

# ГЕОДЕЗИЯ И МАРКШЕЙДЕРИЯ



УДК 528.482:623.746.4-519

DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-4-5-15

## Способ определения крена дымовой трубы с помощью беспилотной авиационной системы

*А. М. Астапов<sup>1</sup>*✉

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,  
Российская Федерация

e-mail: andrey\_astapov@inbox.ru

**Аннотация.** Целью исследования является разработка способа определения крена дымовых труб с помощью беспилотной авиационной системы (БАС). В статье рассматривается технологическая схема определения крена промышленных труб с помощью БАС и её апробация на дымовой трубе котельной высотой 60 м. Значения кренов дымовой трубы, полученные способом БАС и координатным способом, различаются в пределах 8–10 мм, значения составляющих кренов – в пределах 25–30 мм. Максимальная разность плановых координат сечений не превышает 20 мм. Значения радиусов сечений различаются в пределах 7–10 мм. Фактическая ошибка построения модели – 52 мм, что соответствует допустимой погрешности измерений 60 мм. Данный способ можно применить для определения крена железобетонных градирен, имеющих высоту 170–180 м.

**Ключевые слова:** создание обоснования, опорные и контрольные точки, съемка с помощью БАС, автоматизация полевых измерений и камеральной обработки, фактический крен промышленной трубы

### Для цитирования:

*Астапов А. М.* Способ определения крена дымовой трубы с помощью беспилотной авиационной системы // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 4. – С. 5–15. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-4-5-15

### *Введение*

Для надежного функционирования объектов промышленности необходим регулярный геодезический мониторинг зданий и сооружений, в частности требуется определять геометрические параметры дымовых труб, к которым относится и крен трубы. Определение крена дымовой трубы является сложным и трудоемким процессом, требующим многочисленных измерений в поле и значительного объема камеральной обработки.

Основными факторами, оказывающими влияние на выбор методики и средств измерений, при определении крена дымовых труб, являются [1]:

- форма и размеры, а также тип материала конструкции зданий и сооружений;
- точность геодезических измерений;
- периодичность проведения деформационного мониторинга;
- условия промплощадки при выполнении полевых измерений.

Вышеуказанные факторы оказывают влияние на возможность размещения контроль-

ных точек и их местоположение, а также на выбор методики деформационного мониторинга. Размеры объекта влияют на выбор средств измерений, а материал конструкции – на выбор и закрепление контрольных точек [2, 3].

К настоящему времени разработан целый ряд способов определения крена сооружений башенного типа: вертикального проецирования, измерения горизонтальных углов, малых углов, направлений, координат и т. д.

Необходимо отметить, что применение существующих способов в условиях загруженной инженерными сооружениями промышленной площадки приводит к значительному увеличению объема полевых и камеральных работ или вовсе к невозможности выполнения геодезических работ. В связи

с этим, разработка новых способов определения кренов дымовых труб является актуальной задачей.

Цель исследования – разработать способ определения крена дымовой трубы с помощью БАС и выполнить его практическую апробацию.

### Методика измерений

Для определения крена промышленной трубы в условиях загруженной инженерными сооружениями промышленной площадки разработан способ определения крена дымовой трубы с помощью БАС [4], который описывается технологической схемой (рис. 1) и состоит из двух ключевых этапов: полевого и камерального.



Рис. 1. Технологическая схема определения крена промышленных труб с помощью БАС

**Полевой этап** начинается с создания *плано-высотного обоснования (ПВО)*. Способ создания ПВО должен обеспечивать СКО определения координат пунктов не хуже 5,0–7,0 мм (рис. 2), при этом необходимо обеспечить переход ПВО к системе координат WGS 84 [5].

Плано-высотное обоснование было создано наземными технологиями при помощи тахеометра с одной станции ST01 в условной системе координат, в результате получено 13 координатных марок (OP1 – OP13) и два

наземных пункта в виде дюбель-гвоздей, забитых в асфальт (Sp1, Sp2).

С целью обеспечения перевода пунктов ПВО в систему координат WGS 84, на пунктах Sp1 и Sp2 выполнены спутниковые измерения в режиме «статика». После камеральной обработки в Trimble Business Center и преобразования пунктов в прямоугольную систему координат WGS 84/UTM zone 44 N был получен каталог координат исходных пунктов.



