

Аппаратно-программный комплекс для построения 3D-модели труднодоступных мест в режиме реального времени

*Т. Ю. Бугакова¹, И. А. Кноль¹ **

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

* e-mail: ivanknol@mail.ru

Аннотация. На текущий момент активно происходит процесс интеграции информационных технологий с геодезическими методами и средствами получения координат. Разработка принципиально новых методов геодезического мониторинга инженерных объектов в условиях аварийных ситуаций, позволяющих обеспечить оперативность и достоверность получения данных о пространственном состоянии объекта с целью их безопасного функционирования – является актуальной научно-технической задачей геодезии. Решение этой научно-технической задачи возможно путем внедрения новых интеллектуальных технологий, основанных на принципах функционирования беспилотного летательного аппарата (БПЛА), с размещённым на его борту отражательной призмы, дальномера, компактного сервера, позволяющих оперативно, в режиме реального времени получать пространственную информацию о состоянии инженерных зданий и сооружений в условиях аварийной ситуации и ограниченной доступности исполнителя к объекту для последующего оценивания возможности его безопасного функционирования.

Ключевые слова: отражательная призма, роботизированный тахеометр, БПЛА, клиент-сервер, WebGL

Hardware and software complex for building a 3D model of hard-to-reach places in real time

*T. Y. Bugakova¹, I. A. Knol¹ **

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

* e-mail: ivanknol@mail.ru

Abstract. At the moment, the process of integrating information technologies with geodetic methods and means of obtaining coordinates is actively underway. The development of fundamentally new methods of geodetic monitoring of engineering facilities in emergency situations, allowing to ensure the efficiency and reliability of obtaining data on the spatial state of the object for the purpose of their safe functioning, is an urgent scientific and technical task of geodesy. The solution of this scientific and technical problem is possible through the introduction of new intelligent technologies based on the principles of functioning of an unmanned aerial vehicle (UAV), with a reflective prism, a rangefinder, a compact server placed on its board, allowing you to quickly, in real time, receive spatial information about the state of engineering buildings and structures in an emergency and limited availability the contractor to the object for subsequent assessment of the possibility of its safe functioning.

Keywords: reflective prism, robotic total station, UAV, client-server, WebGL

Геодезисту в работе часто приходится решать задачи, связанные со сложностью доступа к месту установки вехи по ряду причин: отсутствие допуска по технике безопасности, опасная внешняя среда и другие негативные условия, из-за которых невозможно выполнить измерения, отсутствие нужной квалификации сотрудников-по-

мощников организации заказчика, что приводит к ошибкам, вызываемым человеческим фактором. Это значительно ухудшает качество выполненных работ или же возникает брак в полученных результатах геодезических измерений [1–3].

Одним из труднодоступных мест для геодезической съемки является верхняя поверхность зданий/сооружений (крыши), особенно если работы производятся в неблагоприятных или опасных для человека условиях, сопряженных с аварийными ситуациями [4].

На данный момент самым распространенным методом геодезического мониторинга верхней оболочки зданий и инженерных сооружений является использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с закрепленными на борту сканирующими лазерными системами [5–7]. Например, применение мультикоптера RiCOPTEK в комплекте со сканером RIEGL.

К недостаткам воздушного лазерного сканирования относительно области исследования можно отнести:

а) дороговизну оборудования (некоторые модели имеют стоимость более 10 млн. руб.);

б) отсутствие программных алгоритмов, позволяющих строить ЦМ в реальном времени (высокие затраты времени в процессе камеральной постобработки данных, полученных при помощи БПЛА);

в) отсутствие функционала, позволяющего объединять аппараты в группы для организации непрерывного мониторинга (при разряде батареи устройство возвращается в зону, где меняют аккумулятор, в это время наблюдение прерывается).

Авторами сформулирован новый принцип выполнения геодезических измерений верхней поверхности зданий и сооружений с применением квадрокоптеров и роботизированных электронных тахеометров.

Для решения задачи получения 3D-модели крыши объекта, предлагается применение аппаратно-программного комплекса (АПК), состоящего из роботизированного электронного тахеометра (РЭТ) и беспилотного летательного аппарата (квадрокоптера), на который монтируется отражательная призма «360°», дальномер, видеокамера, микрокомпьютер с возможностью подключения к сети Internet (рис. 1) [4,8].



