

УДК 004.9:528.9

**КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ИДЕИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЙ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ  
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИНФОРМАЦИОННОГО  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВИЗУАЛЬНО-ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ  
НАБЛЮДЕНИЙ С БОРТА ПЕРСПЕКТИВНЫХ  
ПИЛОТИРУЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

Е.В. Дедкова

Е.В. Дедкова (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», МИИГАиК)

Одним из самых многообещающих направлений в области информационных технологий является дополненная реальность. Она представляет собой инновационный метод получения доступа к информации об окружающем пространстве в различных сферах деятельности человека. Направление исследований настоящей работы связано с изучением возможностей применения технологий дополненной реальности в области пилотируемой космонавтики, интеграции ее с пространственными данными для решения задач мониторинга Земли из космоса методом визуально-инструментальных наблюдений.

**Ключевые слова:** пространственные данные, визуально-инструментальные наблюдения, орбитальная станция, дополненная реальность, программно-аппаратный комплекс

**Conceptual Basis for the Use of Augmented Reality Technologies  
to Solve Problems of Information Support of Visual-Instrumental  
Observations from the Board of Prospective Manned Space  
Vehicles. E.V. Dedkova**

One of the most promising lines in the field of information technologies is the augmented reality technology. It is an innovative method of gaining access to information about the environment in various spheres of human activity. This work is focused on studying the possibilities of applying augmented reality technologies in the interests of piloted cosmonautics, integrating it with spatial data to solve the problems of monitoring the Earth from space by the method of visual and instrumental observations.

**Keywords:** spatial data, visual-instrumental observations, orbital station, augmented reality, soft hardware complex

Особенное и одно из ведущих направлений в общем комплексе решаемых космонавтами задач на борту отечественных орбитальных станций (ОС) занимает дистанционное изучение поверхности Земли и околоземного пространства методом визуально-инструментальных наблюдений (ВИН).

В основе метода лежит визуальный поиск, обнаружение и регистрация объектов или явлений (природного и техногенного характера), происходящих

на земной и океанической поверхности, невооруженным глазом и с помощью оптико-электронных средств, расширяющих возможности зрительного анализатора космонавта.

Уже более полувека (с начала 70-х гг. XX в. и по настоящее время) ВИН проводятся в каждом пилотируемом полете и наряду с большими успехами автоматических спутников дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) обрели свое место, свою «нишу», показав высокие результаты при решении большого круга задач фундаментального и прикладного характера [1].

Очередным шагом в развитии российской космонавтики станет создание высокоширотной пилотируемой инфраструктуры нового поколения – Российской орбитальной станции (РОС), где ВИН земной поверхности по-прежнему будут занимать важное место, дополняя, а в некоторых случаях и расширяя возможности космических средств, работающих в автоматическом режиме.

В результате этого расширения возможностей и повышения эффективности деятельности космонавтов на борту перспективных пилотируемых космических аппаратов представляется актуальной научная многогранная проблема. Обеспечить решение этой проблемы в части проведения ВИН представляется возможным за счет современных систем сбора, обработки и тематической интерпретации данных геоинформационной индустрии совместно с передовыми технологиями из области ИТ-разработок. На их основе можно создать геоинформационный продукт, в частности базу пространственных данных географических ориентиров (цифровую карту ориентиров) на земной поверхности, а с помощью технологии дополненной реальности обеспечить их визуализацию на специализированных рабочих местах космонавта-оператора или портативных устройствах комплекса средств поддержки экипажей перспективной РОС. Такой подход значительно повысит достоверность и оперативность при поиске и распознавании объектов, а также обеспечит дифференцированное наблюдение, целеуказание и ситуационную осведомленность экипажа в режиме реального времени при проведении ВИН.

Целью настоящего исследования является повышение эффективности проведения ВИН путем совместного использования геопространственных данных и интерактивных технических средств отображения информации с элементами дополненной реальности.

