им. С.А.Лавочкина	трехосная	12	5,5x2,5м	-	-	РН Зенит-2SB/РБ Фрегат-СБ	Видимая со спутника часть территории РФ	4{X-band, L-band,UHF-band}
Радуга 1-8/ Космические войска	12° в.д.	2420	1600	Глобус №18/ИСС им.М.Ф.Решетнева	трехосная	3	5,5x2,5м	-	28.02.2009	РН Протон-К/РБ ДМ2	Видимая со спутника часть территории РФ	9{L-band,X-band,(C-band),Ka-band}
Радуга 1М-2/Космические войска	85° в.д.	2400	1600	Глобус №12/ИСС им.М.Ф.Решетнева	трехосная	3	5,5x2,5м	-	28.01.2010	РН Протон-М/РБ Бриз-М	Видимая со спутника часть территории РФ	11 {L-band, 3(X-band),(C-band),Ka-band}
Радуга 1М-3	35° в.д.	2400	1600	Глобус №13/ИСС им.М.Ф.Решетнева	трехосная	3	5,5x2,5м	-	12.11.2013	РН Протон-М/РБ Бриз-М	Видимая со спутника часть территории РФ	11 {L-band, 3(X-band),(C-band),Ka-band}
Гарун №1/Космические войска	13,5° з.д.	-	-	ГУКОС/ИСС им.М.Ф.Решетнева	трехосная	15	-	-	21.09.2011	РН Протон-М/РБ Бриз-М/Байконур	Видимая со спутника часть территории РФ	C-band, Ku-band
Гарун №2/Космические войска	80° в.д.	-	-	ГУКОС/ИСС им.М.Ф.Решетнева	трехосная	15	-	-	13.12.2015	РН Протон-М/РБ Бриз-М/Байконур	Видимая со спутника часть территории РФ	C-band, Ku-band
Благовест №11/Л/ Космические войска	неизв	3400	-	Экспресс-2000/ИСС им.М.Ф.Решетнева	трехосная	15	-	-	17.08.2017	РН Протон-М/РБ Бриз-М/Байконур	Видимая со спутника часть территории РФ	C-band, Ka/Q-band
Благовест №11/Л/ Космические войска	неизв	3400	-	Экспресс-2000/ИСС им.М.Ф.Решетнева	трехосная	15	-	-	17.08.2017	РН Протон-М/РБ Бриз-М/Байконур	Видимая со спутника часть территории РФ	C-band, Ka/Q-band
Благовест №11/Л/ Космические войска	неизв	3400	-	Экспресс-2000/ИСС им.М.Ф.Решетнева	трехосная	15	-	-	17.08.2017	РН Протон-М/РБ Бриз-М/Байконур	Видимая со спутника часть территории РФ	C-band, Ka/Q-band
Благовест №11/Л/ Космические войска	неизв	3400	-	Экспресс-2000/ИСС им.М.Ф.Решетнева	трехосная	15	-	-	06.08.2019	РН Протон-М/РБ Бриз-М/Байконур	Видимая со спутника часть территории РФ	C-band, Ka/Q-band

\*NN-"no name" - обозначение лучей, если название лучей не опубликовано в открытой печати

Сокращения: БРТК - бортовой ретрансляционный комплекс; ПН - полезная нагрузка

НПО ПМ - Акционерное общество «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева (ИСС) -

- до 3 марта 2008 года — ФГУП «Научно-производственное объединение прикладной механики имени академика М. Ф. Решетнева (НПО ПМ)

Кроме того, геостационарные спутники используются радиовещательной спутниковой службой, межспутниковой службой, метеорологической службой, службой космических исследований. Назначение этих служб понятно из их названия.

Таблица 2 – Характеристики лучей геостационарных спутников РФ

Спутник/Оператор/ССПД	Услуги	Предельная скорость передачи сигнала	Лучи (в явном/точка наведения/бритический) луча	Диапазон частот/Свойства/к-т-ресурсы/луча геостационарных спутников/новые технологии, описание диапазонов, пробо	Зоны обслуживания лучей	ЭНПН (основная информация по тропическому поясу частот) (спутник КА и тип луча, дБВт)	Добротность СГТ антенны КА, дБК	Тип polarization луча
Экспресс-АМ3/ГТКС	цифровое ТВ, телерадиовещание, телефония, видеоконференцсвязь, ПД, доступ в сеть ИНТЕРНЕТ	-	1 фиксированный и 1 перенацеливаемый (С), 3 фиксированных и 1 перенацеливаемый (Ku), есть транспонеры L-диапазона	С-диапазон, Ku-диапазон, Ka-диапазон	РФ и Центральная Азия	-	-	-
Экспресс-АМ5/ГТКС	ФСС: пакет мультисервисных услуг (цифровое ТВ, телефония, видеоконференцсвязь, передача данных, доступ к сети Интернет), сети VSAT, ПСС: правительственная и президентская	-	2 фиксированных (C-band), 4 фиксированных (Ku-band), 10 перенацеливаемых (Ka-band) "Фиксированный луч С-диапазон", "Перенацеливаемый луч С-диапазон", "Фиксированный луч №1 Ku-диапазон", "Фиксированный луч №2 Ku-диапазон", "Перенацеливаемый луч Ku-диапазон", "Фиксированный луч №1-10 Ka-диапазон"	С-диапазон, Ku-диапазон, L-диапазон	РФ, Филиппинские острова	49,7 (C-band), 55 (Ku-band), 62 (Ka-band)	-	-
Экспресс-АМ6/ГТКС	ФСС: пакет мультисервисных услуг (цифровое ТВ, телефония, видеоконференцсвязь, передача данных, доступ к сети Интернет), сети VSAT, ПСС: правительственная и президентская	-	F1 и F2 (C), FK1 и FK2 (Ku), NN1* (Ka), NN2* (L)	С-диапазон, Ku-диапазон, Ka-диапазон, L-диапазон (Луч С-диапазона (3,4 до 8 ГГц) Луч Ku-диапазона (от 12 до 18 ГГц), Ka-диапазона (от 26,5 до 40 ГГц) L-диапазон (от 1 до 2 ГГц)	F1 (Европейская часть России и Западная Сибирь), F2 (Африка), FK1 (Европейская часть России и Западная Сибирь), FK2 (Центральная Европа и страны Ближнего Востока), NN1* (Европейская часть России и Западная Сибирь), NN2* (нет данных)	46 (C-band), 53,5 (Ku-band)	-	круговая
Экспресс-АМ7/ГТКС	ФСС: услуги ТВ, широкополосный доступ и мультимедиа, передача данных, телефония, ПСС.	-	1 фиксированный и 1 перенацеливаемый (С), 3 фиксированных и 1 перенацеливаемый (Ku), есть транспонеры L-диапазона	С-диапазон, Ku-диапазон, Ka-диапазон, L-диапазон (от 1 до 2 ГГц)	страны Европы, Ближний Восток, Индия	-	-	-
Экспресс АМ8/ГТКС	ФСС: услуги ТВ, широкополосный доступ и мультимедиа, передача данных, телефония, ПСС	-	"Фиксированный луч №1", "Фиксированный луч №2", "Фиксированный луч №3"	С-диапазон, Ku-диапазон (от 1 до 2 ГГц)	ФЛ1 - Европа, Северная и Центральная Африка, ФЛ2 - Южная и Северная Америки, ФЛ3 - Южная и часть Северной Америки	41 (C-band), 51 (Ku-band)	-	В/Г (Ku), круговая (C)
Экспресс-АМ3/ГТКС	аналоговое ТВ, прочие услуги связи и вещания	-	-	Испытания технологии DVB-S2, модуляция 32 APSK 9/10 - экономия орбитального ресурса 58.7 %	-	-	-	-
Экспресс-АМ44/ГТКС	ФСС: цифровое ТВ, доступ к сети ИНТЕРНЕТ, услуги мультимедиа и ПД, для сетей VSAT, видеоконференцсвязь, ПСС: президентской и правительственной	-	-	С-диапазон, Ku-диапазон, Ka-диапазон, L-диапазон	Европа, Саудовская Аравия	48,2 (C-band), 55,7 (Ku-band)	-	-
Экспресс-АМУ1/ГТКС	ТВ	-	-	С-диапазон, Ku-диапазон, Ka-диапазон, Ka-диапазон	РФ, Районы Африки южнее Сахары	54 (Ku-band)	-	-
Экспресс-АМУ3/ГТКС	ФСС: цифровое ТВ, ПД, высокоскоростной доступ в Интернет, ПСС: морские суда	-	ФЛ1, ФЛ2 (С-диапазон) ФЛ1 ФЛ2, ФЛ3, ФЛ4, Перенацеливаемый 1, Перенацеливаемый 2 (Ku-диапазон)	С-диапазон, Ku-диапазон	РФ, Казахстан (С, Ku), Вариант 2 - запад Европейской части РФ и Казахстана, Поволжье, Урал, Зауралье, Восточная Сибирь и Дальний Восток	46,1 (C-band), 50,1 (Ku-band), 55,7 (Ku-band)	5,4 (C-band), 5,6 (Ku-band)	В/Г
Экспресс-АМУ7/ГТКС	ФСС: цифровое ТВ, ПД, высокоскоростной доступ в Интернет, ПСС: морские суда	-	ФЛ1, ФЛ2 (С-диапазон) ФЛ1 ФЛ2 (Ku-диапазон)	С-диапазон, Ku-диапазон, L-диапазон	-	49,8 (C-band), 56,5 (C-band)	7,7 (C-band), 9,3 (Ku-band)	-
Экспресс-АТ1/ГТКС	ФСС: непосредственное спутниковое телевидение на территории западной и восточной РФ	-	луч 1 - "Широкая фиксированная зона", луч 2 - "Восточная фиксированная зона"	Ku-диапазон	РФ	52	-	-

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ, КОНСТРУКЦИЯ И ПРОИЗВОДСТВО  
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Спутник/Оператор/ССПД	Услуги	Предельная скорость передачи сигнала	Лучи/наименование луча (наименование/принадлежность) луча	Диапазон частот/Особенности - регуляторная/государственная/иные технические ограничения (диапазоны, пропуски)	Зона обслуживания/лучей	ЭИИМ (смагнетизма и изотропно излучаемая мощность) \ уровень КМ и внедрение dBW	Добротность СТ антенны КС, дБ/К	Тип поляризации луча
Экспресс АТ2/ ГЛКС	ФСС: непосредственное спутниковое телевидение на территории западной и восточной РФ	-	ФЛ1	Ку-диапазон	РФ	53	-	-
Экспресс-103/ГЛКС	ФСС: цифровое ТВ, широкополосный доступ, магистральные каналы связи, организация ТВ-переговоров; ПСС: услуги связи на морских и воздушных судах	-	ФЛ1 (С-диапазон), ФЛ1 (Ку-диапазон)	Антенны: С-band - 1 приемо-передающая D=2000мм, рупорные - 1 передающая и 1 приемная; Ku-band - 2 приемо-передающая D=2000мм, рупорные - 1 передающая, С-band - 2 приемо-передающая (глобальная и зональная)	РФ, северная Индия и Юго-Восточная Азия	46,7 (С-band); 52 (Ku-band)	-	-
Экспресс 80/ГЛКС	ФСС: цифровое ТВ, широкополосный доступ, магистральные каналы связи; ПСС: услуги связи на морских и воздушных судах	-	ФЛ1 (С-диапазон), ФЛ1, ФЛ2 (Ку-диапазон)	С-диапазон, Ку-диапазон, L-диапазон	РФ, страны СНГ	45,1 (С-band); 48,8 (Ku-band)	-	-
Луч-5А/ Государственная корпорация космической деятельности "Роскосмос" (Госкорпорация "Роскосмос")	для работы с низколетящими спутниками с высотой орбит до 2000 км - прием телеметрии и передача команд на них; пилотируемые космические комплексы, РН, разгонные блоки	150 Мбит/с (Ku-band), 5 Мбит/с (С-band)	1 антенны с узкими ДН - 1 Ku-band, 1 S-band	С-диапазон, Ку-диапазон, Р-диапазон, L-диапазон	-	55	24	-
Луч-5Б/ Госкорпорация "Роскосмос"	для работы с низколетящими спутниками с высотой орбит до 2000 км - с возможностью передачи команд на них; прием сигналов в Р-диапазоне и их ретрансляция в L-диапазоне системы "КОСПАС-САРСАТ" сбора и передачи гидрометеорологической информации "Планета-С"	150 Мбит/с (Ku-band), 5 Мбит/с (С-band)	2 антенны с узкими ДН, D=4,2 м - 1 Ku-band, 1 S-band	С-диапазон, Ку-диапазон, Р-диапазон, L-диапазон	-	23-59,6	16,5-25,1	-
Луч-5В/ Госкорпорация "Роскосмос"	для работы с низколетящими спутниками с высотой орбит до 2000 км - с возможностью передачи команд на них; прием сигналов в Р-диапазоне и их ретрансляция в L-диапазоне системы "КОСПАС-САРСАТ" сбора и передачи гидрометеорологической информации "Планета-С"	150 Мбит/с (Ku-band), 5 Мбит/с (С-band)	2 антенны с узкими ДН, D=4,2 м - 1 Ku-band, 1 S-band	С-диапазон, Ку-диапазон, Р-диапазон, L-диапазон	-	-	-	-
Ямал-202/ГЛКС	ФСС: магистральные каналы; ПСС: морские суда	-	-	С-диапазон,	Полуглобальная зона обслуживания (восточная Азия, западная Северная Америка, северная часть Тихого океана)	44	-	-
Ямал-300К/ГЛКС	аренда ресурса и услуги связи на Дальнем Востоке и в Тихоокеанском регионе	-	Контурные лучи (С-band), Северный луч 1 (фиксированный, контурный), Северный луч 2 (фиксированный, эллиптический), Перенацеливаемый (Ku-band)	С-диапазон, Ку-диапазон	РФ, северная часть Тихого океана и Западное побережье Северной Америки	-	-	-
Ямал-401/ГЛКС	аренда ресурса и услуги связи	-	1 фиксированный в С-диапазоне и 2 фиксированных в Ку-диапазоне: Луч С-диапазона, Российский луч Ку-диапазона, Северный луч Ку-диапазона	С-диапазон, Ку-диапазон	РФ и сопредельные государства	47(С), 51(Ku)	2,5(С), 4-5(Ku)	-
Ямал-402/ГЛКС	высокоскоростные широкополосные услуги	-	4 фиксированных луча и 1 перенацеливаемый: Российский луч, Северный луч, Европейский луч, Южный луч, Перенацеливаемый луч	Ку-диапазон	РФ, страны СНГ, Западная и Центральная Европа, Ближний Восток и Африка	52(Ku)/ выходящая мощность транспондеров в С-band: 120-150Вт	4 (Ku)	-

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ, КОНСТРУКЦИЯ И ПРОИЗВОДСТВО  
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Спутник/Оператор ССПЦ	Услуги	Предельная скорость передачи сигналов	Лучи/название/точка наведения(прислелвания) луча	Диапазон частот/Особенности - результаты тестирования новых технологий, описание диапазонов, прочие	Зона обслуживания лучей	ЭНИМ (эквивалентная изотропно излучаемая мощность) \ ствол КА в центре луча, дБВт	Добротность СГ антенны КА, дБ/К	Тип поляризации луча
Ямал-601/ГКС	ФСС и высокоскоростной доступ в Интернет	30Гбит/с	NN1 - многолучевое покрытие (Ка - 32 луча по 0,52 град.0,52 град.), NN2 (С)	С-диапазон, Ка-диапазон	С (видимая со спутника часть территории РФ, стран СНГ, Европы, Ближнего Востока и Юго-Восточной Азии), Ка (РФ)	61	-	-
Электро-12/ Госкорпорация Роскосмос	получение изображений облачности поверхности Земли, проведение геологофизических измерений, сбор и ретрансляция гидрометеорологической и служебной информации	30,72 Мбит/с	-	-	-	-	-	-
Электро-13/ Госкорпорация Роскосмос	Анализ и прогноз погоды, состояния акваторий морей и океанов, условий полета авиации, геологофизической обстановки в околоземном космическом пространстве, состояния ионосферы и магнитного поля Земли, мониторинг климата и глобальных изменений, контроль чрезвычайных ситуаций, экологический контроль	30,72 Мбит/с	-	-	-	-	-	-
Электро-11/ Госкорпорация Роскосмос	геостационарный оперативный метеорологический спутник	30,72 Мбит/с	-	-	-	-	-	-
Радуга 1-8/ Космические	военное назначение, связь в труднодоступных районах, ПСС	-	-	L-диапазон, С-диапазон, X-диапазон, Ka-диапазон	Видимая со спутника часть Земли	33	-	-
Радуга 1М-2/ Космические	военное назначение, связь в труднодоступных районах, ПСС	-	-	L-диапазон, С-диапазон, X-диапазон, Ka-диапазон	Видимая со спутника часть Земли	-	-	-
Радуга 1М-3	военное назначение, связь в труднодоступных районах, ПСС	-	-	L-диапазон, С-диапазон, X-диапазон, Ka-диапазон	Видимая со спутника часть Земли	-	-	-
Гаргун №1/ Космические войска	военное назначение	-	-	С-диапазон, Ku-диапазон	Видимая со спутника часть Земли	-	-	-
Гаргун №2/ Космические войска	военное назначение	-	-	С-диапазон, Ku-диапазон	Видимая со спутника часть Земли	-	-	-
Благовест №11.1/ Космические войска	спутник связи военного назначения	-	-	С-диапазон, Ka/Q-диапазон	Видимая со спутника часть Земли	-	-	-
Благовест №11.1/ Космические войска	спутник связи военного назначения	-	-	С-диапазон, Ka/Q-диапазон	Видимая со спутника часть Земли	-	-	-
Благовест №11.1/ Космические войска	спутник связи военного назначения	-	-	С-диапазон, Ka/Q-диапазон	Видимая со спутника часть Земли	-	-	-
Благовест №11.1/ Космические войска	спутник связи военного назначения	-	-	С-диапазон, Ka/Q-диапазон	Видимая со спутника часть Земли	-	-	-

Для всех вышеупомянутых служб Регламентом радиосвязи выделены полосы частот, которые различаются для направлений Земля-Космос и Космос-Земля и в зависимости от местоположения ЗС. В Регламенте Радиосвязи вся Земля в соответствии с этим поделена на три района – Район 1 (Европа, Африка, а так же вся азиатская часть РФ и стран бывшего СССР и МНР), Район 2 (Америка), Район 3 – (Азия – без бывшего СССР, Австралия, Океания).