Рис. 1 РЭТ (слева) и квадрокоптер (справа) – аппаратно-программный комплекс (АПК)

В качестве объекта исследования в рамках апробации функционирования АПК выбрано здание гаражного комплекса, находящееся по адресу: Новосибирская область, город Новосибирск, Ленинский район, улица Плахотного, 6.

Схема объекта с базовыми и контрольными точками представлена на рисунке 2.

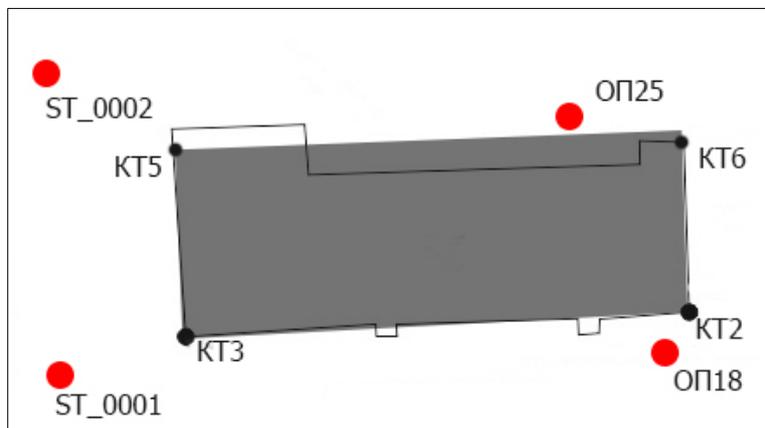


Рис. 2 Базовые и контрольные точки на схеме

За основу схемы, составленной на рисунке 2, взят ситуационный план масштаба 1:1000 (технический паспорт от 29 сентября 2011 г.). На схеме отображены базовые (ОП18, ST_0001, ST_0002, ОП25) и контрольные (КТ2, КТ3, КТ5,

КТ6) точки, измеренные при помощи РЭТ.

Определены координаты точек установки РЭТ (базовых пунктов ОП18, ST_0001, ST_0002, ОП25), соответствующие перекрестию нитей отражательной пленки на специальных пластинах, смонтированных на местности (Рис. 3). С помощью связки «РЭТ-квадрокоптер» определены пространственные координаты контрольных точек (КТ2, КТ3, КТ5, КТ6) верхней оболочки здания (крыши). По контрольным точкам построена исходная математическая плоскость, принимаемая за эталонную поверхность.



Рис. 3 Специальные пластины с отражательными пленками

В таблице 1 приведены координаты точек центров пластин и контрольных точек здания (углы крыши), полученных в результате тахеометрической съемки РЭТ с использованием отражательной призмы «З60» и телескопической вехи. Высота прибора - 1,497 м. Стандартное отклонение: Y – 0,0007 м; X – 0,0017 м; H – 0,0007 м.

Таблица 1

Координаты точек установки РЭТ (базовые) и контрольные точки

	ОП18	СТ 0001	СТ 0002	ОП25	КТ2	КТ3	КТ5	КТ6
Y, м	389,906	314,166	312,065	381,212	395,207	330,860	329,273	394,102
X, м	60,149	54,423	96,945	85,081	63,898	60,723	84,535	85,925
H, м	99,834	98,086	98,647	100,230	103,441	101,373	102,066	102,368