### **Особенности деятельности космонавтов и задачи их обеспечения картографической информацией при ВИН**

Несмотря на кажущуюся простоту, ВИН относятся к сложному виду операторской деятельности. Ее можно определить как деятельность заключающуюся в выделении и регистрации элементов обширнейшего информационного поля. По содержанию особенность ее состоит в необходимости выполнения точных, четко скоординированных действий по управлению, наведению аппаратуры и принятию решений на сенсорно-перцептивном

уровне. При этом важно подчеркнуть наличие специфических особенностей работы, обусловленных множеством временных, пространственных, фоноцелевых и других параметров, в значительной мере влияющих на возможность и эффективность работы космонавта-оператора [2]. Теоретически располагаемое космонавтом время наблюдения объекта с борта МКС, для средних значений высоты ее орбиты (400 км) и оптимального угла визирования аппаратуры ( $\pm 45^\circ$ ) от направления в надир составляет приблизительно 104 с. Это время довольно мало, учитывая необходимость одновременного выполнения одним членом экипажа визуального поиска, обнаружения, распознавания, регистрации и слежения за объектом «ручными» приборами.

Подробный анализ временных затрат космонавтов на проведение всех операций ВИН показывает, что большая часть времени сеанса наблюдения (около 72,5 %) затрачивается именно на поиск и обнаружение объектов<sup>1</sup>. Этот факт свидетельствует о том, что космонавты, впервые наблюдающие заданный район, не имеют возможности быстро сориентироваться.

Ориентирование основано на знании текущих координат подспутниковой точки, наблюдении подстилающей поверхности через иллюминатор или/и средство наблюдения и сопоставлении результатов наблюдения с картой, то есть на визуальном опознавании наблюдаемых объектов и их привязке к карте. Особенности ориентирования на местности связаны с тем обстоятельством, что примерно за 90 минут пилотируемый космический аппарат (ПКА) совершает виток вокруг Земли, а наблюдения выполняются вдоль трассы его полета в достаточно широкой полосе обзора, определяемой углом обзора (угол отклонения оси визирования от плоскости орбиты)  $\pm 45^\circ$ . В линейных единицах ширина полосы обзора для высоты орбиты ПКА 400 км будет равна 800 км. Чаще всего ориентирование ведется способом приближения по принципу «от общего к частному», то есть от крупных ориентиров и закономерных их сочетаний к более мелким, позволяющим оценить конкретную точку своего местоположения. В любом случае работа космонавта невозможна без использования карт или космических изображений, без глубоких знаний «космической географии». В настоящее время экипажи РС МКС для выполнения задач ВИН преимущественно используют специализированную программу баллистико-навигационного отображения (БНО) «Сигма», которая, формируя географические координаты и трассу полета ПКА, графически отображает данную информацию на картах земной поверхности на экране монитора. Использование электронных карт и специализированного программного обеспечения (ПО) значительно облегчает работу экипажу, позволяет прогнозировать полет по трассе, дальность и время полета, угол Солнца над горизонтом, значение наклонной дальности на траверзе

<sup>1</sup> Отчет о научно-исследовательской работе «Исследование основных направлений совершенствования программно-аппаратных средств компьютерных систем визуализации технических средств подготовки космонавтов». – Звёздный городок: ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», 2011. – С. 69.

заданного объекта наблюдения. Однако проведенный анализ состояния картографического материала БНО «Сигма» показал, что в нем присутствуют существенные недостатки, в первую очередь связанные с выбором картографической проекции. В частности, ввиду того что в «Сигме» используется нормальная равнопромежуточная цилиндрическая проекция, визуальное сопоставление наблюдаемой через иллюминатор местности и ее геоцентрической зоны наблюдения, отображаемой на электронной карте, сильно осложняется по мере приближения ПКА к полюсам (или к верхним точкам орбиты (трассы)) [3].