### **Диапазоны радиочастот фиксированной спутниковой службы**

Для фиксированной спутниковой службы основными, наиболее используемыми сейчас, являются следующие диапазоны: С-диапазон (4/6 ГГц), Ku-диапазон (11/14 ГГц), Ka-диапазон (20/30 ГГц), V-диапазон (40/60 ГГц), а также X-диапазон и Q-диапазон, частоты которых пересекаются с вышеупомянутыми, поэтому мы их не указываем, так как они не относятся к ФСС. Заявлены системы для частот 100 и более ГГц, хотя оборудования соответствующего еще нет.

### **Операторы спутниковой связи, предоставляющие услуги фиксированной спутниковой связи в Российской Федерации**

В России системы спутниковой связи с КА на геостационарной орбите построены с использованием космических аппаратов, принадлежащих Федеральному государственному унитарному предприятию (ФГУП) «Космическая связь», Международной организации космической связи (МОКС) «Интерспутник», АО «Газпром Космические системы» (ГКС, ранее ОАО «Газком»), а также компаниям Интелсат и Евтелсат.

### **Федеральное государственное унитарное предприятие «Космическая связь»**

В Российской Федерации на данный момент более 50 процентов рынка спутниковой связи занимает ФГУП «Космическая связь». ФГУП «Космическая связь» (ГПКС) образовано в 1967 г. и имеет статус национального оператора в области спутниковой связи. ГПКС является уполномоченным органом Минцифры России по созданию и эксплуатации технических средств спутниковой связи. Предприятие зарегистрировано в Международном союзе электросвязи, является акционером международных компаний Интелсат, Евтелсат и основным партнером международной организации космической связи «Интерспутник».

Основные виды деятельности ГПКС – предоставление в аренду спутниковой емкости, телерадиовещание, телефонная связь, высокоскоростная передача данных и доступ в Интернет, видеоконференц-связь, проектирование и создание корпоративных сетей. Своим приоритетным направлением ГПКС считает создание мультисервисных сетей на основе технологии VSAT.

Орбитальная группировка ГПКС насчитывает 35 геостационарных спутников, работающих в С-, Ku-, расширенном Ku- и L-диапазонах и расположенных на дуге орбиты от 11° з.д. до 183° в.д.

Зона обслуживания этих спутников охватывает территорию России, СНГ, стран Европы, Азии, Северной и Южной Америки, Африки. Большая часть клиентов компании сосредоточена в России и странах СНГ.

Все спутники серии «Экспресс-АМ» были созданы на базе единой унифицированной платформы.

Так же НПО ПМ разработало две новые универсальные платформы, которые могут работать как на геостационарной, так и на иных (наклонных) орбитах:

- платформа «Экспресс-1000» используется для создания спутников связи с массой 500...1000 кг, массой модуля полезной нагрузки до 250 кг и его энергопотреблением до 2000 Вт;

- платформа «Экспресс-2000» используется для создания тяжелых спутников с массой до 3200...3600 кг, включая массу модуля полезной нагрузки до 1350 кг, и энергопотреблением последнего не менее 10 500 Вт.

Разработчики универсальной платформы считают, что за счет увеличения



массы полезной нагрузки и ее энергопотребления возможности космических аппаратов будут существенно расширены.

На базе «Экспресс-2000» разработаны усовершенствованный спутник связи и вещания «Экспресс-АМУ», а также спутник непосредственного телевизионного вещания и обеспечения интерактивных услуг и мультимедиа с обработкой сигнала на борту «Экспресс-АТ», а также спутники для высокоэллиптических орбит.

На базе же спутника «Экспресс-1000» созданы спутник для распределения телепрограмм и малые спутники связи для регионов с низким трафиком.

Помимо орбитальной спутниковой группировки в состав ГПКС входят несколько центров космической связи, которые объединены волоконно-оптической цифровой SDH-сетью. Объединенная телекоммуникационная инфраструктура предприятия позволяет транслировать федеральные и региональные телерадиопрограммы, обеспечивать подвижную правительственную связь, телефонию, передачу данных в аналоговом и цифровом режимах.

Главный офис ГПКС расположен в Москве.

#### **Акционерное общество «Газпром Космические системы»**

Одним из перспективных операторов на рынке спутниковой связи является АО ГКС, имеющий 5 спутников «Ямал» на геостационарной орбите.

Открытое акционерное общество «Газком» образовано в 1992 г. предприятиями РАО «Газпром», РКК «Энергия» и акционерным банком «Газпром-банк». Основными видами деятельности компании являются создание и эксплуатация космических систем связи, реализация телекоммуникационных и телевизионных проектов, предоставление услуг связи.

Орбитальная группировка состоит из одного спутника-ретранслятора серии «Ямал-200», одного КА серии «Ямал-300» и двух КА серии «Ямал-400» и одного спутника «Ямал-601». Суммарная зона их покрытия охватывает территорию России и страны СНГ.

«Газком» оказывает следующие телекоммуникационные услуги: предоставление частотного ресурса на спутниках, аренда спутниковых каналов, спутниковое цифровое телерадиовещание, спутниковый доступ в Интернет. Среди сетей спутниковой связи, обслуживаемых компанией, можно выделить сети VSAT, магистральные сети и сети распределительного телерадиовещания. ОАО «Газком» предоставляет емкость спутников «Ямал» государственным структурам, корпоративным клиентам (в том числе ОАО «Газпром»), телекоммуникационным компаниям, Интернет-провайдерам, центральным и региональным теле- и радиовещательным компаниям.

Офис компании находится в г. Королев Московской области.

#### **Международная организация космической связи «Интерспутник»**

Международная организация космической связи «Интерспутник» создана в 1971 году. В настоящее время в ней используется КА «Экспресс», «Ямал», КА системы «Евтелсат» и другие СР сторонних организаций.

#### **Компания Интелсат (Intelsat)**

Организация Интелсат основана в 1964 году, к 2000 году членами ее являлись более 140 стран, в том числе и Российская Федерация. Орбитальная группировка Интелсат охватывает четыре основных региона обслуживания – Атлантический, Индийский, Азиатско-Тихоокеанский и Тихоокеанский. За 40 лет существования этой организации сменилось 10 поколений спутников, частотный ресурс и энергетические ха-

характеристики каждой последующей модели значительно превосходили аналогичные показатели предыдущей. С июля 2001 года она имеет статус частной компании.

Основные виды деятельности – обеспечение доступа в Интернет, спутниковое вещание и предоставление спутниковой емкости для корпоративных сетей. Услугами компании пользуются около 200 стран. Орбитальная группировка Интелсат содержит более 50 спутников, расположенных в различных точках геостационарной орбиты. Кроме того, арендуются емкости еще двух геостационарных аппаратов. Таким образом, зоной покрытия спутников является практически вся поверхность земного шара за исключением полярных областей. Орбитальная группировка дополняется развитой наземной инфраструктурой, в частности системой телепортов. В настоящее время продолжается процесс трансформации компании из «чистого» спутникового оператора в сервис-провайдера, обладающего гибридной инфраструктурой и предлагающего сквозной цикл (end-to-end) услуг. Особое внимание сфокусировано на передаче видеoinформации, обеспечении связи в интересах государственных структур и на корпоративном сегменте рынка. Интелсат обслуживает свыше 600 крупных пользователей (Интернет-провайдеры, вещательные и телекоммуникационные компании, корпорации).

Штаб-квартира организации находится в США (Вашингтон). Офисы компании расположены в ряде стран, в том числе в Германии (Ганновер).

#### **Компания Евтелсат (Eutelsat)**

Организация Евтелсат учреждена в 1977 году для организации спутниковой связи над Европой. Официальная регистрация ее в качестве международной относится к 1985 году. В настоящее время организация насчитывает порядка 50 стран-участниц. С июля 2001 года она так же имеет статус частной компании.

Орбитальная группировка Евтелсат состоит из 36 собственных космических аппаратов. Кроме того эта компания арендует емкости ряда Российских спутников. Спутники расположены на геостационарной орбите в пределах дуги, ограниченной точками 15° з.д. и 70,5° в.д. Таким образом, зона обслуживания орбитальной группировки простирается от североамериканского континента до западной части Тихого океана. Своими основными задачами компания считает обеспечение спутникового вещания, а также фиксированной и подвижной связи. Евтелсат предоставляет услуги ведущим европейским операторам и Интернет-провайдерам. Получили распространение и услуги с обратным спутниковым каналом. Частотно-орбитальный ресурс Евтелсат обеспечивает функционирование около 800 корпоративных сетей финансового, энергетического и медиа-секторов.

Штаб-квартира компании находится в Париже.

Для получения доступа к космическому сегменту Евтелсат клиенты могут обращаться напрямую в штаб-квартиру организации или к одному из дистрибьюторов. На территории России интересы Евтелсат представляют ФГУП «Космическая связь» и МОКС «Интерспутник».

#### **Практика мониторинга геостационарной сети спутниковой связи территориально распределенной системы в Российской Федерации**

При эксплуатации сетей связи, имеющих большое число однотипных каналов, возникает необходимость нормировать характеристики этих каналов, влияющие на качество предоставляемого сервиса и предупреждение возникновения отказов в каналах связи. И хотя не все параметры, вызывающие пропадание сигналов, поддаются простой формализации, есть ряд характеристик, наблюдение за которыми позволяет

предотвратить наибольшее число вероятных сбоев в работе такой сети.

Для цифровых каналов и трактов, образованных с помощью наземных и спутниковых систем передачи, наиболее изученным в силу своей значимости параметром, влияющим на качество предоставляемых услуг, является коэффициент ошибок  $K_{\text{ош}}$  в передаваемых данных.

Для нормирования спутниковых цифровых каналов и трактов, рассчитанных на передачу информации с раз личными скоростями, используют гипотетический эталонный цифровой канал или тракт (ГЭЦТ), разработанный в соответствии с Рекомендацией МСЭ-Р S521-3 ГЭЦТ спутниковых линий.

Для спутниковых систем, работающих в цифровой сети с интеграцией обслуживания (ЦСИО), в Рекомендации МСЭ-Р S614-3 сформулированы следующие требования:  $K$  на выходе спутникового гипотетического эталонного цифрового канала, работающего на частотах ниже 15 ГГц и образующего часть соединения в ЦСИО на скорости 64 кбит/с (в то время, когда соединение находится в состоянии готовности), не должен выходить за следующие пределы:  $10^{-7}$  – в течение более чем 10% месяца;  $10^{-6}$  – в течение более чем 2% месяца;  $10^{-3}$  – в течение более чем 0,03% месяца.

В процессе эксплуатации спутниковой сети связи не представляется возможным постоянно измерять  $K_{\text{ош}}$  на каждой земной станции (ЗС) при отсутствии соответствующей встроенной аппаратуры. Актуальна задача оценки этого параметра по измерениям спектроанализатором радиочастотного спектра на одной из земных станций (контрольной станции сети – КСС), входящей в сеть спутниковой связи. Для этого требуется связать вероятный коэффициент ошибок каждого канала с доступным для измерения на КСС отношением средней спектральной плотности мощности сигнала в полосе несущей к спектральной плотности шума  $C/N_{\text{dw}}$ . Причем это значение совпадает с отношением мощности сигнала к мощности шума  $C/N_{\text{dw}}$  (отношение несущая-шум), так как  $(C/N_{\text{dw}})' = (C+B) / (N_{\text{dw}}+B) = C/N_{\text{dw}}$ , где  $B$  - занимаемая полоса сигнала.

Более наглядное представление об этом дает отношение мощности несущей к шумовой температуре системы, и в случае одной линии передачи в системе его можно определить как

$$(C/T_{\text{dw}}) = (C/N_{\text{dw}}) + B + K \quad (1)$$

где  $K$  – константа Больцмана.

Так как падение сигнала в тракте обратно пропорционально увеличению эквивалентной температуры шума, то

$$1/10^{0,1 \cdot C/T_{\text{tot}}} = 1/10^{0,1 \cdot C/T_{\text{up}}} + 1/10^{0,1 \cdot C/T_{\text{dw}}} + 1/10^{0,1 \cdot C/T_{\text{other}}} \quad (2)$$

где  $C/T_{\text{other}}$  – эквивалентная температура шума на СР, включающая помехи от соседнего канала  $C/T_{\text{cc}}$  интермодуляцию от усилителя высокой частоты  $C/T_{\text{HPA-IM}}$  и интермодуляцию от лампы бегущей волны  $C/T_{\text{TWT-IM}}$ .

Из соотношений (1) и (2) получаем

$$1/10^{0,1 \cdot C/N_{\text{tot}}} = 1/10^{0,1 \cdot C/N_{\text{up}}} + 1/10^{0,1 \cdot C/N_{\text{dw}}} + 1/10^{0,1 \cdot C/I_{\text{tot}}} \quad (3)$$

где  $C/I_{\text{tot}}$  – отношение несущая-помеха, включающее в себя все остальные помехи, неучтенные в  $C/N_{\text{up}}$  и  $C/N_{\text{dw}}$  и соответствующие  $C/T_{\text{other}}$  [4].

В таблице 3 приведены значения  $C/I_{\text{tot}}$  для канала спутниковой связи SCPC/QPSK 1/2 64 кбит/с для приемных земных станций с зеркально-параболической антенной с диаметром зеркала 2,4 м и добротностью  $G/T = 24,2$  дБ/К.

Здесь знак « $\oplus$ » означает сложение обратных величин, как в формулах (2) или (3):

$$C/I_{\text{tot}} = C/T_{\text{HPA-IM}} \oplus C/T_{\text{TWT-IM}} \oplus C/T_{\text{cc}} - B - K - (C/I_{\text{tot}})^*$$

где  $(C/I_{tot})^*$  – дополнительная помеха от чужих спутников, равная 2 дБ.

Таблица 3 – Зависимость характеристик от зоны ослабления

Зона ослабления, дБ	C/THPA-IM, дБ-Вт/К	C/TTWT-IM, дБ-Вт/К	C/Tсс, дБ-Вт/К	C/THPA-IM ⊕ C/TTWT-IM ⊕ C/Тео-сс	C / I tot, дБ
0	-164,2	-163,7	-152,5	-169,22	10,28
6	-164,4	-160,9	-152,5	-166,55	12,95

При организации каналов с одними и теми же скоростью и режимом передачи коэффициент ошибок определяется отношением несущая-шум в канале  $C/N_{tot}$ . Это отношение зависит от местоположения передающей и приемной земных станций относительно электрической оси луча спутника-ретранслятора (СР), в котором они работают, характеристик этих ЗС и СР, а также от потерь при распространении сигналов в свободном пространстве.

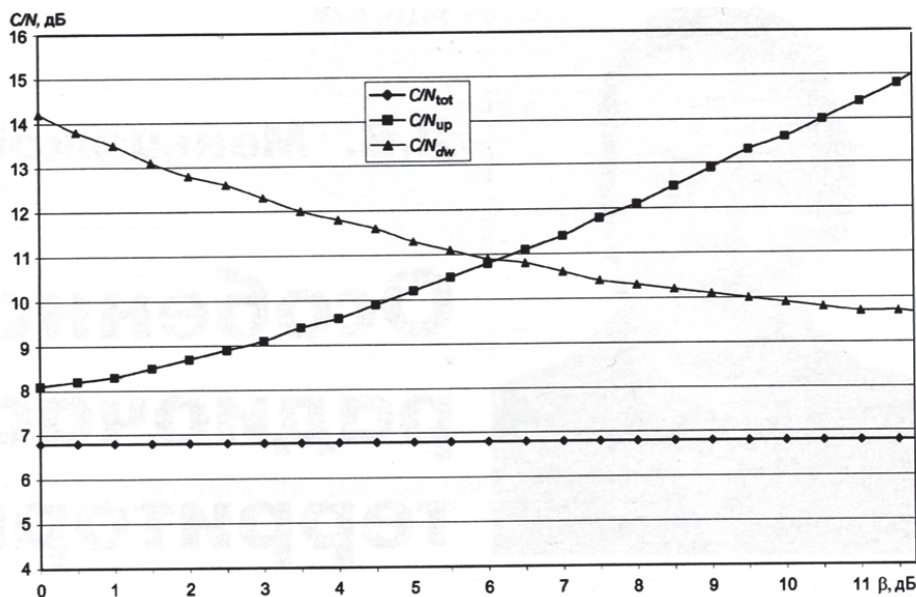


Рисунок 1 – Отношение несущая-шум up, down и total (контур ослабления до -11дБ)

Поскольку  $C/T_{tot}$  зависит от характеристик СР, то для каждого СР задаются свои нормы, связывающие эти значения СР с коэффициентом ошибок. В таблице 4 приведены нормы на величину  $C/N_{tot}$  в Ku-диапазоне для спутникового канала связи SCPC/QPSK 1/2 64 кбит/с и 256 кбит/с (ОН = 6,7%), организованного через геостационарный спутник «ИНТЕЛСАТ-704».

Таблица 4 – Нормы значения несущая-шум в канале

$K_{\text{ош}}$	$E_b/N_0$	$C/N_{\text{tot}}$
$10^{-3}$	4,6	3,8
$10^{-6}$	6,5	5,7
$10^{-7}$	7,1	6,3
$10^{-8}$	7,6	6,8
$10^{-10}$	9,9	9,2

Все дальнейшие рассуждения приведены для СР «ИНТЕЛСАТ-704», однако качественно они будут справедливы и для любого другого СР.