В работе реализован программный код, который автоматизирует процесс визуализации интерактивной модели крыши здания на основе динамического облака (множества) геопространственных данных X(t), Y(t), H(t), полученных в результате функционирования АПК, адаптированных для конвейера WebGL – специальной библиотеки веб-графики на языке JavaScript. (рис. 4) [9,10].

```

86   var vertices = [
87     0.3308600, 0.0607230, 0.1013730,
88     0.3306837, 0.0633688, 0.1014500,
89     0.3305073, 0.0660146, 0.1015270,
90     0.3303310, 0.0686603, 0.1056040,
91     0.3301547, 0.0713061, 0.1016810,
92     0.3299783, 0.0739519, 0.1017580,
93     0.3298020, 0.0765977, 0.1018350,
94     0.3296257, 0.0792434, 0.1019120,
95     0.3294493, 0.0818892, 0.1019890,
96     0.3292730, 0.0845350, 0.1020660,
97     0.3380097, 0.0610758, 0.1016028,
98     0.3451593, 0.0614286, 0.1018326,
99     0.3523090, 0.0617813, 0.1020623,
100    0.3594587, 0.0621341, 0.1022921,
101    0.3666083, 0.0624869, 0.1025219,
102    0.3737580, 0.0628397, 0.1027517,
103    0.3809077, 0.0631924, 0.1029814,
104    0.3880573, 0.0635452, 0.1032112,
105    0.3941020, 0.0859250, 0.1023680,
106    0.3942248, 0.0834776, 0.1024872,
107    0.3943476, 0.0810301, 0.1026064,
108    0.3944703, 0.0785827, 0.1027257,
109    0.3945931, 0.0761352, 0.1028449,
110    0.3947159, 0.0736878, 0.1029641,
111    0.3948387, 0.0712403, 0.1070833,
112    0.3949614, 0.0687929, 0.1032026,
113    0.3950842, 0.0663454, 0.1033218,
114    0.3952070, 0.0638980, 0.1034410,
115    0.3868988, 0.0857706, 0.1023344,
116    0.3796956, 0.0856161, 0.1023009,
117    0.3724923, 0.0854617, 0.1022673,
118    0.3652891, 0.0853072, 0.1022338,
119    0.3580859, 0.0851528, 0.1022002,
120    0.3508827, 0.0849983, 0.1021667,
121    0.3436794, 0.0848439, 0.1021331,
122    0.3364762, 0.0846894, 0.1020996

```

Рис. 4 Набор вершин шейдера WebGL

Облако точек передается в вершинный шейдер (программа построения теней), отвечающий за матричные преобразования координат, их смещения. На выходе вершинный шейдер генерирует финальные координаты вершины и передает ее для дальнейшей обработки фрагментному шейдеру, от которого зависит только цветовая составляющая, преобразуя вершины в пиксели или фрагменты (рис. 5).

С помощью технологии WebGL реализована генерация 3D модели поверхности крыши (рис. 6). Конструкция «gl_FragColor = vec4(0.0, 0.0, 1.0, 1.0)» фрагментного шейдера отвечает за окрашивание линий в синий цвет. За цвет фона отвечает атрибут «gl.clearColor(0.3, 0.4, 0.4, 0.6)» в функции «setupWebGL()». С помощью функции «handleKeyDown» происходит обработка действий пользова-

теля, стрелками клавиатуры возможно приближать или отдалять модель, поворачивать на определенный угол.

```
124
125   var indices = [
126     0,1,1,2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9 /*линия 0 - 9*/
127     ,0,10,10,11,11,12,12,13,13,14,14,15,15,16,16,17,17,27 /*линия 0 - 27*/
128     ,18,19,19,20,20,21,21,22,22,23,23,24,24,25,25,26,26,27 /*линия 18 - 27*/
129     ,18,28,28,29,29,30,30,31,31,32,32,33,33,34,34,35,35,9 /*линия 18 - 9*/
130     ,1,26,2,25,3,24,4,23,5,22,6,21,7,20,8,19 /*линии доп*/
131     ,9,0,10,35,11,34,12,33,13,32,14,31,15,30,16,29,17,28,18,27
132   ];
133
```