В скором времени на солнечно-синхронную орбиту с наклоном  $96,9^\circ$  и высотой в диапазоне от 365 до 386 км планируется запуск перспективной РОС. Орбитальные условия полета станции не только расширят возможности наблюдения всей поверхности Земли за счет смещения трасс полетов к полярному кругу, но и внесут некоторые новые, в сравнении с МКС, условия для проведения ВИН. В общем случае светотеневые условия борта РОС будут более стабильными: длительность освещенности и тени сопоставимы благодаря постоянству положения плоскости ее орбиты относительно Солнца, а, например, время наблюдения объекта с борта РОС станет еще меньше и составит примерно 90 с. При этом многообразие объектов, подлежащих наблюдения в глобальном масштабе (на поверхности суши и мирового океана), различия условий наблюдения по континентам и сезонам года, циклическая смена дня и ночи на каждом витке, наличие облачного или снежного покрова (особенно в высоких широтах), отсутствие явных ориентиров, а также постоянно повторяющийся процесс яркостной и цветовой адаптации зрительного анализатора космонавта-оператора к изменяющимся условиям и нередко потеря «цели» при переходе от наблюдения объекта невооруженным глазом в поле зрения прибора, по-прежнему существенно осложняют задачу обнаружения. Выполнение этой задачи можно облегчить за счет создания системы географических ориентиров, расположенных в полосе обзора вдоль трассы полета на некотором расстоянии до заданного объекта наблюдения. В этом случае ориентиры должны представлять собой один из информационных слоев цифровой модели Земли, созданный на основе пространственных данных в ГИС-среде, то есть определенное множество географических объектов, преобразованных в привычные картографические объекты, показанные в установленных условных знаках и помещенных в программно-аппаратную среду для визуализации.

### **Технология дополненной реальности в картографии и геоинформатике**

Для решения задачи повышения эффективности ВИН необходимо применение современных интерактивных технических средств, обеспечивающих оперативное целеуказание заданных объектов и информационную поддержку экипажа в режиме реального времени.

Одной из наиболее перспективных технологий в сфере современной информационной индустрии является технология дополненной (смешанной или комбинированной) реальности.

Дополненная реальность (*англ.* augmented reality, AR) – это технология, позволяющая дополнять мир реальных объектов разнообразной контекстной информацией, а также совмещать изображения, полученные от разных источников, при помощи компьютера, используя различные технические устройства проецирования графики для человека (смартфоны, смарт-очки, шлемы, проекционные системы).

Необходимым условием совмещения мира реальных объектов с виртуальным является знание пространственного положения наблюдателя. Это позволяет формировать изображения виртуальных объектов с необходимыми ракурсом и масштабом, а затем накладывать их на картину реального мира в нужном месте.

В последнее время AR-технология получила широкое применение в области наук о Земле, включая картографию и геоинформатику.

В картографии AR-технология стала востребованной благодаря распространению мобильных устройств. Уже сегодня подобные системы могут идентифицировать окружающие объекты и посредством интерактивных подсказок помогают человеку без труда ориентироваться в пространстве, накладывая информацию на цифровые карты. Существующие решения в основном связаны с навигационной картографией и предназначены пока преимущественно для ориентации пользователя на местности так называемой пешеходной навигации [4, 5], что не обеспечивает решений задач информационной поддержки оператора на борту космической станции. Однако сама идея сочетания геоинформационной технологии и дополненной реальности открывает новые возможности для визуализации необходимой, а порой скрытой от человеческого глаза информации за счет привязки ее к реальному миру через местоположение, поскольку пространственные объекты ГИС как раз и имеют геопривязку.

### **Задачи программно-аппаратного комплекса поддержки ВИН с элементами дополненной реальности**

Для формирования требований к архитектуре перспективного программно-аппаратного комплекса (ПАК) обеспечения ВИН, к применяемым типам и технологиям дополненной реальности сформулируем задачи для подобного комплекса:

1. Отображение виртуальных картографических (информационных) слоев с набором атрибутивных данных ГИС и их совмещение с реальным изображением подстилающей поверхности Земли в полосе обзора вдоль трассы полета ОС.

2. Обозначение (выделение) и наименование ключевых объектов, наблюдаемых в реальный момент времени и в соответствии с выбранным информационным слоем.

3. Дифференцированная подача информации, то есть информация «всплывает» в нужный момент и исчезает, когда в ней уже нет потребности.