В случае спутниковой связи отношение несущая-шум на «линии вниз» ( $C/N_{\text{dw}}$ ) можно измерить непосредственно. Получить же это отношение на «линии вверх» не представляется возможным. Измерив отношение несущая-шум на «линии вниз» можно сказать только, что отношение несущая-шум в канале не превосходит этой величины. Это непосредственно следует из формулы (3).

На рисунке 1 представлены отношения несущая-шум на «линии вверх», на «линии вниз» и в канале, рассчитанные с использованием формулы (3) и энергетических соотношений в радиоприемах. Они необходимы для обеспечения значения  $K_{\text{ош}} = 10^{-8}$  для приемных земных станций, расположенных в разных зонах (контурах с фиксированным ослаблением сигнала) относительно центра луча спутника-ретранслятора. Здесь  $\beta$  – ослабление эквивалентной изотропной излучаемой мощности транспондера СР относительно центра луча.

Из рисунка 1 видно, что для того чтобы иметь спутниковый канал одного и того же качества на приемной земной станции, стоящей в центре луча, отношение несущая-шум должно быть большим, чем на приемной земной станции, стоящей на краю луча (6 дБ). Так как коэффициент ошибок зависит только от отношения несущая-шум в канале, то для компенсации относительно невысокого значения этого отношения на «линии вниз» для станции, стоящей на краю луча, необходимо значительно увеличить мощность передающей земной станции. Причем качественно эта закономерность не изменится, если рассматривать другие скорости и режимы передачи.

Рассмотрим соответствующие значения эквивалентной изотропной излучаемой мощности (ЭИИМ) спутника-ретранслятора на «линии вниз» (рис. 2), рассчитанные с использованием формулы

$$C/N_{\text{dw}} = \text{ЭИИМ}_{\text{dw}} - C_{\text{прмЗС}} - L_{\text{dw}} + G/T_{\text{прмЗС}} - B - K, \quad (4)$$

где  $L_{\text{dw}}$  – потери при прохождении сигнала в свободном пространстве;  $G/T_{\text{прмЗС}}$  – добротность приемной антенны ЗС;  $C_{\text{прмЗС}}$  – контур ослабления ПРМ ЗС относительно центра луча.

На рисунке 2 обозначение EIRP соответствует ЭИИМ СР, необходимой для обеспечения  $K_{\text{ош}}=10^{-3}$  для приемных ЗС с зеркально-параболической антенной диаметра 2,4 м с добротностью  $G/T = 24,2$  дБ/К и 3, 7 м с добротностью  $G/T = 29,2$  дБ/К соответственно.

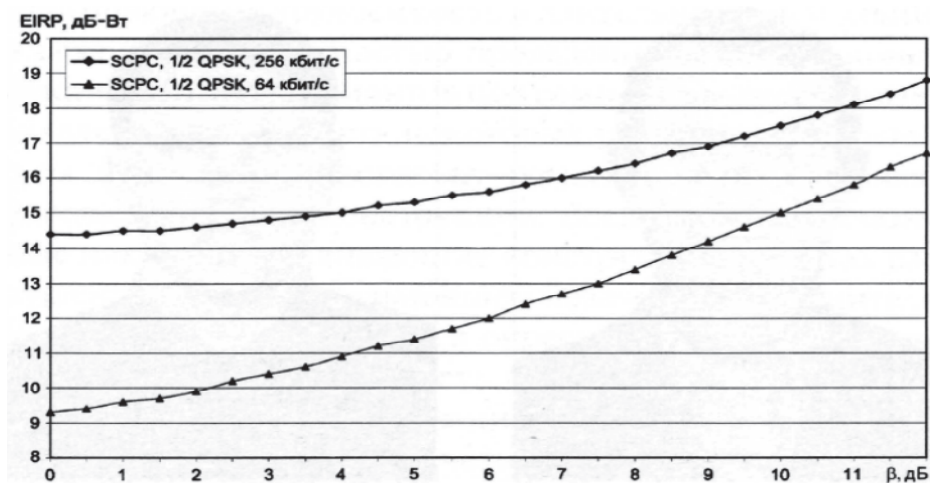


Рисунок 2 – ЭИИМ «линии вниз» для контуров ослабления до -11 дБ

Рисунок 2 показывает, что для передачи сигнала по спутниковому каналу с одинаковым качеством (коэффициентом ошибок) при удалении земной станции на 1 дБ от центра луча мы должны увеличивать ЭИИМ передающей станции только на 0,1 дБ. То есть при переносе приемной ЗС на -X дБ вовсе не следует увеличивать мощность передающей ЗС этого же канала в  $10^{X/10}$  раз, как это обычно принято делать при теоретических расчетах.

Отношения несущая-шум на контрольной станции сети и на земных станциях при их различном положении относительно центра луча, вычисленные с использованием формулы

$$C/N_{dw\ KCC} + C_{dw\ KCC} - G/T_{dw\ KCC} = C/N_{dw\ ЗС} + C_{dw\ ЗС} - G/T_{dw\ ЗС} \quad (5)$$

для частного случая SCPC/QPSK 1/2 64 кбит/с, приведены на рисунке 3.

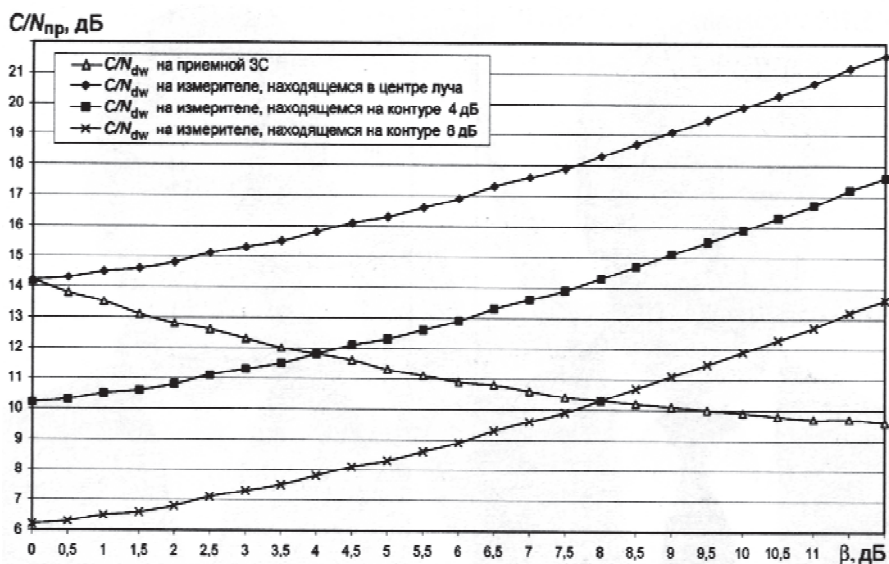


Рисунок 3 – Отношение несущая - шум на КСС и ЗС (контур ослабления до - 11дБ)

### **Выводы**

Таким образом, при эксплуатации территориально распределенной сети спутниковой связи с большим числом ЗС, контролируемой с одной КСС, целесообразно рассчитывать ЭИИМ на «линии вниз» по значению несущая-шум на КСС и сравнивать его со значением, предоставляемым оператором сети или рассчитанным в момент активации канала при проведении согласования с оператором спутниковой сети связи, так как только данное значение может быть использовано в качестве эталона.

### *Литература*

1. Меньшикова Л.В. Геостационарные сети спутниковой связи. Учебное пособие. М.: МИРЭА, 2005 г. 208 с.
2. Кантор Л.Я., Тимофеев В.В. Спутниковая связь и проблема геостационарной орбиты. М.: Радио и связь, 1988. 168 с.
3. Меньшикова Л.В. Спутниковая связь-2006: итоги и перспективы // Технологии и средства связи. 2006. № 6. С. 67.
4. Меньшикова Л.В., Найденова Д.М. Пропускная способность сети спутниковой связи с космическим сегментом – геостационарным искусственным спутником Земли // Информационно-технологический вестник. 2022. № 3. С. 89-106.

УДК 621.398

## Система передачи информации с зонда из дальнего космоса на Землю

**А.П. Мороз**, доктор технических наук, профессор МГОТУ,  
Академик Российской академии космонавтики,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области  
«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза,  
летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область,  
**В.А. Герасимов**, магистр, продакт-менеджер, ООО «Евролан», г. Москва

*Рассмотрены вопросы обеспечения надежной передачи телеметрической и целевой информации с зондов, находящихся в дальнем космосе, в том числе на границе гелиосферы и за ней. Проанализированы возможности использования известных способов для решения рассматриваемой задачи передачи данных. Предложен способ передачи данных с использованием системы спутников-ретрансляторов, выводимых в рабочие области с использованием явления парад планет.*

Спутник-ретранслятор, зонд, парад планет, передача информации, достоверность, телеметрическая информация.

## A system for transmitting information from a probe from deep space to Earth

**A.P. Moroz**, Doctor of Technical Sciences, Professor of MGOTU,  
Academician of the Russian Academy of Cosmonautics,  
State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Moscow Region  
«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union,  
pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region,  
**V.A. Gerasimov**, Master, Product Manager, Eurolan LLC, Moscow

*The issues of ensuring reliable transmission of telemetry and target information from probes located in deep space, including on the border of the heliosphere and beyond it, are considered. The possibilities of using known methods to solve the problem of data transmission are analyzed. A method of data transmission using a system of relay satellites, output to work areas using the phenomenon of a parade of planets, is proposed.*

Repeater satellite, probe, parade of planets, information transmission, reliability, telemetry information.

В настоящее время человечество широко использует искусственные спутники земли (ИСЗ) для решения различных задач, например:

1. Спутниковая связь, которая позволяет контактировать людям, находящимся на разных континентах, обмениваться SMS сообщениями и электронной



почтой, а также получить доступ к интернету и т. п.

2. Спутниковые системы навигации GPS, ГЛОНАСС и др. для определения местоположения объекта, выстраивания оптимального маршрута, мониторинга ситуации на дорогах.

3. Оперативное получение метеоинформации для составления точного прогноза погоды.

4. Мониторинг общего состояния Земли для определения зон с повышенной опасностью, принятия упреждающих мер и ликвидации последствий и др.

Практически все вышеперечисленные сервисы находятся в свободном доступе и достаточно взять в руки телефон, планшет или включить персональный компьютер, чтобы воспользоваться какой-то из перечисленных услуг.

Но есть ещё ряд важных направлений использования спутников – это исследование небесных тел и их естественных спутников, исследование космического пространства, организация связи с другими космическими объектами.

Освоение космоса является деятельностью, имеющей долговременную перспективу. Результаты этой деятельности позволяют не только понять тайны мироздания нашей Солнечной системы, но и более пристально взглянуть на ее пределы. Также важно отметить, что космос является местом с огромным количеством астероидов, содержащих необходимые нам разнообразные ресурсы.

В связи с актуальностью данной проблематики в рамках данной статьи будут рассмотрены вопросы обеспечения достоверной передачи на Землю информации, в том числе телеметрической [1], с зондов, запускаемых к границе Солнечной системы, и при их выходе в межзвездное пространство [2].

Наша цивилизация имеет единственный опыт решения рассматриваемой проблемы в виде программы Вояджер, начавшейся с запуска двух таких аппаратов в 1977 г. Опыт, полученный при реализации этой программы, показывает, что в настоящее время основными факторами, препятствующими получению с этих зондов полного объема достоверной информации, являются: огромная протяженность радиолинии из-за большого удаления зондов от Земли и деградация источников энергоснабжения бортовой аппаратуры зондов.

Передача информации с обоих аппаратов Вояджер-1 и Вояджер-2 осуществляется независимо друг от друга. В силу вышеуказанных факторов энергетический потенциал радиолиний оказался очень низким. Поэтому для получения информации с зондов, в том числе телеметрии, подтверждающей их функционирование, пришлось отключить энергопотребление ряда бортовых систем с целью обеспечить передачу возможного минимума наиболее важной информации.

В данной статье предлагается другой подход к решению рассматриваемой задачи, отличающийся от реализованной в программе Вояджер.

Принципиальное отличие заключается в том, что два зонда предлагается запустить не одновременно, а с разнесом по времени. При этом второй зонд, запускаемый позже, кроме решения научных задач, предлагается использовать в качестве промежуточного ретранслятора для передачи на Землю информации с первого зонда, запускаемого раньше второго.

Рассмотрим подробнее проблемные вопросы реализации такого проекта.

Вначале рассмотрим целесообразные сроки запуска зондов.

Задача по организации подобных систем не относится к разряду тривиальных, поскольку требует учета особенностей движения планет Солнечной сис-

темы. Однако, стоит отметить, что подобный способ определения времени запуска зондов уже использовался в истории. Вспомним программу «Вояджер». В их истории был случай, когда специалисты НАСА, чтобы получить с зондов информацию, использовали, находившийся со своей исследовательской миссией на орбите Сатурна, космический зонд «Кассини» в качестве ретранслятора. Таким образом ученые смогли получить данные от зондов.

В нашем же случае предлагается использовать зонды, которые непосредственно предназначены для ретрансляции передаваемых данных. Поэтому сроки запусков этих зондов нужно определять исходя из специфики решаемой задачи.

Все планеты Солнечной системы имеют свою орбиту и свой период обращения вокруг Солнца. В предлагаемой системе ретрансляции это играет решающую роль. Нерационально запускать все спутники группировки ретрансляторов одновременно в произвольное время с целью выстроить их в Солнечной системе так, чтобы значительную часть времени они находились в зонах устойчивой связи как друг с другом, так и с Землей, поскольку такой подход потребовал бы колоссальных энергетических затрат для средств выведения группировки ретрансляторов.

Целесообразно использовать явление парада планет, когда они выстраиваются в одну линию. Гравитационные силы планет-гигантов можно использовать для увеличения скорости движения спутников – как зондов, так и ретрансляторов. В этом случае можно запустить ряд спутников в один период времени, затратив при этом минимальное количество энергии двигателей средств выведения. Однако великий парад планет (когда все планеты Солнечной системы выстраиваются в одну линию) – довольно редкое явление. Последнее такое событие было в 1982 году. Периодичность астрономического явления – примерно раз в 200 лет. Поэтому следующее событие состоится не раньше 2169 года. Это первый вариант вывода спутников на их орбиты.

Также существуют малые и большие «парады планет», когда в одну линию выстраиваются несколько планет. В случае малого парада – это 3...4 планеты, а при большом параде – 6 планет. Малые парады происходят раз в один год, большие парады раз в 20 лет.

В основном в малых парадах планет участвуют Сатурн, Марс, Меркурий и Венера, с некоторой периодичностью в конфигурацию может добавиться Юпитер.

В большом параде планет участвуют Меркурий, Венера, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран. Большой парад состоялся в марте 2022 года, следующий – только в 2042 году. В нашей задаче это более интересное явление, чем малый парад планет, так как нас интересуют, прежде всего, планеты-гиганты, находящиеся в дальнем космосе.

Самым рациональным будет использование парада планет-гигантов, который происходит один раз в 175 лет. Такой парад планет можно использовать для обеспечения возможности выхода зонда или спутника-ретранслятора за пределы Солнечной системы. За счет гравитационных сил планет-гигантов можно разогнать исследовательский зонд до третьей космической скорости в 37 км/с и обеспечить необходимую траекторию движения для достижения гелиосферы и выхода за ее пределы.

Рациональное расположение спутников-ретрансляторов на орбитах пла-

нет позволит добиться постоянной надежной связи между ними и обеспечить оперативное получение необходимой скорости передачи данных с исследовательского зонда на Землю.

Всего необходимо будет использовать один или более спутников-ретрансляторов, расположив их на орбитах планет дальнего космоса.

Причем задача заключается в расчете траектории спутника так, чтобы его орбита была максимально оптимальной для дальнейшей работы всей сети спутников-ретрансляторов.

Необходимость в расчете траектории параметров орбиты и ориентации спутника обусловлена тем, что в момент сеанса связи тот или иной спутник-ретранслятор не должен находиться вне зоны радиовидимости, например, не скрываться от другого спутника-ретранслятора за планетой (рис. 1).

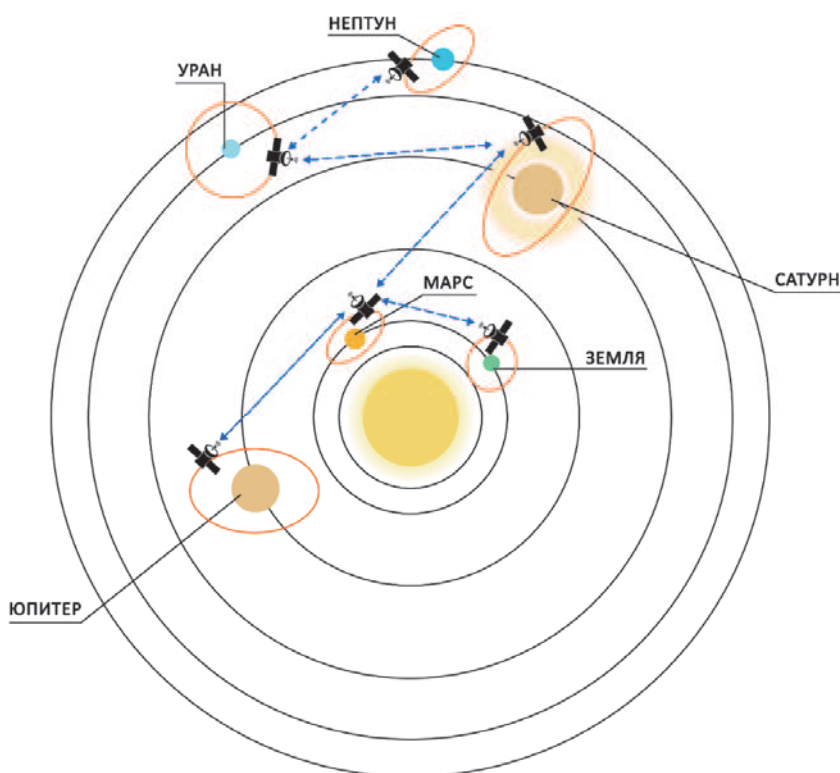


Рисунок 1 – Схема расположения спутников-ретрансляторов и возможный путь прохождения сигнала

В состав спутника-ретранслятора группировки «Марс-Нептун» должны входить следующие системы:

- непосредственно антенны, принимающие и передающие сигнал;
- система ретрансляции сигнала;
- система навигации;

- телеметрическая система;
- система связи с наземным приемным пунктом (центром дальней космической связи);
- система энергоснабжения.