Рис. 2. Схема плано-высотного обоснования на территории промплощадки

С целью получения эталонных измерений, с трех станций ST02, ST03 и ST04 тахеометром определен крен дымовой трубы способом координат. В результате были получены ко-

ординаты центров сечений (X,У,Н), на основании которых вычислены крены и их составляющие (табл. 1) и построены графики кренов.

Таблица 1

Вычисление значений кренов и их составляющих на основании сечений, полученных способом координат

Н от основ (м)	X (м)	Y (м)	H (м)	R (м)	Крен X (мм)	Крен Y (мм)	Крен (мм)
0	6096113,472	594404,117	97,522	3,316	0	0	0
21,19	6096113,462	594404,110	118,712	2,802	-10	-7	12
44,52	6096113,479	594404,087	142,042	2,335	7	-30	31
57,41	6096113,507	594404,148	154,932	2,093	35	31	47

Второй полевой этап – *проектирование маршрута аэрофотосъемки и создание полетного задания* (см. рис. 1). На данном этапе оцениваются условия выполнения аэрофотосъемки трубы, а также выявляются опасные зоны полета, в которых может произойти

столкновение БАС с другими инженерными сооружениями (здания, ЛЭП, воздушные коммуникации и т. д.).

Проектирование маршрута аэрофотосъемки выполняется в специализированном ПО. Учитывая геометрическую форму снимае-

мого объекта, траектория маршрута будет представлена в виде набора окружностей, теоретические координаты центра которых должны быть одинаковы в плане, но разные по высоте [6]. Пример запроектированного полетного задания показан на рис. 3.

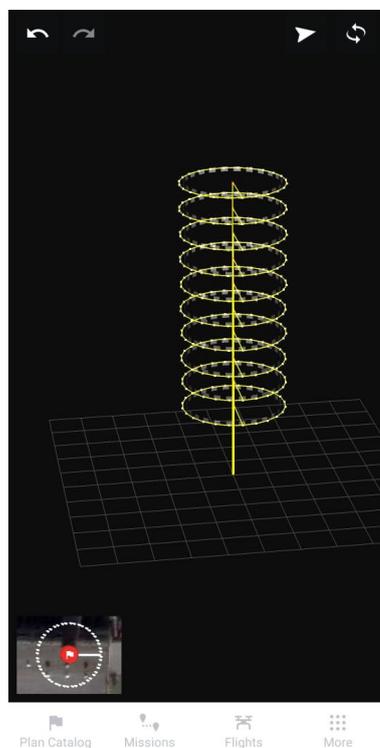


Рис. 3. Пример запроектированного полетного задания

Построение корректной информативной модели дымовой трубы получается при значении продольного и поперечного перекрытия не менее 80 % [7]. Исходя из выше указанных значений перекрытий, рассчитывается:

- минимальная скорость полета БАС;
- минимальный интервал фотографирования;
- радиусы и высоты окружностей полета.

Применение современного ПО полностью автоматизирует процесс проектирования маршрута [8]. На этапе проектирования оценивается количество снимков, которое будет получено в процессе аэрофотосъемки.

Качество результатов аэрофотосъемки и время выполнения полевого этапа съемки значительно зависят от погодных условий. При проектировании маршрута съемки необ-

ходимо учитывать влияние погодных факторов. Например, при сильном ветре возможно колебание БАС, при отрицательной температуре быстрее садится батарея и т. д. [9].

Проектирование маршрута аэрофотосъемки с рассмотренными выше параметрами и требованиями выполнено в специализированном ПО Drone Harmony. В результате получено полетное задание в виде набора окружностей радиусом 15 м и с шагом по высоте 5 м (рис. 3).

Третий полевой этап – создание опорных и контрольных марок дымовой трубы (см. рис. 1). Координирование марок на внешней стороне трубы осуществляется тахеометрическим способом. Марки подразделяются на два типа: опорные и контрольные. Опорные марки используются в процессе вычисления элементов внутреннего и внешнего ориентирования снимков. Контрольные марки не используются в вышеописанных процессах и предназначаются для оценки ошибки построенной модели. Расположение опорных и контрольных марок, а также их число обуславливаются геометрией сооружения. Сечение дымовой трубы является окружностью, описываемой тремя точками, следовательно, создаются три колонны вертикально расположенных марок (рис. 4). Марки не обязаны строго располагаться на одной высоте и могут выходить за пределы ряда, не более 0,5 м. Расстояние между группами опорных марок должно составлять 10–20 % от высоты трубы, обеспечивая наличие на снимке минимум двух рядов опорных марок. Между группами опорных марок располагаются 1–2 контрольные марки [4, 10, 11].