4. Целеуказание на заданный объект с помощью графических маркеров, звуковых и текстовых сообщений.

5. Получение актуальных данных о векторе состояния станции в используемой системе координат (напр.: Гринвичской вращающейся) и автосопровождение визуальной обстановки виртуальным картографическим материалом в реальном времени.

6. Обеспечение работы базы пространственных данных с картографическими материалами.

7. Возможность необходимых проективных преобразований формируемого картографического изображения с учетом кривизны Земли при моделировании изменения пространственного положения оптической оси бортового средства наблюдения.

В работе [5] представлена достаточно полная классификация современных систем дополненной реальности. Опираясь на данную классификацию, определим тип и технологию дополненной реальности для перспективного ПАК обеспечения ВИН с элементами дополненной реальности.

### **ПАК обеспечения ВИН с технологией проекции целевой информации**

В случае использования ручной фотоаппаратуры с длиннофокусным объективом при выполнении ВИН на специализированных рабочих местах модулей РОС представляется перспективным использование AR-технологии в виде проекции целевой информации непосредственно на поверхность иллюминатора научно-энергетического модуля (НЭМ) (рис. 1). В данном случае целевая информация может представлять собой упрощенный вид некоторого картографического слоя из базы данных ГИС, которая будет накладываться в плоскости иллюминатора на внешнюю визуальную обстановку, а человеко-машинный интерфейс ПАК обеспечения ВИН давать целеуказания космонавту. Задача привязки проецируемого картографического изображения, решается через фиксированное положение проекционной аппаратуры в системе координат станции.

Достоинством данной системы являются простота, оперативность и наглядность представления информации космонавту непосредственно на иллюминатор. Недостатком данной системы является постоянство масштаба проецируемой информации. Ограничениями являются необходимость ориентации оптической оси иллюминатора исключительно в надириальное и фиксированное положение оператора по отношению к иллюминатору. При этом диапазон



расстояний положения оператора и «прокачки» оси фотоаппарата относительно плоскости иллюминатора, с учетом того, что он (иллюминатор) находится в нише НЭМ, крайне ограничен и по предварительной оценке составляет не более 600–700 мм по высоте,  $\pm 15^\circ$  – по направлению строительной оси модуля,  $\pm 20^\circ$  – по плоскости, перпендикулярной строительной оси (рис. 1, 2).

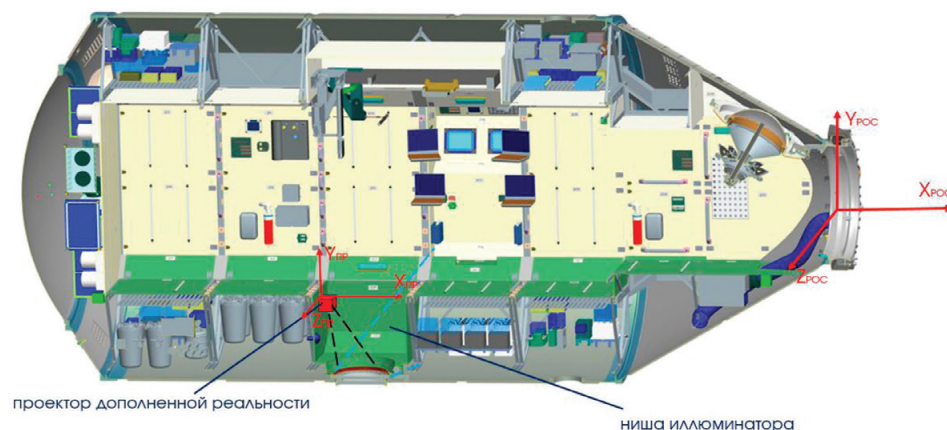


Рис. 1. Использование технологии проекции целевой информации дополненной реальности на внутреннюю поверхность иллюминатора НЭМ РОС

Кроме того, должна быть обеспечена синхронизация отключения проецируемой информации и нажатия спуска на фотоаппаратуре, чтобы цифровые элементы дополненной реальности не создавали помеху фотосъемке.