Это может быть связка как из солнечной батареи и радиоизотопного источника энергии, так и просто радиоизотопный источник энергии. Последний вариант применим к спутникам, которые будут находиться на орбите Сатурна или орбите более далекой планеты либо в свободном полете в дальнем космосе, так как интенсивность солнечного излучения там уже невелика, и использование солнечных батарей не эффективно.

Так как главная задача спутников-ретрансляторов заключается в ретрансляции сигналов с удаленных зондов на Землю с минимальными потерями информации, то сами спутники-ретрансляторы должны находиться постоянно на связи как друг с другом, так и непосредственно с Землей. Автоматизированная система доставки сигнала будет составлять маршрут от первого спутника-ретранслятора, принявшего сигнал с зонда, до земных станций связи. Таким образом достигается условие – если информация от ретранслятора сможет достичь Земли без существенных потерь и имеется прямая связь (путь) до Земли, то сигнал отправляется на Землю непосредственно с ретранслятора, иначе к передаче данных подключаются другие спутники-ретрансляторы и при их помощи обеспечивается передача данных с зонда на Землю.

Желательно обеспечить одинаковую энергетическую общую радиолинию спутников-ретрансляторов, что позволит реализовать одинаковую скорость передачи данных с зонда на Землю по всему тракту ретрансляции.

Крайне важно выбрать оптимальный диапазон частот работы спутников-ретрансляторов, чтобы достичь минимальных потерь при передаче информации.

Известен ряд методик расчета потерь (в дБ) сигнала при передаче в свободном пространстве [3-5]. Для ориентировочно расчета воспользуемся формулой:

$$L = 20 (\lg f + \lg d) + 32,45,$$

где  $f$  – частота, МГц;  
 $d$  – расстояние, км.

За основу расчетов были взяты: S-диапазон и X-диапазон частот, а также случай прохождения сигнала от Марса до Земли. Значения частот были выбраны крайние правые значения двух диапазонов.

Потери от Земли до Марса при частоте 2300 МГц составляют:

$$L = 20 (\lg 78\,000\,000 + \lg 2\,300) + 32,42 \approx 257,48 \text{ дБ.}$$

Потери от Земли до Марса при частоте 32300 МГц:

$$L = 20 (\lg 78\,000\,000 + \lg 32\,300) + 32,45 \approx 280,43 \text{ дБ.}$$

По результатам расчетов можно сделать вывод, что оптимальными частотами для работы сети спутников-ретрансляторов будет частоты в так называемом S-диапазоне. Тем самым можно обеспечить минимальный уровень потерь передачи данных и максимальное значение достоверности получаемой на Земле информации, к чему необходимо стремиться при создании рассматриваемой систе-

мы спутников-ретрансляторов. Использование иных диапазонов радиочастот будет менее рационально по рассматриваемому критерию.

Причинами этого являются:

а) огромные расстояния между спутниками-ретрансляторами и Землей (прохождение пути радиосигнала достигает сотен миллионов километров и более;

б) существенное препятствие для радиосигнала представляет атмосфера Земли. Чем ниже диапазон частот, тем проще ему будет пройти через атмосферу Земли и не быть отраженным.

Можно допустить использование и X-диапазона, тем более существуют примеры использования этого диапазона в различных космических миссиях. Однако, в отличие от S-диапазона, X-диапазон более подвержен отражению, особенно в атмосфере Земли, и будет менее надежен в использовании проектируемой системы.

Наземные приемные центры дальней космической связи обычно стремятся располагать на возвышенностях. Расположены эти центры на разных земных параллелях так, чтобы вне зависимости от местоположения планеты на небосводе можно было установить связь со спутниками.

Представим картину на конкретном примере. Имеется космическая программа по исследованию межзвездного пространства, где главная задача исследовательского зонда – выйти за пределы Солнечной системы и исследовать там пространство. Пусть, например, запуск зонда был рассчитан на июнь 2022 года, так как в это время был парад планет (Меркурий, Венера, Марс, Юпитер, Сатурн). Запуск спутника-ретранслятора сразу следом за исследовательским зондом не будет целесообразным, так как в начальный период миссии связь с зондом будет стабильна и возможна, поэтому запуск ретранслятора целесообразно отложить. Пока зонд будет находиться в пределах Солнечной системы не целесообразно создавать полную сеть ретрансляторов, так как достаточно будет отправить один спутник-ретранслятор на орбиту Сатурна для обеспечения надежной связи с исследовательским зондом.

Когда же целесообразно будет вывести спутник-ретранслятор на орбиту Сатурна? Рассмотрим пример со следующими исходными данными:

1. Точкой отсчета, когда необходимо установить связь между зондом и ретранслятором, выберем момент, когда зонд достигнет Плутона.
2. Расстояние от Земли до Плутона в среднем составляет 5,9 миллиарда километров.
3. Средняя скорость космического зонда может достигать до 40 000 км/ч.
4. Расстояние от Земли до Сатурна в среднем 1,43 миллиарда км.

Тем самым, запускаемый в июне 2022 года зонд сможет достигнуть орбиты Плутона примерно в июне 2039 года (через 17 лет после старта), а, следовательно, в это время ретранслятор должен уже установить связь с зондом. Ретранслятор при скорости 40 000 км/ч достигнет орбиты Сатурна примерно за 4,1 года. Таким образом, запуск ретранслятора целесообразно провести примерно

в 2034 году.

Рассмотрим вопросы применения антенн на спутниках-ретрансляторах. Для ретрансляторов вместо классических параболических антенн целесообразно применить фазированные антенные решетки (ФАР).

ФАР представляет собой антенную решетку, где направление излучения радиосигнала и форма диаграммы направленности регулируется при помощи изменения амплитудно-фазового распределения токов или полей возбуждения.

Преимущества использования ФАР в системе ретрансляции обусловлено следующими факторами.

1. ФАР обеспечивает возможность увеличения в несколько раз коэффициента направленного действия антенны.

2. Возможность изменения диаграммы направленности антенны при помощи электрических методов. Тем самым исключается необходимость изменения ориентации ретранслятора в пространстве или поворота антенны в сторону объекта, с которым устанавливается радиосвязь. Путем обработки излучаемых и принимаемых радиосигналов изменяется ориентация диаграммы направленности антенны в сторону объекта, с которым поддерживается радиосвязь, и совершается меньше изменений ориентации спутника-ретранслятора или его антенны.

3. Сами функциональные возможности ФАР могут быть расширены при условии использования совместно с каждым излучающим элементом активного приемопередающего модуля.

Гибкая геометрия расположения излучателей в пространстве позволит максимально эффективно расположить антенную решетку на спутнике-ретрансляторе. Таким образом можно достичь необходимых значений показателей антенны для ее успешной работы.

Принцип работы такой ФАР на ретрансляторе заключается в том, что антенна изменяет ориентацию диаграммы направленности в сторону исследовательского зонда. После получения с него информации изменяется диаграмма направленности в сторону Земли, сигнал усиливается и отправляется в сторону Земли. При работе приемной и передающей радиолиний на разных частотах возможна одновременная работа в обоих направлениях. Возможно также использование на спутнике-ретрансляторе двух антенн.

Далее антенны приемных центров на Земле получают ретранслированный сигнал с исследовательского зонда, обрабатывают и регистрируют полученные данные.

Не стоит забывать и о «космическом мусоре», который может бомбардировать ретранслятор. В данном случае «космический мусор» – мелкие метеориты, которые могут нарушить работу ретранслятора. Если подобный метеорит попадет в элемент ФАР, то выход из строя одиночного элемента хоть и ухудшит характеристики антенны, но система будет оставаться работоспособной и продолжит выполнять свои задачи. В случае традиционной антенны есть вероятность того, что такая авария станет критической.

ФАР достаточно сложная структура за счет использования в ней процессора и фазовращателей, и стоимость такой системы довольно высока. Но, как

показывает опыт применения ФАР, результаты являются весьма положительными и наблюдается благоприятная тенденция в развитии данных систем.

Современная элементная база позволяет реализовать эффективную работу ФАР с уникальными технологиями. Наблюдается тенденция к уменьшению габаритов структуры, а также к снижению итоговой стоимости системы в целом. Перспективы использования ФАР довольно велики и это весьма важно для реализации рассматриваемой системы спутников-ретрансляторов.

Второй вариант применения КА-ретранслятора заключается в запуске его, спустя определенное время, вслед за зондом и полетом ретранслятора вслед за зондом без превращения в искусственный спутник одной из планет солнечной системы. В этом случае упрощается задача ориентации антенны ретранслятора, однако функциональные возможности ретранслятора становятся более узкими.

При разработке спутниковых систем одним из основных вопросов является создание надежной системы бортового питания, обеспечивающей работу бортового ретрансляционного комплекса, систем контроля и управления, ретрансляторов, систем сбора и передачи данных, антенно-фидерной системы, систем наведения антенн, усилителей, приемников и передатчиков и т. д.

В настоящее время существует несколько методов обеспечения космических аппаратов электроэнергией: солнечные батареи, аккумуляторные батареи, топливные элементы, радиоизотопные источники энергии. Для определения наиболее подходящего метода обеспечения КА электроэнергией следует проанализировать каждый из вышеперечисленных.

#### *Солнечные батареи*

В настоящее время солнечные батареи считаются одним из самых надежных и достаточно отработанных вариантов обеспечения КА энергией. Плотность потока мощности излучения Солнца на орбите Земли составляет  $q_1 = 1400 \text{ Вт/м}^2$ . КПД современных солнечных панелей составляет около 40%, что позволяет получать около  $546,8 \text{ Вт/м}^2$ . Но подобные цифры актуальны только для спутников, находящихся на околоземной или геостационарной орбите. В связи с этим необходимо провести расчет количества солнечной энергии, поступающей на орбиту Сатурна, где предполагается расположить ретранслятор. Для этого воспользуемся формулой площади сферы:

$$S = 4\pi R^2.$$

С учетом этой формулы определим плотность потока мощности излучения Солнца на орбите Сатурна:

$$4\pi R_1^2 q_1 = 4\pi R_2^2 q_2,$$

где  $R_1$  – расстояние от Солнца до Земли;

$R_2$  – расстояние от Солнца до Сатурна;

$q_1$  – плотность потока мощности излучения Солнца на орбите Земли;

$q_2$  – плотность потока мощности излучения Солнца на орбите Сатурна.

Для удобства расчета выразим расстояния от Солнца до Земли и от Солнца до Сатурна в астрономических единицах. Тогда получаем значение  $q_2$ :

$$q_2 = \frac{R_1^2 q_1}{R_2^2} = (1,4 \text{ кВт/м}^2 \times 1^2 \text{ а. е.})/9,5^2 \text{ а. е.} = 0,015 \text{ кВт/м}^2 = 15 \text{ Вт/м}^2.$$

С учетом КПД солнечных панелей, равного 40%, получается  $q_2 = 6 \text{ Вт/м}^2$ .

#### *Топливные элементы*

Топливные элементы имеют высокие показатели по массогабаритным характеристиками и удельной мощности по сравнению с парой солнечные батареи и химический аккумулятор, устойчивы к перегрузкам, имеют стабильное напряжение, бесшумны. Однако они требуют запаса топлива, поэтому применяются на аппаратах со сроком нахождения в космосе от нескольких дней до 1...2 месяцев.

#### *Аккумуляторные батареи*

Самыми распространёнными в космической технике являются никель-кадмиевые аккумуляторы, так как они обеспечивают наибольшее количество циклов заряд-разряд и имеют лучшую стойкость к перезаряду. Эти факторы выходят на первый план при сроках службы аппарата более года. Современные (ламельные) промышленные никель-кадмиевые батареи могут служить до 20...25 лет. Никель-кадмиевые аккумуляторы (NiCd) наряду с никель-солевыми аккумуляторами могут храниться разряженными, в отличие от никель-металл-гидридных (NiMH) и литий-ионных аккумуляторов (Li-ion), которые нужно хранить заряженными.

#### *Радиоизотопные источники энергии*

Радиоизотопный термоэлектрический генератор (РИТЭГ) преобразует тепловую энергию, выделяющуюся при естественном распаде радиоактивных изотопов, в электроэнергию.

РИТЭГ состоит из двух основных элементов: источника тепла, который содержит радиоактивный изотоп, и твердотельных термопар, которые преобразуют тепловую энергию распада (например, плутония) в электричество. Термопары в РИТЭГе используют тепло от распада радиоактивного изотопа для нагрева горячей стороны термопары и холода пространства или планетарной атмосферы для получения низкой температуры на холодной стороне. В качестве примера использования РИТЭГа на космическом аппарате можно рассмотреть Вояджер-2, на котором установлены три радиоизотопных термоэлектрических генератора. Подобный источник способен на протяжении длительного времени обеспечивать КА энергией для поддержания работоспособности всех бортовых систем.

Рассчитаем общее количество необходимого плутония 238 для обеспечения спутника энергией с учетом времени полета до орбиты Сатурна и срока активного функционирования. Для этого используем известное выражение для периода полураспада радиоизотопа:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N,$$

где  $N(t)$  – количество делящегося вещества в момент времени  $t$ .

Введем следующие обозначения:

$N_{(0)} = N_0$  – начальное количество делящегося вещества (плутония 238);

$N_{t_{\frac{1}{2}}} = \frac{N_0}{2}$  – количество делящегося вещества в конце периода полураспада;

$t_{\frac{1}{2}}$  – период полураспада.



Решая дифференциальное уравнение и находя  $\lambda$ , получаем

$$N_{(t)} = N_0 e^{\frac{-t \ln 2}{t_1}}.$$

Добавив в данную формулу  $W_{уд}$  – количество энергии, получаемое с одного кг вещества, а  $\eta$  – КПД преобразователя тепловой энергии в электрическую, получаем:

$$W_{e(t)} = W_{уд} N_0 e^{\frac{-t \ln 2}{t_1}} \eta.$$

Применим формулу для определения необходимого количества плутония 238 для заданного времени работы КА. В нашем случае примем этот срок равным 32 годам: 7 лет на полет до орбиты и 25 лет для ретрансляции сигнала. За основу было взято энергопотребление Вояджера 2 на старте, а тепловыделение 1 кг плутония равняется 540 Вт, при потерях 0,78% в год. Получаем:

$$N_{(0)} = \frac{W_e}{W_{уд} e^{\frac{-t \ln 2}{t_1}}} = \frac{470}{540 e^{\frac{-32 \ln(2)}{88}} \times \frac{1}{16}} = 17.918 \text{ (кг)}.$$

Следовательно, для обеспечения аппарата энергией на протяжении всего срока активного существования необходимо порядка 18 кг плутония 238. Если требуется несколько таких источников, масса плутония увеличится пропорционально количеству источников питания.

На основе полученных данных можно сделать следующие выводы.

1. Количество энергии, которое будут получать солнечные панели малой площади, не хватит для обеспечения работоспособности ретранслятора, а увеличивать их площадь не является целесообразным, поскольку существенно увеличится масса КА.

2. На КА не будут постоянно попадать солнечные лучи, из-за чего часть времени панели будут находиться в тени, что снижает их эффективность. Также солнечные панели со временем деградируют, что ещё больше снижает их КПД, а их замена на ретрансляторе практически невозможна.

3. Топливные элементы рассчитаны на 1...2 месяца, а это слишком мало по сравнению со сроком, на который рассчитана миссия ретранслятора.

4. Плутоний 238 слишком дорог (стоимость 1 кг плутония доходит до 2,5 млрд. долларов). Однако система энергоснабжения на его основе способна обеспечить выполнение миссии в дальнем космосе в течение запланированного срока.

Учитывая вышеперечисленное, для КА-ретрансляторов и зондов целесообразно использовать в качестве источников электропитания радиоизотопные источники энергии, способные обеспечить функционирование аппаратов в дальнем космосе в течение длительного срока.

#### Литература

1. Мороз А.П. Основы теории ракетной телеметрии: учебное пособие. М.: Директ-Медиа, 2022. 469 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа:

- <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=685422> (дата обращения: 14.02.2022).
2. Мороз А.П. Ракетная телеметрия: монография. М.: «Научный консультант», 2021. 478 с.
  3. Ерохин Г.А., Мандель В.И., Нестеркин Ю.А., Струков А.П. Методика расчета энергетического запаса радиолинии «космический аппарат – станция» // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2018. Том 5. Выпуск 1. С. 65-74.
  4. Рекомендация международного союза электросвязи МСЭ-R P.525-2. Расчет ослабления в свободном пространстве. Приложение 1. 1994. 3 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.525-2-199408-S!!PDF-R.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.525-2-199408-S!!PDF-R.pdf) (дата обращения: 24.10.2022).
  5. Рекомендация международного союза электросвязи МСЭ-R P.619-3. Данные о распространении радиоволн, необходимые для определения помех между станциями, находящимися в космосе и на поверхности Земли. Серия Р. Распространение радиоволн. 2017. 33 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.619-3-201712-S!!PDF-R.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.619-3-201712-S!!PDF-R.pdf) (дата обращения: 24.10.2022).

УДК 662.8.055.3

**Разработка процессно-ориентированной модели технологии создания металломатричных композиционных материалов с применением вакуумного горячего прессования**

**Т.Н. Антипова**, доктор технических наук,  
профессор кафедры управления качеством и стандартизации,  
**Д.С. Бабкин**, аспирант кафедры управления качеством и стандартизации,  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области  
«Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза,  
летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

*Рассмотрен технологический процесс горячего вакуумного прессования при создании композиционных материалов Ti-Cf с применением углеродных высокопористых органоморфных каркасов, насыщаемых металлом. В результате анализа имеющихся данных были разработаны процессно-ориентированные модели.*

Металломатричный композиционный материал, горячее прессование, процессно-ориентированные модели, графические и математические зависимости.