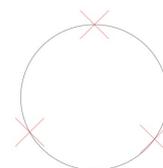


Рис. 4. Расположение колонн опорных марок

В качестве марок были выбраны края скоб металлических стяжек. Всего было закоординировано 18 опорных и 8 контрольных точек (рис. 5).

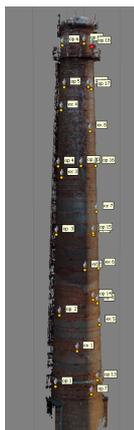


Рис. 5. Расположение опорных и контрольных точек

Четвертый полевой этап – *импорт полетного задания* (см. рис. 1). Готовое полетное задание импортируется в контрольное устройство БАС. Необходимо удостовериться, что изначально запроектированные параметры импортированы успешно.

Пятый полевой этап – *выполнение полетного задания* (см. рис. 1). БАС приводится в рабочее состояние на точке взлета, местоположение которой должно обеспечивать открытый горизонт в радиусе 50 м и обеспечивать отсутствие объектов, излучающих электромагнитные волны (ЛЭП, антенные опоры и т. д.).

Запустив выполнение полетного задания, БАС в автоматическом режиме поднимается на проектную высоту и следует в первую точку маршрута, в которой выполняется остановка полетного задания (постановка на паузу), или, на этапе проектирования полетного задания, задается остановка на определенный временной промежуток, необходимый для настройки параметров камеры [8, 9].

Цифровой снимок определяется следующими важными характеристиками:

- ISO – светочувствительностью матрицы, т. е. коэффициент усиления сенсора;
- выдержкой – временем, за которое сенсор улавливает свет (регулируется механически или электронным образом);
- диафрагмой – коэффициентом открытости объектива во время съемки (регулируется диафрагмой);
- экспозицией – количеством полученного света основным сенсором.

При настройке параметров фотокамеры устанавливается оптимальный баланс между ISO, диафрагмой и выдержкой, т. е. цифровой снимок должен обладать умеренным и достаточным освещением (быть немного затененным). Для этого необходимо придерживаться значений параметров фотокамеры, приведенных в табл. 2 [12].

Таблица 2

Значения параметров фотокамеры

Параметр	Значение
Экспозиция	от -0,3 до 0,0
ISO	100 – 200 (солнечно – пасмурно)
Диафрагма (Appertura)	от F/2,8 до F/4,0
Выдержка (Shutter)	от 1/1 600 до 1/640.

После возобновления полетного задания (снятия с паузы) или окончания времени остановки БАС начнет аэрофотосъемку объекта.

В результате аэрофотосъемки дымовой трубы получено 754 цифровых снимка.

**Камеральный этап** начинается с *экспорта цифровых снимков в специализированное ПО* (см. рис. 1). Полученные цифровые снимки переносятся с накопителя БАС на ПК, где осуществляется импорт в специализированное ПО, в котором происходит весь этап камеральной обработки [8, 9].

Второй камеральный этап – *внутреннее и внешнее ориентирование снимков* (см. рис. 1) выполняется во время выполнения процедуры выравнивания снимков. Результаты выравнивания отображаются в виде облака связующих точек (результат триангуляции позиций характерных точек, выявленных на снимках) [8, 9].

Третий камеральный этап – *добавление опорных и контрольных точек на цифровые снимки* (см. рис. 1) начинается с импорта каталога опорных и контрольных точек в рабочий проект, которые необходимо в ручном режиме переместить в фактическое местоположение на каждом снимке. Данный этап является самым трудоемким во всей камеральной обработке аэрофотосъемки.

Четвертый камеральный этап – *исключение ошибочных точек из разряженного облака точек* (см. рис. 1). Из облака связующих точек необходимо исключить точки, определенные с большой ошибкой репроецирования и низкой точностью определения положения. В нашем случае для дымовой трубы коэффициент ошибки репроецирования равен 0,2, а коэффициент точности определения положения равен 20.