В качестве основы алгоритма расчета координатно-временной привязки проецируемого изображения может использоваться разработанный в МИИГАиК метод [6]. Метод основан на использовании бортовых измерений и вычислений в реальном времени текущего вектора состояния космической станции, с последующим вычислением координат подспутниковой точки в Гринвичской системе координат.

На момент  $t_0$  начала интегрирования дифференциальных уравнений движения станции в Гринвичских координатах, например при включении ПАК обеспечения ВИН, из системы управления движением и навигацией (СУДН) ОК РОС загружается текущий вектор состояния и осуществляется расчет координат и составляющих скорости подспутниковой точки на пересечении оптической оси иллюминатора с условной поверхностью геоида (рис. 2):

$$\bar{X} = (X, Y, Z, \dot{X}, \dot{Y}, \dot{Z})^T_{t=t_0}.$$

Полученные координаты  $i$ -й точки сравниваются с координатами точек картографического материала из базы данных ПАК, хранимых как базис  $\bar{B}_{i,i+1}$ :

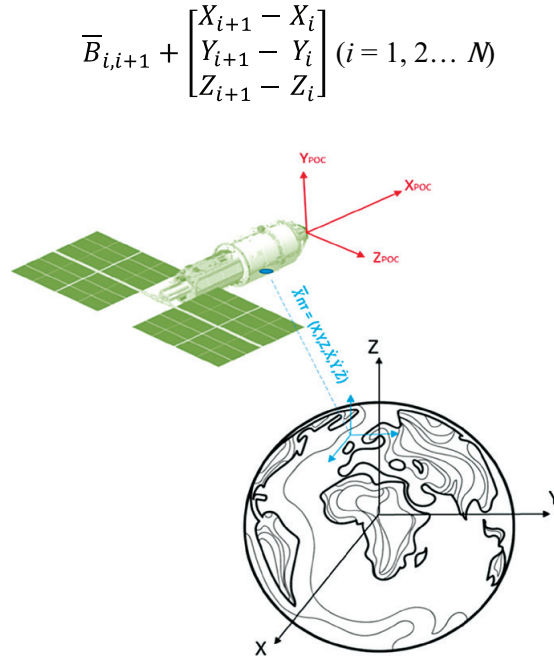


Рис. 2. Расчет координат и составляющих скорости подспутниковой точки ПКА на пересечении оптической оси иллюминатора

Координаты реальной  $i$ -й подспутниковой точки связываются с координатами точки из базы данных ПАК, в результате чего полученные картографические данные проектируются на поверхность иллюминатора и динамически изменяются путем коррекции положения подспутниковой точки при вычислении дифференциальных уравнений движения станции во вращающейся Гринвичской системе координат вида:

$$\ddot{X} - 2\omega\dot{Y} - \omega^2 X = \frac{\partial V}{\partial X} + Q_x;$$

$$\ddot{Y} - 2\omega\dot{X} - \omega^2 Y = \frac{\partial V}{\partial Y} + Q_y;$$

$$\ddot{Z} = \frac{\partial V}{\partial Z} + Q_z,$$

где  $X, Y, Z$  – координаты станции;

$\dot{X}, \dot{Y}, \dot{Z}$  – первые производные координат по времени, как результат вращения вместе с Землей Гринвичской системы координат;

$\ddot{X}, \ddot{Y}, \ddot{Z}$  – вторые производные координат по времени;

$\frac{\partial V}{\partial X}, \frac{\partial V}{\partial Y}, \frac{\partial V}{\partial Z}$  – производные от потенциальных возмущающих сил (гравитационное поле Земли, притяжение Солнца, Луны и т. п.);

$Q_x, Q_y, Q_z$  – возмущающие ускорения торможения от атмосферы.



Таким образом осуществляется наложение проецируемого картографического материала на реальный вид подстилающей поверхности на иллюминатор модуля ОК РОС (рис. 3).