Рис. 5 Набор индексов шейдера WebGL

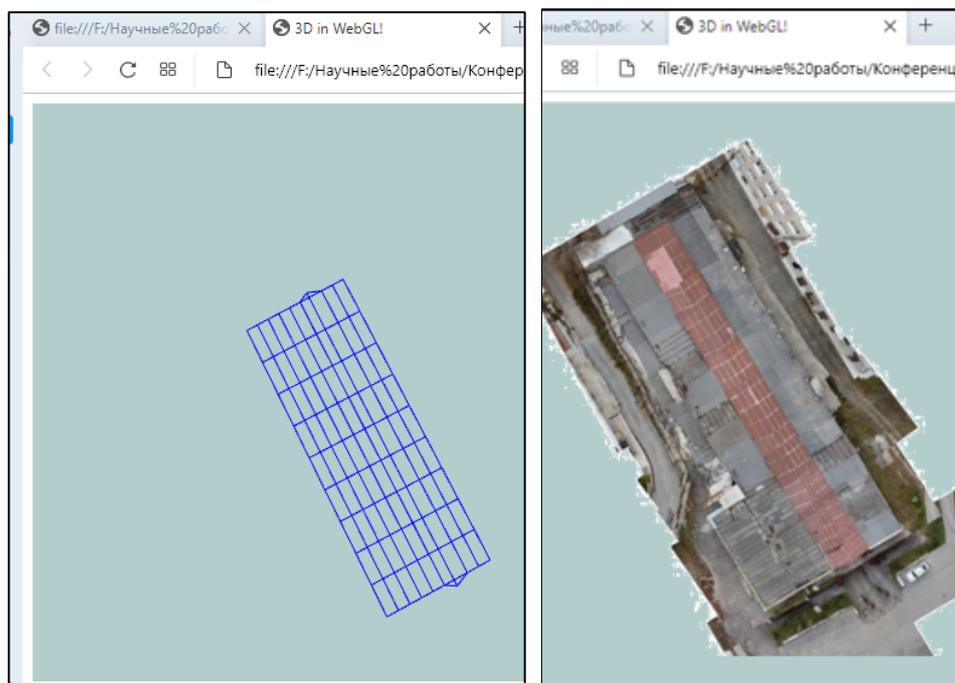


Рис. 6 Визуализация 3D-модели крыши здания в окне браузера

Эксперимент по апробации аппаратно-программного комплекса выполнен в рамках диссертационного исследования «Разработка методики геодезического мониторинга верхней оболочки зданий и инженерных сооружений на основе принципа функционирования мультиагентных систем» [10].

По результатам дальнейших экспериментов предполагается определить изменения геометрических параметров верхней оболочки здания, полученных с помощью АПК, относительно эталонной математической плоскости.

Данный АПК позволяет строить 3D-модель крыши здания в режиме реального времени. Предлагаемая методика возможна для применения в ситуациях, когда измерения при участии человека недопустимы, а объект исследования находится в труднодоступном месте.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 22.1.12-2005 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – 2019. – Режим доступа: <https://meganorm.ru/Data/47/4774.pdf>. – Загл. с экрана
2. ГОСТ 31937–2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния [Текст]. – М. : Стандартинформ, 2014
3. СП 255.1325800.2016 «Здания и сооружения. Правила эксплуатации. Основные положения»
4. Бугакова Т. Ю., Шляхова М. М., Кноль И. А. Структурная декомпозиция объекта методами математического моделирования с последующей визуализацией на основе WebGL. Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 18– 22 апреля 2016 г.). – Новосибирск: СГУГиТ, 2016. Т. 1. – С. 142 –147.
5. Астапов А. М., Баранников Д. А., Сальников В. Г., Тюндешева А. Ш., Применение БПЛА в качестве подвижной вехи. Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2022. XVIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 1 т. (Новосибирск, 18–20 мая 2022 г.). – Новосибирск: СГУГиТ, 2016. Т. 1. – С. 45 – 50.
6. Наземное лазерное сканирование [Текст] : монография / А. В. Середович, А. В. Комиссаров, Д. В. Комиссаров, Т. А. Широкова. – Новосибирск: СГГА, 2009. – 261 с.
7. Уставич, Г. А. Геодезия. В 2-х кн. Кн. 1 [Текст] : учебник для вузов / Г. А. Уставич. – Новосибирск: СГГА, 2012. – 352 с.
8. Юревич Е.И. Управление роботами и робототехническими системами. — СПб.: Изд. СПбГПУ. 2001.
9. Введение в WebGL. Мобильные браузеры и платформы [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://metanit.com/web/webgl/1.1.php>.
10. IoT Products and Services Digi International [Electronic resource]. – 2019. Mode of access: <http://www.digi.com/> . – Tit. from the screen.

© Т. Ю. Бугакова, И. А. Кноль, 2023