Пятый камеральный этап – *уточнение элементов внутреннего и внешнего ориен-*

*тирования* (см. рис. 1). После вычисления уточненных параметров внутреннего и внешнего ориентирования, этап выравнивания снимков повторяется с уточненными параметрами камеры. В результате получается разряженное облако связующих точек с максимальной точностью. На данном этапе происходит оценка точности цифровой модели [8, 9]. Значения ошибок построения модели по опорным точкам приведены в табл. 3, по контрольным точкам – в табл 4.

Таблица 3

Ошибки построения модели по опорным точкам

№ точки	Ошибка восток	Ошибка север	Ошибка высота	Ошибка
op1	-0,005	0,004	-0,023	0,024
op2	0,001	-0,002	-0,011	0,011
op3	-0,001	0,004	-0,021	0,021
op4	-0,012	-0,001	-0,013	0,018
op5	-0,005	0,006	0,003	0,008
op6	0,011	-0,001	-0,016	0,019
op7	0,005	0,006	-0,004	0,009
op8	-0,007	0,004	-0,010	0,012
op9	-0,012	0,007	-0,006	0,015
op10	0,011	-0,003	0,003	0,011
op11	-0,010	0,005	-0,004	0,012
op12	-0,005	0,003	0,007	0,009
op13	-0,011	0,002	0,009	0,014
op14	0,008	-0,005	0,011	0,014
op15	0,008	-0,001	-0,018	0,020
op16	-0,003	-0,005	-0,006	0,009
op17	0,010	0,004	-0,014	0,018
op18	0,005	0,000	-0,021	0,021
Итого	0,007	0,003	0,011	0,014

Таблица 4

Ошибки построения модели по контрольным точкам

№ точки	Ошибка восток	Ошибка север	Ошибка высота	Ошибка
kk1	0,010	0,014	0,053	0,056
kk2	0,021	-0,018	0,052	0,059
kk3	-0,024	0,016	-0,050	0,057
kk4	0,021	-0,016	0,042	0,050
kk5	-0,019	-0,017	0,038	0,045
kk6	0,020	0,016	-0,036	0,044
kk7	0,015	-0,017	-0,058	0,062
kk8	0,018	-0,017	-0,038	0,046
Итого	0,018	0,016	0,046	0,052

Фактическая ошибка построения модели – 52 мм, что соответствует допустимой погрешности измерений 60 мм [13].

Шестой камеральный этап – *построение плотного облака точек* (см. рис. 1), которое происходит в автоматическом режиме в высоком качестве (рис. 6). Данный этап не требует вмешательства исполнителя в процесс выполнения построений, основная нагрузка ложится на ПК, на котором происходит обработка данных аэрофотосъемки [8, 9].



Рис. 6. Плотное облако точек

Седьмой камеральный этап – *построение сечений* (см. рис. 1). Сечение получают в результате аппроксимации окружностью точек, принадлежащих внешней поверхности дымовой трубы и обладающих одним значением высоты.

На основании плотного облака точек, с целью выполнения оценки точности способа

БАС, были построены четыре сечения, обладающие той же высотой, что и сечения, вычисленные способом координат. Первоначально необходимо провести фильтрацию облака точек по критерию высоты (рис. 7, а). Далее полученная выборка точек аппроксимируется окружностями (рис. 7, б).

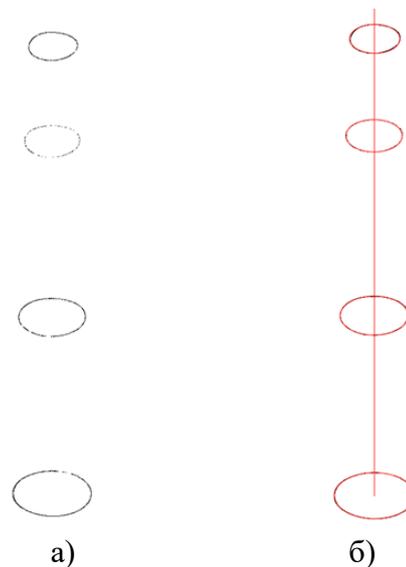


Рис. 7. Построение сечений

Восьмой камеральный этап – *вычисление кренов сооружения* (см. рис. 1) происходит на основании плановых координат полученных сечений по формуле [14, 15]:

$$Q_i = \sqrt{(X_i - X_0)^2 + (Y_i - Y_0)^2}, \quad (1)$$

где  $X_i$  и  $Y_i$  – координаты сечения;  $X_0$  и  $Y_0$  – координаты сечения у основания трубы. В результате определены координаты центров сечений ( $X, Y, H$ ), на основании которых вычислены крены и их составляющие, табл. 5.