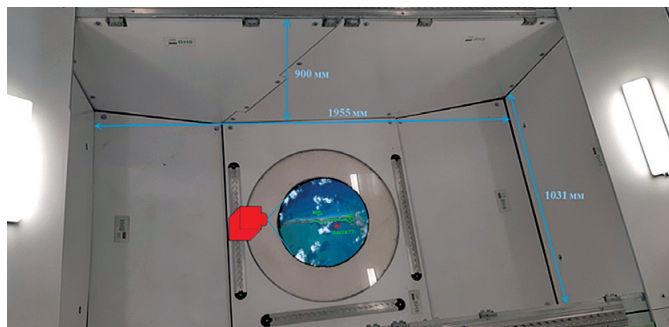


Рис. 3. Условный вид проекции целевой информации на реальный вид подстилающей поверхности

### ПАК обеспечения ВИН с технологией передачи изображения на ПЭВМ

Другой технологией при использовании ручной фотоаппаратуры является использование фотокамеры как источника информации о реальном объекте и передачи этой информации на средства отображения (напр.: планшетный компьютер), где средствами дополненной реальности информация о реальном объекте расширяется и дополняется (рис. 4).

Достоинством данной системы является возможность масштабирования и селектирования (выбора) элементов дополненной реальности вместе с изменением положения оператора по дальности и углу визирования, а также фокусного расстояния объектива фотокамеры, определяющие текущий масштаб изображения.

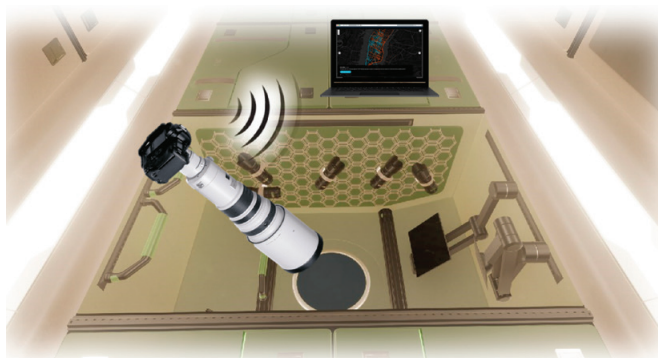


Рис. 4. ПАК обеспечения ВИН с технологией передачи изображения на ПЭВМ

Недостаток: необходимость применения дополнительных методов координатной привязки камеры к связанным осям станции.

За основу для создания подобного ПАК можно взять успешно реализованный опыт разработки системы координатной привязки фотоизображений с использованием ультразвука (СКПФ-У) в рамках космического эксперимента «Визир».

Принцип работы системы заключается в постоянном излучении ультразвуковых импульсов, получении их приемниками и измерении времени прохождения импульсов от передатчиков до приемников. По времени прихода и известной скорости ультразвука рассчитываются все расстояния между излучателями, расположенными на камере, и приемниками, расположенными вокруг иллюминатора. По полученной совокупности всех расстояний в реальном времени вычисляются положение и ориентация камеры относительно иллюминатора [7]. Возможно использование и других способов позиционирования фотоаппаратуры относительно иллюминатора, например оптических маркеров и стационарных камер позиционирования по аналогии с системами с виртуальной реальностью и захватом движения.

Основой алгоритма расчета координат точки пересечения линии визирования (ЛВ) камеры с земной поверхностью по данным угломерной системы является использование матрицы разворота вектора ЛВ камеры и расчета географических координат точки пересечения ЛВ камеры и поверхности геоида [4].

При включении рабочего режима ПАК AR посредством системы-аналога СКПФ-У определяется матрица разворота фотоаппарата относительно иллюминатора  $M_{1F}$ , затем программным способом задается единичный вектор в системе координат иллюминатора и в инерциальной системе координат, связанной с земным геоидом:

$$V_1 = V \times M_{1F};$$

$$V_2 = V \times M_{1R},$$

где  $V$  – единичный вектор фотоаппарата.