**Development of a process-oriented model of the technological process creation of metal matrix composite materials using vacuum hot pressing**

**T.N. Antipova**, Doctor of Technical Sciences,  
Professor of the Department of Quality Management and Standardization,  
**D.S. Babkin**, postgraduate student, Department of Quality Management  
and Standardization,  
State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Moscow Region  
«Technological University named after twice Hero of the Soviet Union,  
pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

*This article discusses the technological process of hot vacuum pressing when creating Ti-Cf composite materials using carbon highly porous organomorphic frames saturated with metal. As a result of the analysis of the available data, process-oriented models were developed.*

Metal matrix composite material, hot pressing, process-oriented models, graphical and mathematical dependencies.

**Введение**

Металломатричные композиционные материалы (МКМ) и продукция, производимая с их применением, нашла широкое распространение в авиацион-

ной, ракетно-космической технике и системах бронирования.

Одним из основных методов получения металломатричных композиционных материалов является горячее вакуумное прессование (ГВП). Данная технология широко применяется для создания материалов, с использованием порошков и фольг различных металлов и неметаллов. Отличительной чертой данной технологии при создании композиционного материала системы титан-углеродное волокно (Ti-C<sub>f</sub>) является применение установок горячего вакуумного прессования, обеспечивающих температурный режим в рабочей зоне до 2500 °С и высокий вакуум (давление  $10^{-1} \dots 10^{-5}$  Па) [15].

Широкое применение титана обусловлено приемлемым соотношением плотности и прочности, но характеризуется относительной большей ценной за килограмм относительно стандартных марок стали. Однако при повышенных температурах титан имеет тенденцию к потере прочностных характеристик и геометрических характеристик при повышенных температурах.

Для нивелирования тенденции к потере прочностных и геометрических характеристик было применено армирование титановых сплавов неметаллическими волокнами, а именно углеродными.

По данному подклассу материала были выполнены следующие исследования [2,3,4].

В работе [2] было проведено исследование о возможности создания композиционных материалов Ti-C<sub>f</sub>, с рассмотрением различных способов его создания.

Дальнейшее исследование [3] позволило сделать вывод о предпочтительных вариантах выкладки и параметрах проведения процесса вакуумного горячего прессования при создании металломатричных композиционных материалов.

Анализ полученных данных в работах [2,3] позволил провести моделирование технологического процесса горячего вакуумного прессования для определения зависимостей температуры прессования и толщины конечного композиционного материала.

При построении процессно-ориентированной модели рассматривается подкласс металломатричных композиционных материалов: Металлические волокнистые композиционные материалы (МВКМ-Ti-C).

Процессно-ориентированная модель технологического процесса создания МВКМ-Ti-C позволит определить основные, предварительные и окончательные операции, последовательность их выполнения, установить связи между требованиями к материалу и его свойствами.

#### **Методика исследований**

Для создания процессно-ориентированной модели технологического процесса создания металлического волокнистого композиционного материала рассмотрим основные технологические данные, полученные ранее в результате экспериментов.

Горячее вакуумное прессование пакета фольг производилось при высо-

ком вакууме  $10^{-4}$  Па, в температурном интервале 1100-1800 °С и прилагаемым усилием 6-10 кН. Для создания металлического волокнистого композиционного материала применялась горизонтальная вакуумная печь горячего прессования модели HVHP-446S.

В горячем прессовании фольги были применены:

1. Фольга титана марки ВТ-1-0 толщиной 50 мкм.
2. Спрессованный гидросплетенный холст с карбидокремниевой интерфазой [7] толщиной 10 мкм. Диаметр филамента 8 нм.
3. Медная фольга толщиной 30 мкм марки М1.

Гидросплетенный холст из полиакрилонитрила прошел термостабилизацию в окислительной среде [8, 10, 12] и высокотемпературную обработку в инертной среде [9,13,14].

Разработка модели опиралась на принципы, основные термины и определения, изложенные в системе ИСО [1], в которых процесс понимается как совокупность действий преобразование входов в выходы.

### Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение

Для составления модели были взяты за основу данные, полученные в результате экспериментов, проведенных на базе АО «Композит», подробно описанный в работах [2,3,4].

Применяя процессный подход можно сделать последовательное описание проведения технологических операций по получению металлических волокнистых композиционных материалов и в дальнейшем обосновать факторы воздействующие на качество продукции (рис. 1).

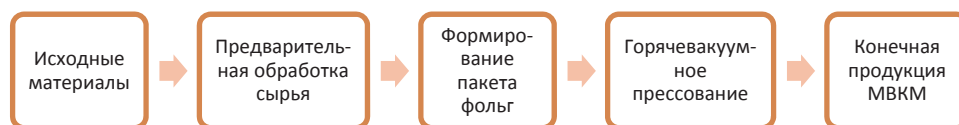


Рисунок 1 – Процессно-ориентированная модель производства МВКМ-Ti-C

На рисунке 1 показаны пять основных технологических шагов при создании металлических волокнистых композиционных материалов. Рассмотрим каждый из шагов более подробно для обоснования влияющих на качество будущей продукции параметров в каждом из этапов.

Первый этап характеризуется приобретением исходных материалов, которые влияют на будущее качество продукции и её технологичность.

Наибольшее влияние на качество будущей продукции оказывают свойства углеродного волокна и титановой фольги, которые характеризуются следующими параметрами (рис. 2):

- Метраж рулонов и фольг.
- Использование сырья без доп. мех.обр.

- Химический состав фольг.
- Химический состав гидросплетенного холста.
- Геометрические параметры.

Поэтому данные параметры являются основными при проведении входного контроля качества приобретаемого сырья.



**Рисунок 2 – Процессно-ориентированная модель для контроля и оценки исходных материалов**

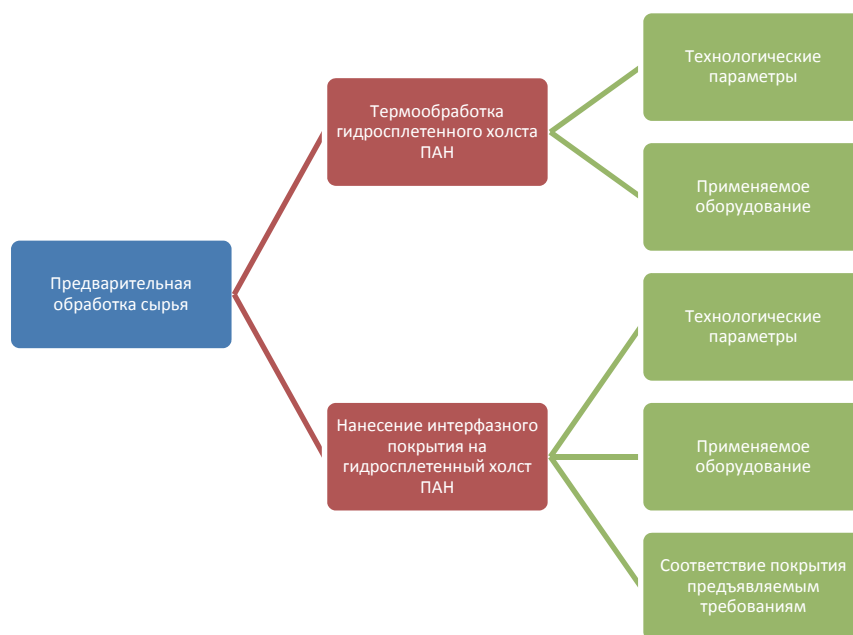
Второй этап технологии (рис. 3) производства композиционного материала характеризуется изготовлением полуфабрикатов, а именно операции по подготовке углеродного гидросплетенного холста, включающие термообработку гидросплетенного холста ПАН, и нанесение на него интерфазного покрытия.

Термообработка нужна для повышения прочностных характеристик будущего материала. Данный процесс характеризуется рядом технологических параметров таких как давление, температура и прочее.

Нанесение интерфазного покрытия замедляет процесс химической деструкции каркаса [6], которая неизбежно возникает в системе титан-углеродное волокно ( $Ti-C_f$ ). Деструкция каркаса подразумевает истончение филламентов углеродного волокна и образование избыточного количества карбида титана в результате химической реакции. Наличие избыточного карбида титана приводит к увеличению массы материала, который становится более хрупким. Качество проведения данной операций зависит от параметров технологического процесса таких как:

- температура, скорость нанесения покрытия;
- применяемое оборудование, которое должно обеспечить требуемую степень вакуумирования рабочей зоны реактора и скорость протекания газа в реакторе;

- соответствие покрытия заданной толщины и равномерности нанесения.



**Рисунок 3 – Процессно-ориентированная модель для оценки обработки исходного сырья**

Третий этап (рис. 4) формирования пакетов фольг требует научного обоснования и расчета состава пакета фольг. Например, стандартная выкладка может содержать от 30 до 50 титановых фольг, а также может меняться их чередование с барьерными слоями и углеродными гидросплетенными холстами. Последующая выкладка фольг характеризуется трудоемкостью и малыми возможностями к автоматизации. Выкладка – количество различных фольг и порядок их укладки. В следствие этого большое влияние на качество продукции на данном этапе вносит человеческий фактор, так как приходится вручную собирать более 100 слоев фольг, что приводит к ошибкам при сборке, и как следствие некондиционности всей прессовки.



Рисунок 4 – Процессно-ориентированная модель формирования пакета фольг

Четвертый этап (рис. 5) является завершающей операцией, в процессе которой происходит консолидация заготовки. Параметры горячего вакуумного прессования имеют наибольшее влияние на физико-механические характеристики получаемого металлического волокнистого композиционного материала (МВКМ).

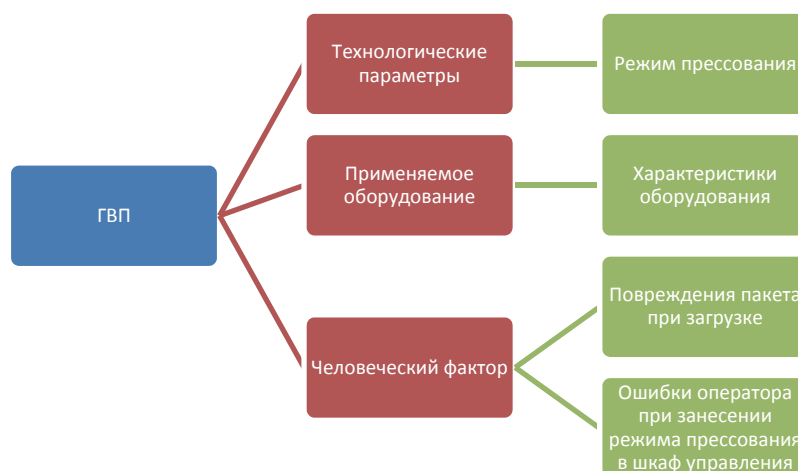


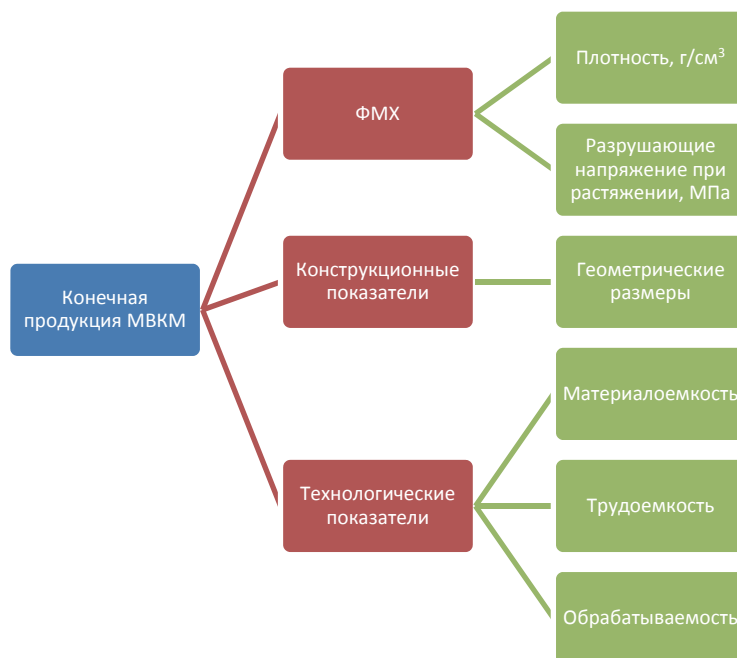
Рисунок 5 – Процессно-ориентированная модель вакуумного горячего прессования

Пятый этап (рис. 6) характеризуется контролем показателей качества получаемого МВКМ, а именно:

1. Физико-механические характеристики.
2. Конструкционные показатели.
3. Технологические показатели.



Анализ получаемых свойств материала позволяет выстроить цепочку зависимостей технологических операций и показателей конечной продукции.



**Рисунок 6 – Процессно-ориентированная модель для оценки конечной продукции**

Полученная модель может выступать в роли каркаса для последующего рассмотрения отдельных факторов, влияющих на качество продукции. Следует так же учитывать, что рассмотрение модели следует проводить как с учетом отдельных технологических операций, так и как единой взаимозависимой системы.

Система включает полный цикл производства от входного контроля сырья до характеристик конечной продукции, а именно:

- 1) входной контроль;
- 2) предварительная обработка сырья;
- 3) производство полуфабрикатов;
- 4) создание конечного материала;
- 5) контроль получаемой продукции.

В данной модели не рассматривается процесс закупки сырья и передачи получаемой продукции, поэтому данные этапы выступают в роли границ модели.

### **Выводы**

Полученная модель позволяет:

Определить связи между технологическими операциями.

Провести обоснование связи технологических операций и параметров качества продукции.

Визуализировать технологический процесс.

Определить факторы, влияющие на качество продукции.

*Литература*

1. ГОСТ Р ИСО 9001-2015 Системы менеджмента качества. Требования. М.: Стандартинформ, 2015. 32 с. // ГОСТ ISO 9001-2011 Системы менеджмента качества. Требования. М.: Стандартинформ, 2012. 24 с.
2. Бабкин Д.С. НАСЫЩЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ ВЫСОКОПОРИСТЫХ ОРГАНОМОРФНЫХ КАРКАСОВ МЕТАЛЛОМ: сборник научных статей 5-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых (22-23 марта 2021 г.), в 4-х томах – Том 4, Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. с. 135.
3. Бабкин Д.С. Применение вакуумного горячего прессования при создании металлматричных композиционных материалов, сборник статей по материалам участников XI Ежегодной научной конференции аспирантов «МГОТУ» (13 мая 2021 года, наукоград Королев). М.: Издательство «Научный консультант», 2021. 27-34 с.
4. Бабкин Д.С., Антипова Т.Н. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВАКУУМНОГО ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ МЕТАЛЛОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ // Информационно-технологический вестник. № 1(31). 2022.
5. Изотова А.Ю., Гришина О.И., Шавнев А.А. Композиционные материалы на основе титана, армированные волокнами (обзор) // Труды ВИАМ. 2017. № 5(53).
6. Колесников Сергей Анатольевич, Бубненко Игорь Анатольевич, Кошелёв Юрий Иванович, Меламед Анна Леонидовна, Проценко Анатолий Константинович, Корчинский Никита Андреевич. Разработка и исследование армированных углеродных материалов с керамической защитой от окисления в воздушных потоках // Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. 2018. № 11.
7. Коржов В.П., Карпов М.И., Желтякова И.С. Изменение структуры и жаропрочность многослойного титан-алюминиевого композита, полученного диффузией в твердой фазе // SCIENTIFIC PROCEEDINGS XII INTERNATIONAL CONGRESS «MACHINES, TECHNOLOGIES, MATERIALS», VOLUME 2. 2015. P. 104-108.
8. Подкопаев С.А. Совершенствование и стабилизация технологии производства углеродных композиционных материалов // Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук, Челябинск, 2000. 297 с.
9. Фиалков А.С. Углеродные материалы. М: Энергия, 1979. 319 с.
10. Dalton S., Heatley F., Budd P. M. Thermal stabilization of polyacrylonitrile fibers // Polymer. P. 553-5543.
11. Elrefaey A. Solid state diffusion bonding of titanium to steel using a copper base alloy as interlayer / A. Elrefaey, W. Tillmann // Journal of materials processing technology. 2009. T. 209. No 5. P. 2746-2752.
12. Fitzer E., Muller D.J. The influence of oxygen on the chemical reactions during stabilization of PAN as carbon fiber precursor // Carbon. 1975 V 3. P. 63-69.

13. Fitzer E. PAN based carbon – present state and trend of the technology from the viewpoint of possibilities and limit to influence to control the fiber properties by the process parameter // Carbon. 989 V 27. 5. P. 62-645.
14. Rahaman, M.S.A., Ismail, A.F. and Mustafa, A. (2007) A Review of Heat Treatment on Polyacrylonitrile Fiber. Polymer Degradation and Stability, 92. P. 1421-1432 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2007.03.023>.
15. Dr. Walter Umrath Fundamentals of Vacuum Technology. Cologne. 1998. 187 p.

УДК 691.175.2

**Изменение механических характеристик модифицированных стеклопластиков в условиях морской атмосферы**

**А.Ю. Олейник**, аспирант, ведущий инженер,  
Институт природно-технических систем, г. Севастополь, Крым

*В статье представлены результаты исследования эффективности модификации стеклопластиков нанодисперсными порошками  $W$ ,  $WC$ ,  $WO_3$  и  $WC+TiC+TaC$ , для защиты от агрессивных факторов морской атмосферы, а именно: колебаний температуры влажности, воздействия коррозионно-активных газов атмосферы и ультрафиолета. Образцы стеклопластика были экспонированы на атмосферном стенде в севастопольской бухте, у уреза воды на высоте 2 метра над уровнем моря, на протяжении трех месяцев, с декабря по март 2021-2022 года.*

Стеклопластики, атмосферное воздействие, механические параметры, полимерные композитные материалы.