ПАК рассчитывает полярную координату точки пересечения вектора  $V_2$  с поверхностью геоида:

$$R_{FF} = R_E (1 - \alpha_Z \sin^2(\varphi));$$

$$Z = R_{FF}^2 - |R_{ISK}|^2 \sin^2(\alpha);$$

$$D = |R_{ISK}| \cos(\alpha) - \text{sqrt}(Z);$$

$$R_{OR(1)} = R_{ISK(1)} + D \times V_{2(1)};$$

$$R_{OR(2)} = R_{ISK(2)} + D \times V_{2(2)};$$

$$R_{OR(3)} = R_{ISK(3)} + D \times V_{2(3)};$$

$$\varphi = \arcsin \left( \frac{R_{OR(3)}}{R_{FF}} \right),$$

где  $\varphi$  – полярная координата точки пересечения вектора  $V_2$  с поверхностью геоида;

$R_{FF}$  – расстояние между плоскостью экватора и параллельной экватору плоскостью, проходящей через точку визирования (съемки);

$R_{OR}$  – радиус-вектор точки визирования;

$D$  – дальность до этой точки;

$R_E$  – экваториальный радиус;

$R_{ISK}$  – радиус-вектор станции.

После получения полярной координаты  $\varphi$  как широты определяется ее долгота как полярная координата радиуса-вектора  $R_{OR}$  искомой точки с учетом текущего угла  $T_{\text{звезд}}$  поворота Земли в инерциальной системе координат:

$$\lambda^\circ = \arctan \left( \frac{R_{OR(2)}}{R_{OR(1)}} \right) - T_{\text{звезд}}.$$

По полученным координатам на средствах отображения информации происходит наложение картографического материала на изображение с камеры.

## Выводы

1. Космонавты как при подготовке, так и при выполнении ВИН прежде всего нуждаются в выборе опорных ориентиров для правильной пространственной привязки, обнаружения объекта исследования и достоверного документирования результатов наблюдений. Наиболее целесообразно, как показывает практика, давать ориентиры в форме картографического представления, которое должно генерироваться по неким правилам на основании пространственной и атрибутивной информации об объектах в ГИС-среде.

2. AR-технология представляет собой новый, интерактивный, удобный и быстрый способ отображения геопространственных данных. Применение подобных информационных технологий в области пилотируемой космонавтики обладает огромным потенциалом. В частности, сочетание технологий дополненной реальности с возможностями ГИС могло бы существенно повысить информационную поддержку динамических операций ВИН благодаря визуализации и информации о видимых и скрытых объектах реального мира необходимой космонавту-наблюдателю.

3. Из рассмотренных в статье возможных вариантов технологических решений дополнения мира реальных объектов цифровыми, технология передачи изображения подстилающей поверхности от фотоаппаратуры

и совмещение ее с картографическими объектами на ПЭВМ представляется наиболее перспективной для создания ПАК обеспечения ВИН.

4. Задача обеспечения ПАК картографическими материалами требует разработки цифровых моделей Земли, в первую очередь учитывающих геометрию пространства восприятия космонавта и, безусловно, отвечающих целому набору практических и технических требований, условий по содержанию, оформлению, генерализации, условным знакам и особенностям их визуализации.

5. Требования к человекомашинному интерфейсу таких ПАК, как и к технологическим разработкам в области дополненной реальности, подлежат определению в рамках перспективных исследовательских и опытно-конструкторских работ. При этом экспериментальную отработку методами моделирования части субтехнологий (например таких, как платформенные решения для пользователей, технологии захвата движений, интерфейсы обратной связи) представляется возможным провести на базе Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина с применением специализированного тренажера по подготовке космонавтов к выполнению ВИН («Тренажер ВИН») [8].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Особенности проведения и использования результатов съемки земной поверхности, выполняемой экипажами российского сегмента МКС / М.Ю. Беляев, Л.В. Десинов, Д.Ю. Караваев, В.П. Легостаев [и др.] // Космическая техника и технологии. – 2015. – № 1(8). – С. 17–30.
2. Влияние параметров обзора поверхности Земли на возможность проведения мониторинга наземных объектов в пилотируемом космическом полете / Г.Д. Орешкин, Э.Н. Степанов, А.А. Митина, А.Т. Митин // Пилотируемые полеты в космос. – 2013. – № 2(7). – С. 30–42.
3. Дедкова, Е.В. Средства и методы отображения навигационной обстановки пилотируемых космических аппаратов и перспективы их развития / Е.В. Дедкова – DOI:10.30533/GiA-2023-046 // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2023. – Т. 67, № 6. – С. 162–173.
4. Бойченко, И.В. Дополненная реальность: состояние, проблемы и пути решения / И.В. Бойченко, А.В. Лежанкин // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2010. – № 1(21). – Ч. 2. – С. 161–165.
5. Батырова, К.С. История дополненной реальности и перспективы ее применения в картографии / К.С. Батырова, Я.Г. Пошивайло // Вестник СГУГиТ «Картография и геоинформатика». – 2021. – Т. 26, № 5. – С. 99–105.
6. Савиных, В.П. Визуально-инструментальные исследования Земли с пилотируемого космического комплекса. – Москва: Недра, 1991. – С. 109. – ISBN 5-247-02363-3. – Текст: непосредственный.
7. Бронников, С.В. Исследование технологии и средств привязки изображений Земли, полученных с помощью свободно перемещаемых камер / С.В. Брон-

ников, Д.Ю. Карavaев, А.С. Рожков // Космическая техника и технологии. – 2016. – № 2(13). – С. 105–114.

8. Дедкова, Е.В. Создание тренажера по подготовке космонавтов к выполнению визуально-инструментальных наблюдений с борта Международной космической станции с применением современных информационных технологий / Е.В. Дедкова, Е.С. Юрченко, В.Е. Фокин. – DOI 10.34131/MSF.21.4.48-56 // Пилотируемые полеты в космос. – 2021. – № 4(41). – С. 48–56.

#### REFERENCES

1. Features of the conduction and use of the results of surveying the earth's surface, carried out by the crews of the ISS Russian Segment / M.Yu. Belyaev, L.V. Desinov, D.Yu. Karavaev, V.P. Legostaev [et al.] // Space Engineering and Technology. – 2015. – No 1(8). – P. 17–30.
2. Influence of observation parameters of the Earth's surface on the feasibility of monitoring ground-based objects during manned spaceflight / G.D. Oreshkin, E.N. Stepanov, A.A. Mitina, A.T. Mitin // Manned Spaceflight. – 2013. – No 2(7). – P. 30–42.
3. Dedkova, E.V. Means and methods of displaying the navigation situation of manned spacecraft and prospects for their development / E.V. Dedkova – DOI:10.30533/GiA-2023-046 // News of universities “Geodesy and Aerial Photography”. – 2023. – Vol. 67, No 6. – P. 162–173.
4. Boychenko, I.V. Augmented reality: status, problems and solutions / I.V. Boychenko, A.V. Lezhankin // TUSUR reports. – 2010. – No 1(21). – Part 2. – P. 161–165.
5. Batyrova, K.S., Poshivaylo Ya.G. History of augmented reality and prospects of its application in cartography / K.S. Batyrova, Ya.G. Poshivaylo // Bulletin of SSUGIT “Cartography and Geoinformatics”. – 2021. – Vol. 26, No 5. – P. 99–105.
6. Savinykh, V.P. Visual and instrumental studies of the Earth from a manned space complex. – Moscow: Nedra, 1991. – P. 109. – ISBN 5-247-02363-3. – Text: direct.
7. Bronnikov, S.V. Study of technology and means of referencing images of the Earth obtained using freely moving cameras / S.V. Bronnikov, D.Yu. Karavaev, A.S. Rozhkov // Space Engineering and Technology. – 2016. – No 2(13). – P. 105–114.
8. Dedkova, E.V. Creation of the simulator to train cosmonauts for visual instrumental observations from the International Space Station using up-to-date information technologies / E.V. Dedkova, E.S. Yurchenko, V.E. Fokin. – DOI 10.34131/MSF.21.4.48-56 // Manned Spaceflight. – 2021. – No 4(41). – P. 48–56.