**Changes in mechanical properties of nanomodified fiberglass plastics under marine atmospheric conditions**

**A.Y. Oleynik**, post-graduate student, leading engineer,  
Institute of Natural and Technical Systems, Sevastopol, Crimea

*The paper presents the results of the study of the efficiency of glass-reinforced plastics modification with  $W$ ,  $WC$ ,  $WO_3$  and  $WC+TiC+TaC$  nanodisperse powders (NPs) for protection against aggressive factors of sea atmosphere, namely: fluctuations of humidity temperature, impact of corrosive gases of atmosphere and ultraviolet. The fiberglass samples were exposed on the atmospheric stand in the Sevastopol bay at the water's edge at the height of 2 meters above the sea level during three months, from December to March 2021-2022.*

Fiberglass plastics, weathering, mechanical parameters, polymer composites.

**Введение**

Композиты на основе эпоксидных и полиэфирных смол давно завоевали свою нишу среди конструкционных материалов. Благодаря таким свойствам как легкость, небольшая стоимость, простота обработки, прочность и эластичность эти материалы применяются во многих отраслях промышленности.

Для обеспечения безопасной и долговременной эксплуатации конструкций из ПКМ (полимерных композитных материалов), каждый составной элемент должен быть обеспечен защитой от снижения или потери своих эксплуатационных характеристика, по любой причине, в том числе и в следствии атмосферных

воздействий.

Под основным факторами, влияющими на старение и деградацию ПКМ понимаются воздействия изменения температуры и влажности, ультрафиолета, наличия в атмосфере коррозионных газов, таких как диоксид серы [14] и микробиологическое воздействие [5]. Морская атмосфера (воздушное пространство над морями и океанами и их побережьями) является наиболее агрессивной по воздействию на изучаемые материалы [10, 12, 13].

Для защиты композитного материала от повреждающих факторов применяются те же методы, как и для дерева и металлов – покрытие красками, гелек-уитами и лаками. Данный метод хорошо себя зарекомендовал, однако обладает одним не решаемым минусом – при повреждении защитного покрытия, в условиях морской среды быстро развиваются процессы деградации материала, находящегося под краской. Однако в отличие от дерева и металла, в случае композитов есть возможность улучшать их собственный состав, помимо применения защитных покрытий, делая сам композит более стойким. Используя оба этих метода в синергии, можно достичь существенного улучшения времени жизни тех или иных изделий из стеклопластика в условиях морской атмосферы.

Целью данной работы является оценка эффективности модификации полимерных композитов нанопорошками W, WC, WO<sub>3</sub> и WC+TiC+TaC, для защиты от агрессивных условий морской атмосферы. Для оценки эффективности были выбраны следующие механические параметры: предел прочности на разрыв, предел прочности на растяжение, а также модули упругости при разрыве и растяжении. Испытания проводились в соответствии стандартам [8, 9]. Порошки W, WC, WO<sub>3</sub> и WC+TiC+TaC для испытаний были получены по технологии [1, 3]. Подробное описание порошков [2].

#### **Материалы и методы**

В качестве измеряемых механических характеристик были выбраны пределы прочности на изгиб и растяжение и модули упругости на изгиб и растяжение. Данные показатели в достаточно широкой мере отражают изменения в прочности и эластичность образцов материала.

В качестве образцов для испытаний был изготовлен комплект стеклопластиковых пластин, для снятия со стенда через 3 месяца. Пластины были изготовлены из 3ех слоев стеклоткани плотностью 320 г\м<sup>2</sup>, плетением твилл 2x2 и эпоксидной смолы EPH 320 + отвердитель EPR 162, по технологии ламинирования. Концентрация добавок составила 4% от массы связующего. Данная концентрация была выбрана на основании предыдущих исследований влияния нанопорошка карбида вольфрама на механические характеристики композитных материалов.

Порошки W, WC, WO<sub>3</sub> и WC+TiC+TaC для испытаний были получены по технологии [1, 3]. Данные порошки обладают сложной развитой формой, их размеры лежат в пределах 40-500 нм. На электронных фотографиях можно обнаружить некоторое количество агломератов с размерами до одного микрона [3, 2].

Стенд был установлен на пирсе в 2х метрах над уровнем воды в Севасто-

польской бухте.

Характеристика образцов-пластин представлена в таблице 1.

**Таблица 1 – Характеристика образцов-пластин**

№	Кол-во, шт.	Название	Конц., %	Период выдержки	Условия выдержки	Размеры образца исходной пластины, мм
1	1	0 Non Exposed	0	2 недели	Нормальные условия	160x110x1
2	1	0 Exposed	0	3 месяца	Стендовые условия	
3	1	WC	4			
4	1	W				
5	1	WO3				
6	1	ТТК				

Обозначения пластин соответствуют наименованию добавок порошков. 0 Exposed – образец без добавок, который экспонировался вместе с другими образцами. 0 non exposed – исходный образец, термостатированный, не экспонированный на атмосферном стенде, служащий для определения референтных значений измеряемых параметров.

После снятия, для испытаний пластины были нарезаны на образцы для испытаний на растяжение 120x15x1 мм; изгиб 60x15x1 мм. Механические испытания образцов проводились на универсальной испытательной машине ТРМ – 50 «Tochline».

#### **Характеристика условий экспонирования образцов**

Образцы были установлены экспонировались с двадцатого декабря 2021 года до 20 марта 2022 года, что составляло первую стадию атмосферных испытаний короткого цикла.

Ниже представлена характеристика условий экспонирования образцов.

Севастопольский климат характеризуется как мягкий, морской, умеренно континентальный с чертами субтропического средиземноморского типа.

На рисунке 1 и рисунке 2 представлены графики изменения температуры и влажности за период экспонирования.

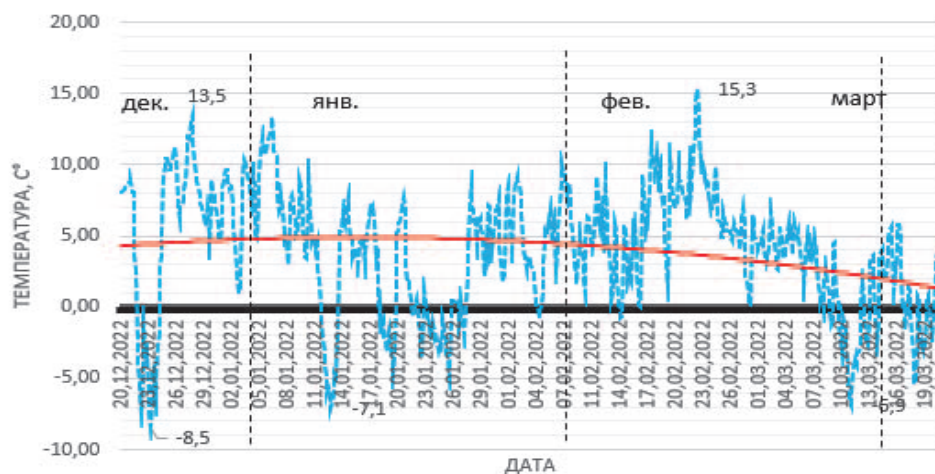


Рисунок 7 – График изменения температуры в районе севастопольской бухты в период экспонирования образцов

Как можно наблюдать из рисунка 1, средняя температура в экспонируемый период находилась в пределах 3–5 °С, однако, что гораздо важнее наблюдаются частые и резкие изменения температуры, в диапазоне 20 °С.

Известно, что рост температуры полимерного композита на 10 °С приводит к увеличению скорости структурообразования и старения материала в 2 раза, при определенных условиях [4]. При теплых и влажных тропических условиях экспонирования композитных образцов наблюдается высокий уровень поглощения влаги из атмосферного воздуха, что ведет к значительному снижению прочностных характеристик пластика [11].

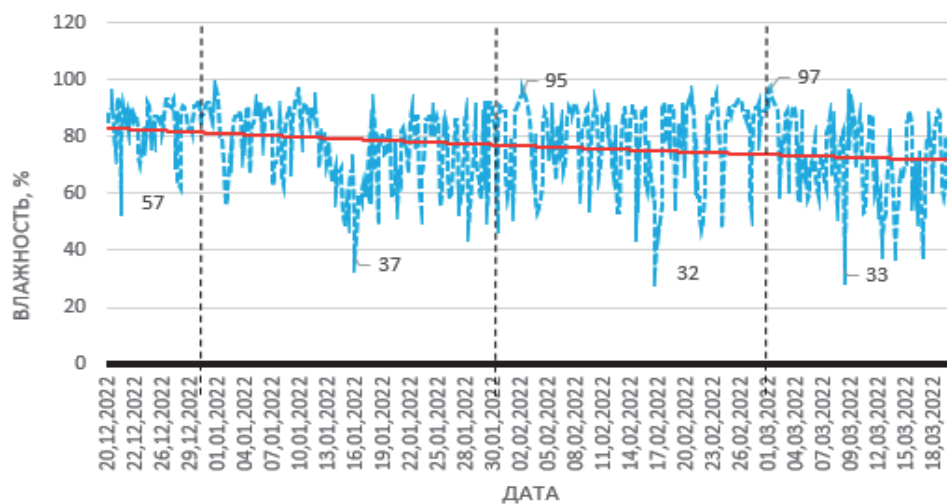


Рисунок 8 – График изменения влажности в районе севастопольской бухты в период экспонирования образцов

Как мы видим, средний уровень влажности находится в пределах 80%. Одним из приоритетных факторов, вызывающим протекание коррозионных процессов в соответствии с отечественными стандартами [7], является продолжительность времени увлажнения поверхности. Это время наличия термовлажностной ситуации при  $T > 0$  °С,  $R_h > 80\%$ . В наблюдаемый период таких термовлажностных ситуаций было более 50%, что является высоким значением при характеристике агрессивности данного параметра.

Характеристика атмосферного воздуха.

По результатам мониторинга в 2021 году ФГБУ «Крымское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» Росгидромета (далее – ФГБУ «Крымское УГМС») в воздухе города максимально разовые концентрации достигали по взвешенным веществам – 4,65 ПДК (февраль); по диоксиду серы – 0,34 ПДК (июнь); оксиду углерода – 0,22 ПДК (июнь); диоксиду азота – 0,6 ПДК (ноябрь); по формальдегиду – 0,65 ПДК (апрель). Среднегодовые концентрации взвешенных веществ составили 1,9 ПДК; диоксида серы – 1,05 ПДК. Исходя из анализа 2021 года уровень загрязнения атм. воздуха оценивается как низкий (ИЗА=2,59) [6].

Вследствие того, что стандартов для оценки агрессивности факторов окружающей среды по отношению к ПКМ нет и что в регионе наблюдается низкий уровень загрязнения атмосферы, в данной работе эта составляющая не будет учитываться. Так же в настоящей работе не рассматривался такой важный фактор природной среды как микробиологическое воздействие, так как методов оценивания факторов агрессивности атмосферы, количественно учитывающих микробиологическое воздействие, не разработано.

Явление фотоокислительной деструкции – одна из главных причин старения и разрушения полимерных композитных материалов в атмосферных условиях, причиной этого явления выступает действие солнечного света [16, 17].

Также установлено, что ультрафиолетовая часть спектра вносит самый весомый вклад в изменение механических характеристик полимерных композитов, а именно область ближнего и среднего ультрафиолета,  $\lambda$  315 – 400 нм и  $\lambda$  280 – 315 нм, соответственно [15].

Севастопольский регион характеризуется как регион с высоким уровнем УФ-активности. Это обеспечивается его географическим расположением и высоким уровнем годовой продолжительности солнечного сияния, составляющей 2342 часа.

По итогу характеристики климатических и аэрохимических условий экспонирования образцов, можно отметить следующие факторы повышения эффективности испытаний:

- направленность стенда в сторону морской акватории и близость площадки к урезу воды;
- повышенной продолжительности увлажнения поверхности образцов;
- высоким уровнем интенсивности солнечного излучения и его УФ-В компоненты;



– высокими значениями термовлажностных комплексов.

### Результаты и обсуждение

Ниже представлены результаты механических испытаний (рис. 3 и рис. 4).

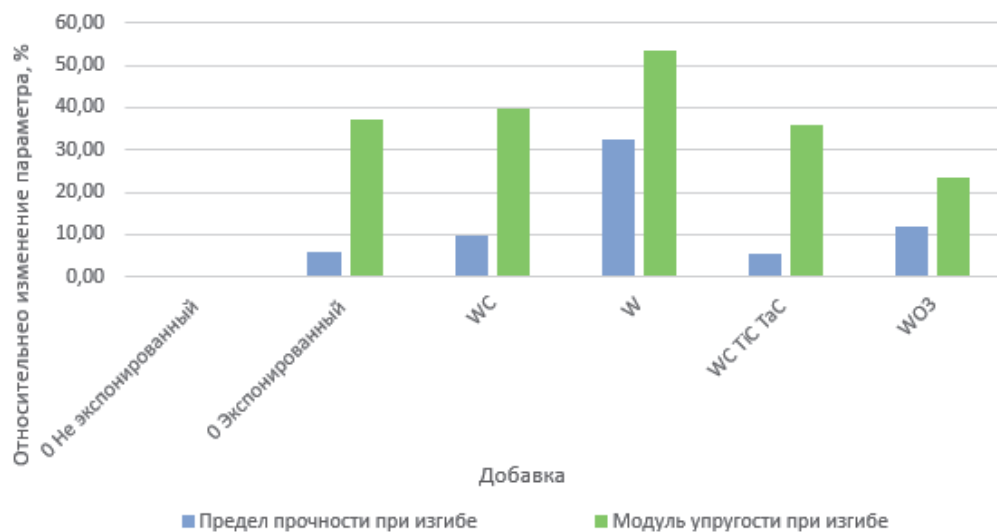


Рисунок 9 – Результат испытаний на изгиб

Из выше представленной диаграммы видно, что спустя 3 месяца на стенде, значения прочности при изгибе и модуля упругости при изгибе возросли. Модуль упругости характеризует усилие, которое необходимо придать объекту для достижения его деформации. Предел прочности – обозначает максимальное значение усилия, которое может выдержать объект до разрушения. Таким образом мы видим, что все образцы стали жестче и прочнее относительно не экспонированного образца. Всеобщий прирост может обозначать то, что композитный материал, а именно связующее на протяжении некоторого времени набирает прочность, полимеризуясь. Это время зависит от многих факторов (температуры, влажности и т.д.). Это объясняет прирост значений прочности 0 образца со временем. Важным на этой диаграмме является существенная разница между 0 образцом и образцами с добавкой WC и W. В случае с WC мы видим прирост прочности порядка 4% и модуля упругости порядка 3%. В случае с W прирост прочности составляет 26%, а модуля упругости 16%. Образцы ТК и WO<sub>3</sub> не показали прироста, это может быть связано с неоптимальными соотношениями добавки к связующему, что следует проверить в последующих работах.

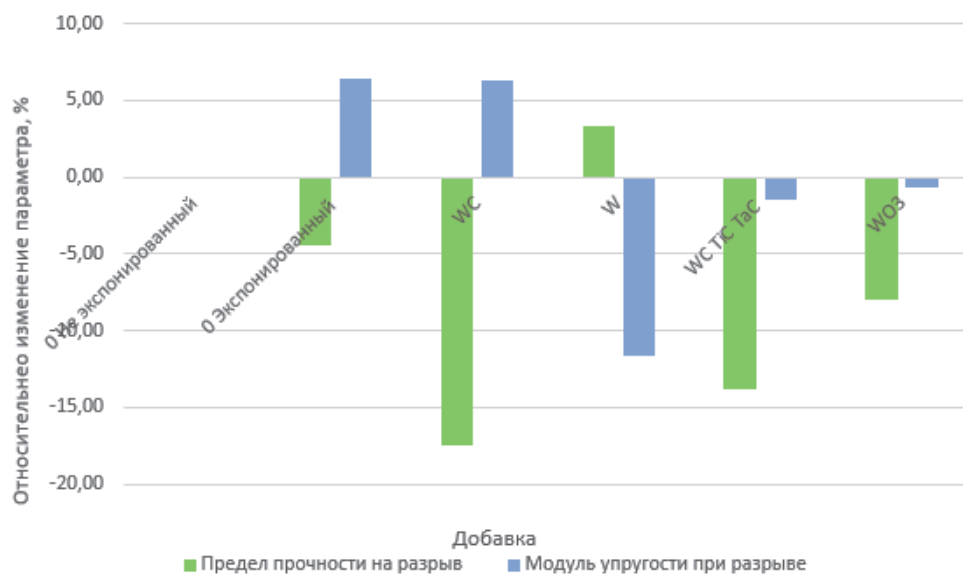


Рисунок 10 – Результат испытаний на растяжение

Относительно данных полученных при растяжении образцов мы видим падение предела прочности на всех образцах кроме W, разница между W и 0 составила более 7%, в то же время модуль упругости значительно снизился, на 15%. Одновременное падение прочности и повышение модуля упругости в образцах 0 и WC говорит о том, что образцы стали легче поддаваться деформации, несмотря на хорошее противодействие разрыву. В случае с вольфрамом ситуация обратная образец сохраняет прочность, но теряет в эластичности.

### Выводы

В данной работе была оценена эффективность применения добавок нанопорошков WC+TiC+TaC. Для улучшения стойкости стеклопластика к агрессивным условиям морской атмосферы.

Наиболее эффективно себя показала добавка W. Образец улучшил прочность при изгибающих воздействиях, сохранил эластичность. Так же была улучшена прочность при растяжении, однако сопротивление при деформации снизилось. Данные факты говорят о возможном применении этой добавки в композитных материалах, подвергающихся поперечным нагрузкам.

Так же можно говорить о значительном улучшении параметров прочности и модуля упругости при изгибе образцов с добавками W и WC.

Образцы WO3 и TTK не показали прироста ни в одном из испытаний. Это может говорить о неоптимальном подборе соотношений добавок, так как использовалась одна концентрация 4%. В последующем стоит обеспечить подбор оптимальных концентраций этих добавок либо исключить их из испытаний.

*Благодарности*

*Эта работа была подготовлена при помощи оборудования ЦКП СевГУ «Перспективные технологии и материалы».*

*Литература*

1. Gavrish V, Gavrish M, Baranov G, Chayka T and Derbasova N 2014 Pat UA91420U.
2. Gavrish V., Chayka T., Baranov G. The study on agglomerates of WC, TiC, TaC nanopowder mixtures obtained from hard-alloy waste products Journal of Physics: Conference Series. 2019. 1410 (1). № 012010.
3. Gavrish V., Chayka T., Baranov G. On the issue of the techniques to produce mass and low-price tungsten oxide nanopowder, Procedia Manufacturing. 2019. 37. 306-310.
4. Ulrich Schulz Accelerated Testing: Nature and Artificial Weathering in the Coatings Industry. Hannover Germany. VINCENTZ 2009.187 p.
5. Ветрова Е.Ю., Щекин В.К., Курс М.Г. Определение аэрохимических параметров атмосферы: методы мониторинга и количественный анализ // Климат 2018: Вопросы прогнозирования коррозии, старения и биоповреждения материалов: Материалы III Всероссийской научно-техн. конф. [Электронный ресурс]. ФГУП «ВИАМ». М.: ВИАМ. 2018. С. 75-93.
6. Годовой отчет о состоянии и охране окружающей среды города Севастополя в 2021 году [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://spn.sev.gov.ru/ekologicheskoe-sostoyanie-sevastopolya/doklad-o-sostoyanii-ob-okhrane-okruzhayushchey-sredy-goroda-sevastopolya/> (дата обращения: 1 июня 2022 г.).
7. ГОСТ 9.039-74 ЕСЗКС. Коррозионная агрессивность атмосферы. М.: Издательство стандартов, 1991. 39 с.
8. ГОСТ Р 56785-2015. Национальный стандарт Российской Федерации композиты полимерные. Метод испытания на растяжение плоских образцов Polymer composites. Test method for tensile properties of flat specimens ОКС 83.120 Дата введения 2017.01.01.
9. ГОСТ Р 56805-2015 (ИСО 14125:1998). Национальный стандарт Российской Федерации композиты полимерные. Методы определения механических характеристик при изгибе Polymer composites. Methods for determination of flexural properties ОКС 19.020 Дата введения 2017.01.01.
10. Каблов Е.Н., Старцев В.О. Системный анализ влияния климата на механические свойства полимерных композиционных материалов по данным отечественных и зарубежных источников (обзор). Авиационные материалы и технологии. 2018. № 2(51). С. 47-58.
11. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Кротов А.С. и др. Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. III. Значимые факторы старения. Деформация и разрушение материалов. 2011. № 1. С. 34-40.
12. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Медведев И.М. и др. Коррозионная агрессивность приморской атмосферы. Ч. 1. Факторы влияния (обзор) // Коррозия: материалы, защита. 2013. № 12. С. 6-18.

13. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Медведев И.М. Коррозионная агрессивность приморской атмосферы. Ч. 2. Новые подходы к оценке коррозивности приморских атмосфер // Коррозия: материалы, защита. 2016. № 1. С. 1-15.
14. Карпов В.А., Авдеев Ю.П., Михайлова О.Л. и др. Тропики как биокоррозионная среда ускоренного разрушения материалов // Российский хим. журнал. 2016. Т. LX. № 4. С. 90-93.
15. Павлов Н.Н. Старение пластмасс в естественных и искусственных условиях. М.: Химия. 1982. 224 с.
16. Рэнби Б., Рабек Я. Фотодеструкция, фотоокисление, фотостабилизация полимеров. М.: Мир, 1978. 675 с.
17. Фойгт И. Стабилизация синтетических полимеров против действия света и тепла. Л.: Химия, 1972. 544 с.

УДК 621.794

**Влияние температур расплава и скорости кристаллизации на наличие камневидного излома и микроструктуру стали 35ХГСЛ**

**М.Л. Скрыбин**, кандидат технических наук, доцент,  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Вятский государственный агротехнологический университет (ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ), г. Киров

*В настоящее время в современном производстве стальные отливки стали одной из важных составляющих современного тяжелого машиностроения. В процессе получения отливок неизбежно появляются какие-либо дефекты. В данной работе рассмотрено влияние температур расплава и скорости кристаллизации на наличие камневидного излома и микроструктуру стали 35ХГСЛ. Также рассмотрены основные факторы, уменьшающие поверхностные и внутренние дефекты, в том числе камневидный излом, а также улучшающие структуру и физико-механические свойства отливок. Эти факторы определяются интенсивностью теплообмена и, следовательно, для каждой марки стали являются функцией других основных параметров технологии литья: конфигурации и толщины стенок отливки, линейной скорости заполнения формы, теплофизических свойств и температуры формовочного материала и стали при разливке.*

Сталь 35ХГСЛ, скорость кристаллизации, температура расплава, камневидный излом.

**Influence of melt temperatures and crystallization rate on the presence of a stone-like fracture and the microstructure of steel 35HGSL**

**M.L. Scriabin**, candidate of technical Sciences, associate Professor,  
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education  
Vyatka State Agrotechnological University (Vyatka State Technical University), Kirov

*Currently, in modern production, steel castings have become one of the important components of modern heavy engineering. In the process of obtaining castings, any defects inevitably appear. In this paper, the influence of melt temperatures and crystallization rates on the presence of a stone-like fracture and the microstructure of 35HGSL steel is considered. The main factors reducing surface and internal defects, including a stone-like fracture, as well as improving the structure and physical and mechanical properties of castings are also considered. These factors are determined by the intensity of heat exchange and, therefore, for each steel grade, they are a function of other basic parameters of the casting technology: the configuration and thickness of the casting walls, the linear rate of filling the mold, the thermophysical properties and temperature of the molding material and steel during casting.*

Steel 35HGSL, crystallization rate, melt temperature, stone-like fracture.

В настоящее время процесс кристаллизации крупных стальных отливок из стали 35ХГСП изучается как практически, так и теоретически. Однако, при теоретических исследованиях принимается ряд допущений, заметно отличающихся от реальных условий кристаллизации отливок в форме. Реальная отливка представляет собой тело ограниченных размеров, а фронт кристаллизации только в некоторых случаях является плоским. Кроме того, интенсивность теплообмена при этом находится в достаточно широких пределах. Вследствие этого теоретическое исследование процесса кристаллизации, как правило, неэффективно.

В промышленности для повышения качества литых деталей одной из главных технологических операций является выявление дефектов литья, которые в процессе работы могут привести к необратимым преждевременным разрушениям.

Особый интерес представляет камневидный излом, ввиду того, что в настоящее время нет полного четкого механизма, объясняющего его происхождение в литых деталях.

Камневидный излом характеризуется четко выраженной однородной поверхностью, по которой происходит разрушение [1, С.125]. Обычно разрушение проходит по зернограничным объектам, которые образуются при достаточно высоких температурах. На границах зерен присутствуют ограничено растворимые в аустените фазы, состоящие из мелких частиц или отдельных пленок, образованных из оплавленных эвтектик. Камневидный излом образуется в результате высокотемпературного нагрева, как правило, при температуре около 1200...1250°C.

На практике, скорость кристаллизации сплава уменьшается при определенных значениях перегрева заливаемой стали. Поэтому влияние перегрева расплава на уменьшение скорости кристаллизации состоит не только в повышении теплосодержания стали, но и в нагреве литейной формы до более высоких температур для предотвращения камневидного излома [2, С.162].

В литейной практике перегрев обычно составляет около 110...130°C над линией ликвидуса. При дальнейшем увеличении перегрева могут ухудшиться некоторые условия получения отливок высокого качества.

Характер кристаллизации отливки обуславливается свойствами расплава (плотностью, теплопоглощаемостью, теплопроводностью, скрытой теплотой кристаллизации), а также свойствами формовочной смеси и продолжительностью соприкосновения металла с формой.

Отливка охлаждается неравномерно за счет нагрева формы и окружающей среды и, в связи с этим, одним из литейных дефектов, формирующимся в данных условиях в отлитых деталях, может быть камневидный и нафталинистый изломы. В связи с этим, теплоаккумулирующая способность является важной характеристикой, определяющей условия кристаллизации отливки в форме, т.е. в значительной степени определяющей скорость процесса кристаллизации, что в значительной степени оказывает влияние на появление камневидного излома в готовых изделиях.

В практике литейного производства очень часто возникает необходи-

мость в ускорении кристаллизации путем охлаждения массивных частей стальных отливок с помощью внешних или внутренних охладителей. Внешние металлические охладители можно заменить формовочными смесями, которые имеют необходимую для данного случая теплоаккумулирующую способность. Такие смеси с определенными теплофизическими свойствами являются основным средством воздействия на скорость затвердевания стальной отливки. В этих условиях очень важно знать критические скорости охлаждения, которые в процессе охлаждения не будут приводить к появлению камневидного излома [3, С.211].

С повышением температуры литейной формы свыше 710°C теплоаккумулирующая способность увеличивается в 1,2...2,0 раза в зависимости от свойств используемого формовочного материала.

При получении стальных отливок в подогретых формах время кристаллизации, структура и механические свойства значительно изменяются при изменении температуры формы. В этом случае можно не заниматься подбором формовочных материалов. При получении стальных отливок в холодных формах (120°C) важно выбрать соответствующий формовочный материал с определенной теплоаккумулирующей способностью [4, С.11].

В современной литейной практике каждый производственный процесс обусловлен определенным температурным режимом. Особенно большое значение имеет температурный режим как параметр технологического процесса производства фасонных стальных отливок. Однако, несмотря на то, что значение этого параметра общеизвестно, неудовлетворительное качество отливок и продолжительные производственные циклы являются результатом трудностей, связанных со стабилизацией температурного режима при разливке стали.

Основными факторами, уменьшающими поверхностные и внутренние дефекты, в том числе и камневидный излом, а также улучшающими структуру и физико-механические свойства отливок, являются достаточная жидкотекучесть стали и определенный характер распределения температур в отливке. Эти факторы определяются интенсивностью теплообмена и, следовательно, для каждой марки стали являются функцией других основных параметров технологии литья: конфигурации и толщины стенок отливки, линейной скорости заполнения формы, теплофизических свойств и температуры формовочного материала и стали при разливке [5, С.307]. Необходимо отметить, что не все перечисленные параметры можно оперативно контролировать. Например, толщину стенок отливки и ее конфигурацию определяет конструктор изделия; скорость заполнения литейной формы обычно поддерживают максимальной, исходя из необходимости достижения высокой производительности труда и т.д.

Температуру разливки стали можно изменять в широких пределах. Установлено, что действительная температура при заливке одних и тех же форм в производственной практике изменяется от 30 до 102°C. Несмотря на то, что теплота обычного перегрева разливаемой стали в 6...10 раз меньше теплоты кристаллизации, при заливке стали в указанном интервале температур можно значительно изменять время снятия перегрева и кристаллизации отливки.

Исходя из литературных данных, продолжительность кристаллизации в зависимости от конфигурации и массы отливки может изменяться приблизительно на порядок. Так как основные дефекты стальных отливок возникают и развиваются в период снятия перегрева и кристаллизации, температура разливки существенно влияет на качество литых изделий [6, С.18].

Установлено, что с повышением температуры разливки возрастает и склонность ее к транскристаллизации. Это объясняется расплавлением частиц твердой фазы, находящихся в жидком металле, которые можно рассматривать как готовые центры кристаллизации. Эффективное измельчение микроструктуры и уменьшение транскристаллизационной зоны осуществляются введением модифицирующих добавок в сплав [7, С.497].

В результате проведенных исследований было установлено, что оптимальной температурой получения отливок высокого качества из стали 35ХГСЛ является 1540...1570°C. Заливка при более высоких температурах (1580...1600°C) приводит к тому, что на очистку от пригара и заварку горячих трещин приблизительно у 22% отливок затрачивается много времени и труда. После заливки при более низких температурах (1500...1530°C), по сравнению с оптимальными, приблизительно у 12% отливок необходимо устранять такие дефекты, как недоливы, газовые включения и т.д. Таким образом, правильное определение оптимальной температуры заливки стали позволяет уменьшить литейные дефекты, затраты труда на их устранение, улучшить структуру и физико-химические свойства стали.

Экспериментальные данные, показали, что изменением коэффициента теплоаккумулирующей способности формы, можно десятикратно замедлить или ускорить процесс затвердевания отливки, влиять на первичную структуру металла и, следовательно, на его механические свойства. Для определения теплоаккумулирующей способности формовочной смеси необходимо только определить время с начала кристаллизации до полного затвердевания отливки. Теплоаккумулирующая способность литейной формы зависит от состава формовочных смесей, степени ее уплотнения и температуры заливки. Уменьшением пористости обычных песчано-глинистых смесей можно значительно увеличить теплоаккумулирующую способность. В практике этого достигают, используя материалы различного гранулометрического состава (например, добавки маршаллита в обычный кварцевый песок).

В результате проведенных исследований были получены изломы отдельно отлитых образцов из стали 35ХГСЛ при температуре 1540...1570°C до гомогенизации (рисунки 1-4). Для чистоты эксперимента, количество аккумулярованной и рассеянной теплоты в процессе кристаллизации сохранялось на одном уровне.



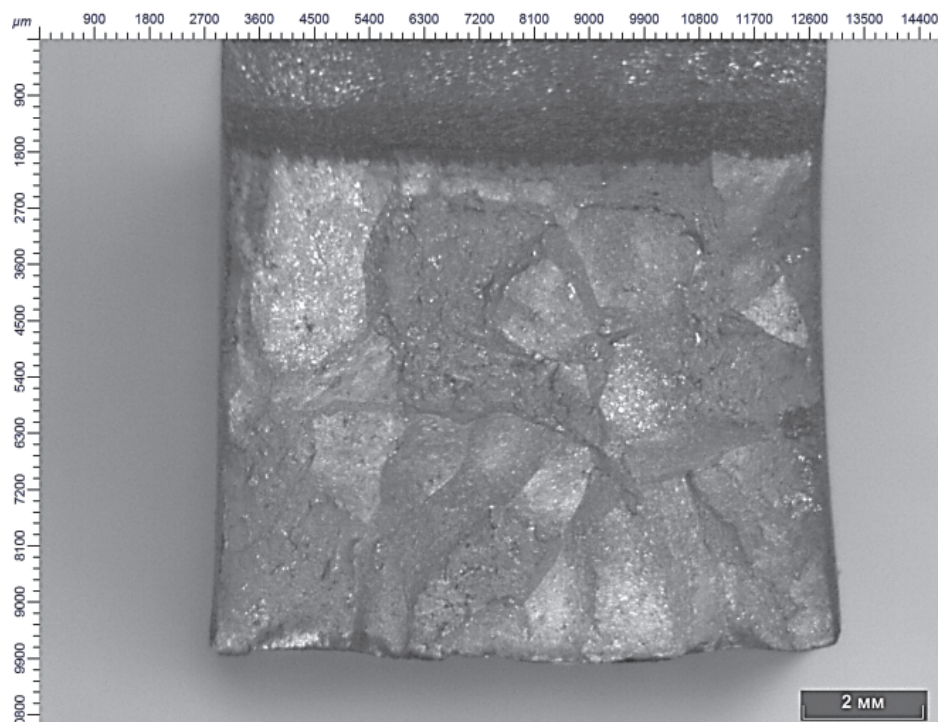


Рисунок 1 – Излом плавки № 5 из стали 35ХГСЛ температуре 1540°С

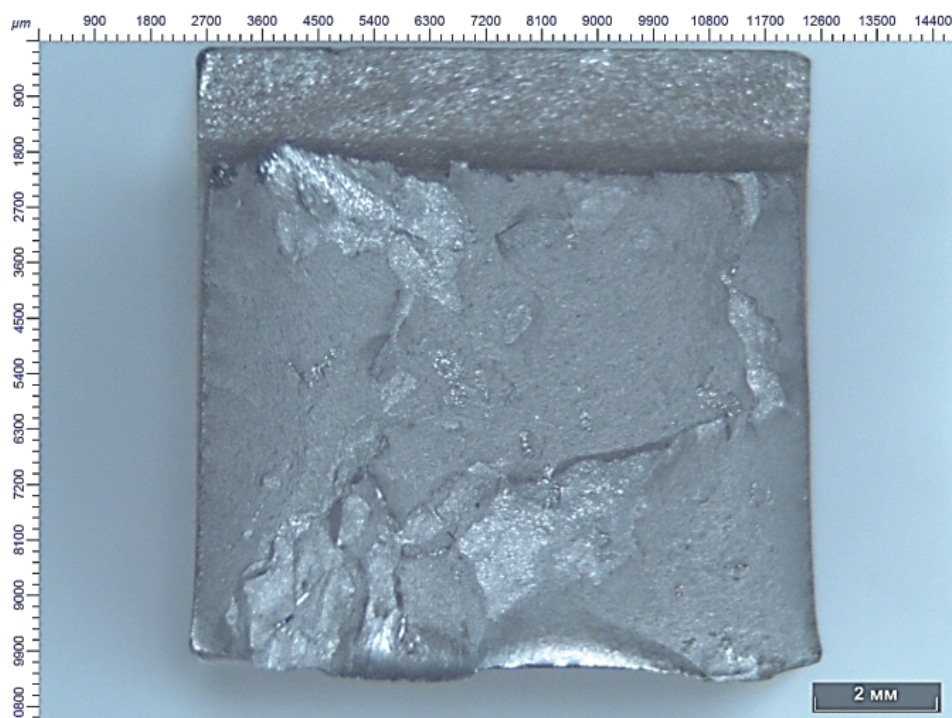


Рисунок 2 – Излом плавки № 9 из стали 35ХГСЛ температуре 1550°С

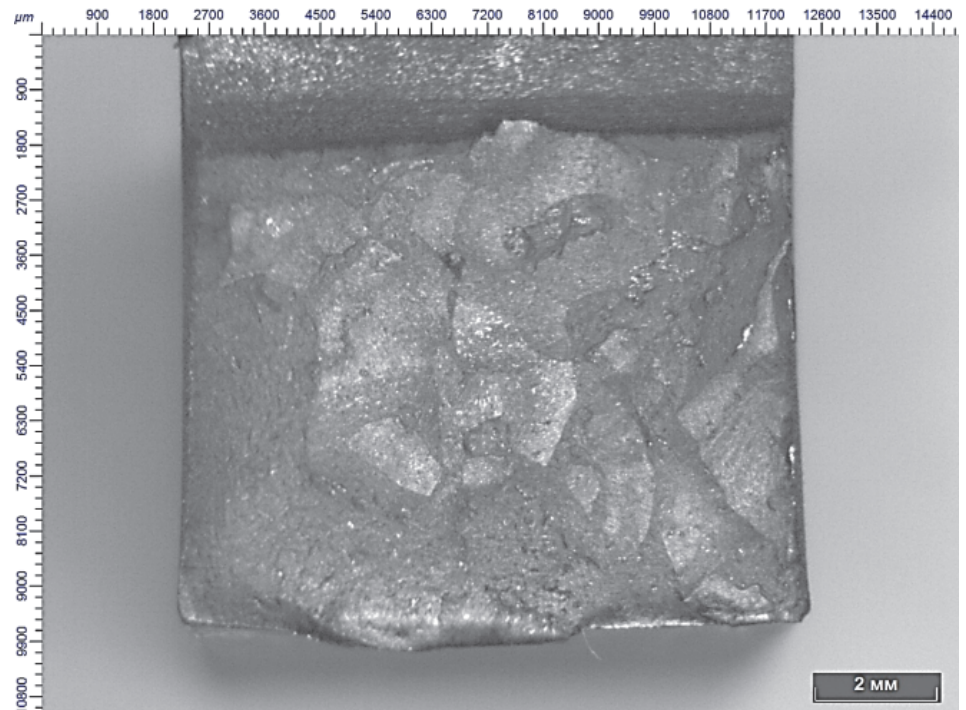


Рисунок 3 – Излом плавки № 14 из стали 35ХГСЛ температуре 1560°C

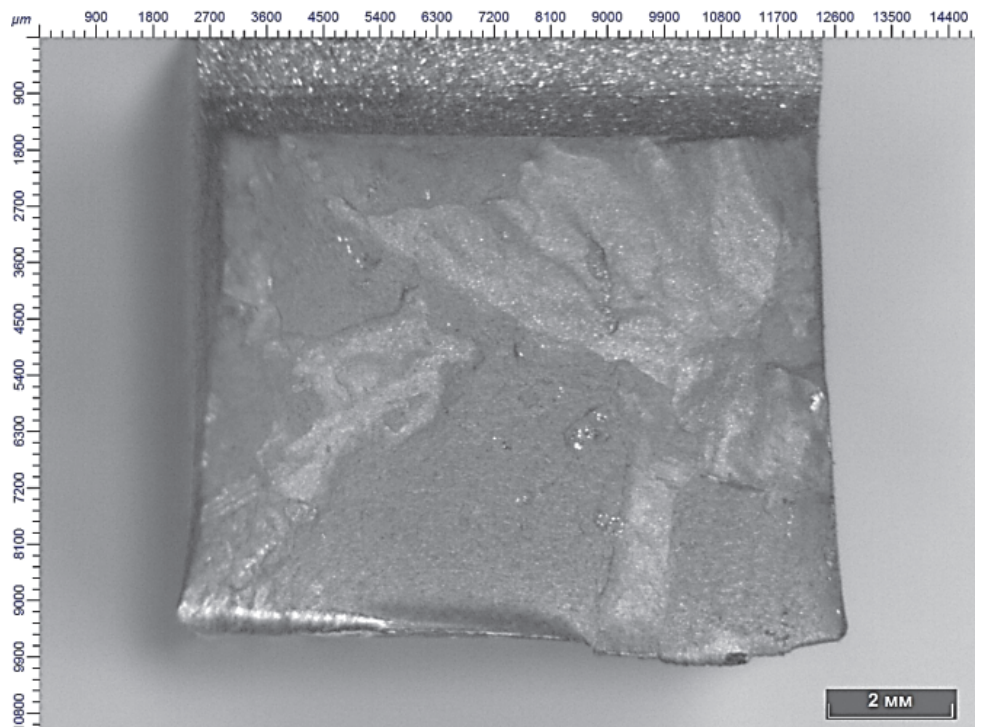


Рисунок 4 – Излом плавки № 21 из стали 35ХГСЛ температуре 1570°C

Самую низкую теплоаккумулирующую способность имеют пеноматериалы, так как значительная часть их объема заполнена воздухом, который является плохим проводником теплоты и имеет низкую теплопроводность. За ними следует асбест, сухая песчано-глинистая смесь, шамот, магнезит, хромомagneзит. Теплоаккумулирующая способность может изменяться в значительных пределах путем добавок в песчано-глинистые смеси древесных и чугунных стружек.

Учитывая положительное влияние сравнительно высокой степени плотности литейной формы на ускорение охлаждения стальной отливки, не надо забывать, что плотность формы можно увеличивать до определенных пределов, выше которых существует реальная опасность образования трещин в отливках [8, С.306].

Практикой установлено, что плотно утрамбованные смеси несмотря на их низкую газопроницаемость не вызывают образование газовых дефектов. Это не относится к формовочным смесям, имеющим высокую газотворную способность.

Теплоаккумулирующую способность формы можно увеличить, используя формовочные материалы с высокой степенью теплопроводности (например, хромомagneзит, хромит). Это один из сравнительно дорогих способов увеличения скорости охлаждения стальных отливок, который может быть рекомендован при получении сложных и ответственных изделий.

Для исследования влияния температур расплава и скорости кристаллизации на наличие камневидного излома и микроструктуру стали 35ХГСЛ были отобраны 4 плавки из 22: 5, 9, 14, 21, как с камневидным изломом, так и без него.

Микроструктуры отдельно отлитых образцов из стали 35ХГСЛ при температуре 1540...1570°C после окончательной термической обработки приведены на рисунках 5-8.

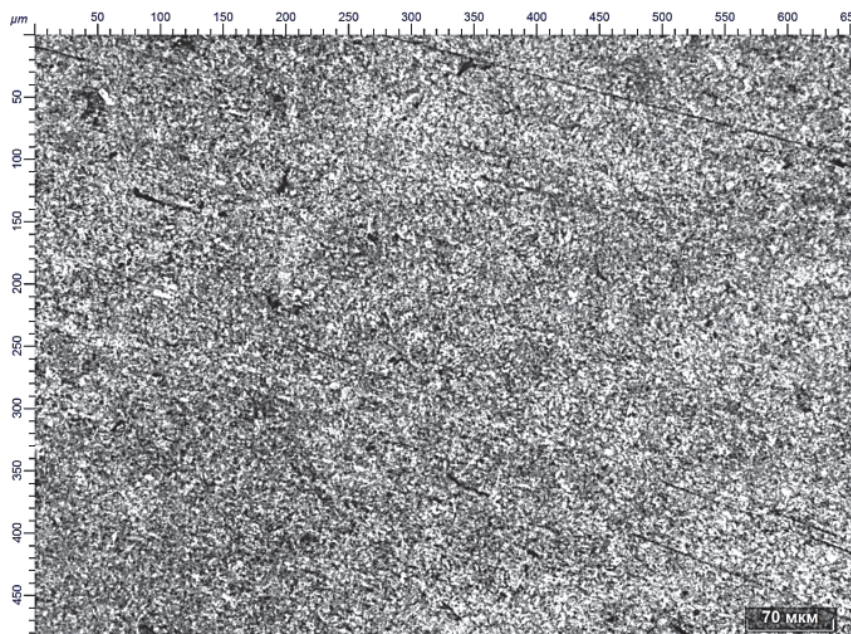


Рисунок 5 – Микроструктура стали 35ХГСЛ (плавка № 5, температура заливки 1540°C) после окончательной термической обработки

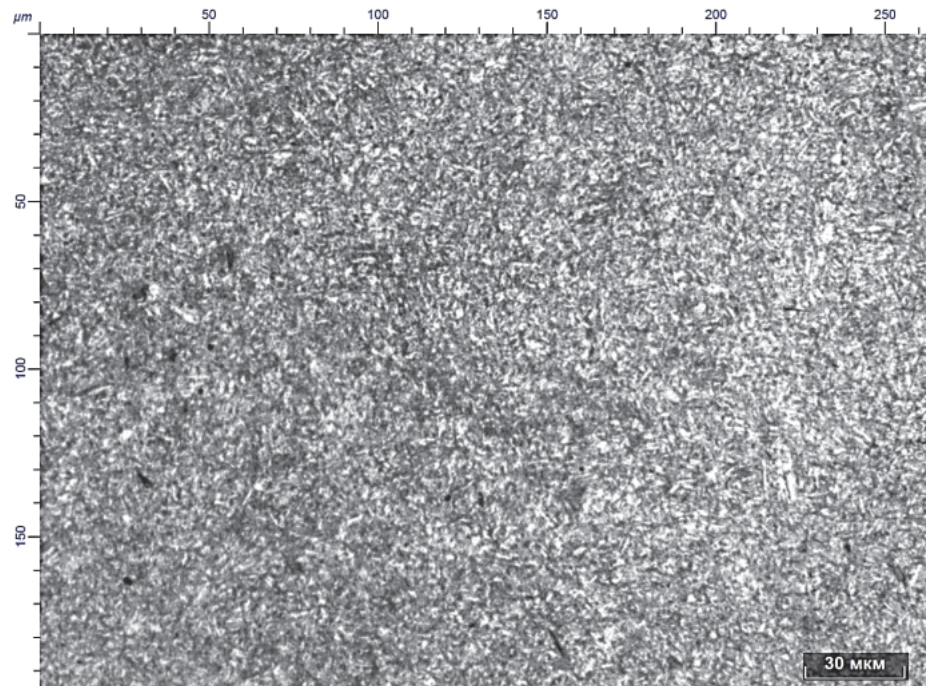


Рисунок 6 – Микроструктура стали 35ХГСЛ (плавка № 9, температура заливки 1550°C) после окончательной термической обработки

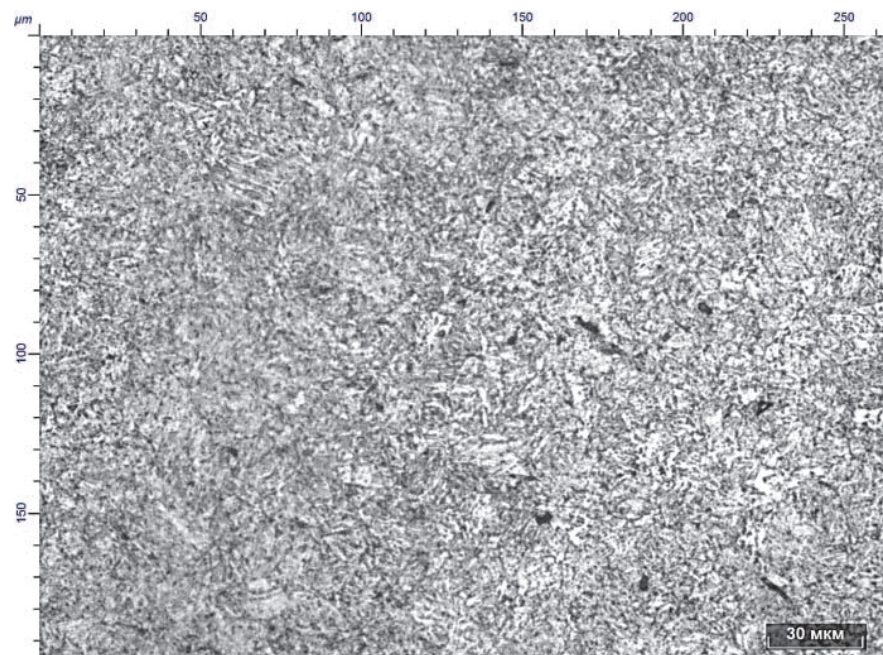
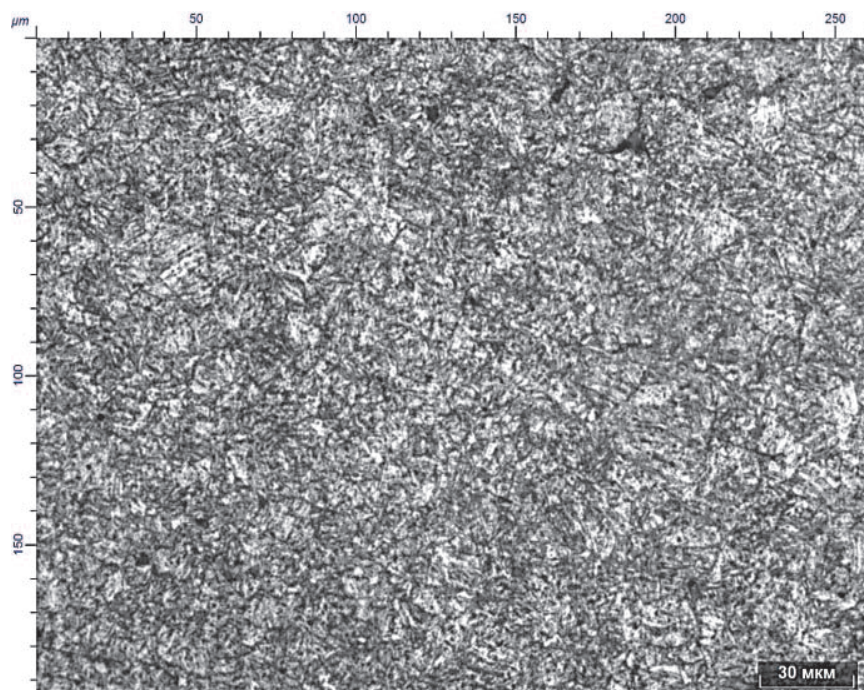


Рисунок 7 – Микроструктура стали 35ХГСЛ (плавка № 14, температура заливки 1560°C) после окончательной термической обработки



**Рисунок 8 – Микроструктура стали 35ХГСЛ (плавка № 21, температура заливки 1570°C) после окончательной термической обработки**

Анализируя результаты проведенных исследований, можно сделать следующие выводы, что чем больше масса литейной формы, тем большее количество теплоты может быть аккумулировано в форме и тем более мелкодисперсная микроструктура образуется в процессе кристаллизации сплава. Но влияние такой литейной формы на скорость кристаллизации будет зависеть от количества аккумулированной и рассеянной теплоты. Если литейная форма имеет тонкие стенки, она создает условия для более интенсивного рассеивания теплоты, следовательно, и для протекания процесса кристаллизации с сравнительно большой скоростью.

Также можно отметить, что в литейной практике во многих случаях трудно обеспечить интенсивное охлаждение внешних стенок формы. Поэтому при изготовлении мелких и средних отливок основную роль в процессе кристаллизации имеет теплоаккумулирующая способность формы. Также при заливке стали в песчаные формы температура контактирующей поверхности металл-форма обычно достигает 1350...1450°C. Можно считать, что в тех случаях, когда толщина слоя формовочной смеси больше толщины стенок стальной отливки, влияние толщины слоя смеси на процесс кристаллизации незначительно. Толщина плоского стержня не влияет на скорость кристаллизации только в том случае, когда указанная толщина в 2 раза больше толщины стенок отливки (в 3 раза для стержня цилиндрической формы, в 4 раза для стержня сферической формы). Это имеет большое практическое значение, особенно при литье в металлические формы.

Учитывая положительное влияние сравнительно высокой степени плотности литейной формы на ускорение охлаждения стальной отливки, необходимо учитывать, что плотность формы можно увеличивать до определенных пределов, выше которых существует реальная опасность образования трещин в отливках.

*Литература*

1. Чернышов Е.А., Евстигнеев А.И., Евлампиев А.А. Литейные дефекты. Причины образования. Способы предупреждения и исправления: Учебное пособие. М.: Машиностроение, 2008. 282 с.
2. Скрябин М.Л., Чухлова С.С. Исследование влияния тонких нитридных пленок алюминия на камневидный излом литой стали // Информационно-технологический вестник. 2018. № 3(17). С. 158-166.
3. Герасимова Л.П., Ершов А.А. Изломы конструкционных сталей. М: Металлургия, 1987. 272 с.
4. КТТП литья № 047. Приготовление сплава 35ХГСЛ и заливка его в формы. АО «ВМП «АВИТЕК». 2004. 39 с.
5. Скрябин М.Л. Исследование камневидного излома литой стали у сельскохозяйственных машин // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. Кокино, 2019. № 1(18). С. 304-310.
6. КТТП литья № 140. Предварительная термическая обработка отливок из сталей 35ХГСЛ, 27ХГСНМЛ, 25Л, 35Л. АО «ВМП «АВИТЕК». 1996. 32 с.
7. Скрябин М.Л. Исследование камневидного излома стали 35ХГСЛ // «Байтурсыновские чтения – 2019» на тему: «Многогранность Великой Степи: духовное возрождение, знание и инновации»: Материалы международной научно-практической конференции 26 апреля 2019 года. Костанай: Костанайский государственный университет имени А. Байтурсынова, 2019. С. 494-498.
8. Скрябин М.Л. Исследование камневидного излома литой стали у сельскохозяйственных машин // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. Кокино, 2019. № 1(18). С. 304-310.

*ДЛЯ ЗАМЕТОК*

---

Адрес редакции:  
141070, Королев,  
Ул. Октябрьская, 10а  
Тел. (495)543-34-31 (доб.138),  
E-mail : rio-kimes@mail.ru,  
Site:www. unitech-mo.ru

Подписано в печать 16.12.2022  
Формат В5  
Печать офсетная. Усл.печ.л. 11,0  
Тираж 500 экз.  
Заказ № 91-08  
Отпечатано  
в типографии  
ООО «Научный консультант»  
г. Москва  
Хорошевское шоссе, 35, корп.2  
Тел.: +7 (926) 609-32-93,  
+7 (499) 195-60-77  
E-mail :keyneslab@gmail.com  
Site:www.n-ko.ru