Таблица 5

Вычисление кренов и их составляющих на основании сечений, полученных способом БАС

$H$ от основ (м)	$X$ (м)	$Y$ (м)	$H$ (м)	$R$ (м)	Крен $X$ (мм)	Крен $Y$ (мм)	Крен (мм)
10,80	6 096 113,462	594 404,124	97,522	3,317	0	0	0
29,19	6 096 113,446	594 404,113	115,906	2,814	-16	-11	19
47,52	6 096 113,459	594 404,098	134,240	2,329	-3	-26	26
57,41	6 096 113,502	594 404,128	144,128	2,082	39	4	40

Результат сравнения значений кренов и координат сечений, полученных способами БАС и координат, приведен в табл. 6.

Таблица 6

Результат сравнения значений кренов и координат сечений, полученных способом БАС и способом координат

H (м)	dX (мм)	dY (мм)	dR (мм)	dkрен (мм)
97,522	10	-8	-1	0
115,906	13	5	-11	-7
134,240	15	22	6	5
144,128	-14	-28	11	7

### Выводы

Разработан способ определения крена дымовой трубы с помощью БАС. Способ включает два основных этапа: полевой и камеральный, каждый из которых состоит из ряда относительно самостоятельных частных этапов: в полевом этапе таковых нами выделено пять; в камеральном этапе – девять.

Практическая апробация разработанного способа показала, что фактическая ошибка построения модели объекта исследования составила 52 мм, что соответствует допустимой погрешности измерений 60 мм [13].

При сравнении значений кренов объекта, полученных способом БАС, с контрольными значениями, полученными способом координат, установлено:

– значения кренов различаются в пределах 8–10 мм;

– значения составляющих кренов различаются в пределах 25–30 мм;

– максимальная разность плановых координат сечений объекта не превышает 20 мм;

– значения радиусов указанных сечений различаются в пределах 7–10 мм.

Таким образом, предлагаемый способ определения крена дымовых труб с использованием БАС обеспечивает необходимую точность. Способом БАС, одновременно с определением крена, выявляются также повреждения и деформации внешней поверхности трубы: трещины, отслоения облицовки, состояние световых площадок.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шеховцов Г. А., Шеховцова Р. П. Современные геодезические методы определения деформаций инженерных сооружений: монография. – Н. Новгород : ННГАСУ, 2009. – С. 156.
2. Жуков Б. Н. Руководство по геодезическому контролю сооружений и оборудования промышленных предприятий при их эксплуатации. – Новосибирск : СГГА, 2004. – 376 с.
3. Найденов Д. А. Общность способов определения кренов башенных сооружений геодезическими методами // Геодезическое обеспечение строительства. – М. : 1987. – С. 114–120.
4. Способ определения кренов дымовых труб с помощью беспилотного летательного аппарата : пат. 2 808 389 Рос. Федерация № 2023108302 ; заявл. 04.04.2023 ; опубл. 28.11.2023 Бюл. № 34.
5. Уставич Г. А., Иванов А. В., Горилько А. С., Астапов А. М. Методика производства инженерно-геодезических работ для создания 3D-модели архитектурных объектов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVII Междунар. науч. конгр., 19–21 мая 2021 г., Новосибирск : сб. материалов в 8 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. – С. 49–56.
6. Радченко Е. С. Высотное обследование дымовых труб с использованием беспилотника // Вестник промышленности, бизнеса и финансов. – 2020. – № 6. – С. 74–76.
7. Михеевой А. А., Ялтыхова В. В.: учеб.-метод. комплекс для студ. спец. 1-56 02 01 «Геодезия». – Новополюк : ПГУ, 2006. – 320 с.
8. Хлебникова Т. А., Горилько А. С., Астапов А. М. Разработка методики создания цифровых инженерно-топографических планов с использованием материалов съемки беспилотной авиационной системы на малых высотах // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVII Междунар. науч. конгр., 19–21 мая 2021 г., Новосибирск : сб. материалов в 8 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф.

«Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. – С. 57–64.

9. Уставич Г. А., Хлебникова Т. А., Астапов А. М. Разработка технологической схемы создания вертикальных топографических планов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVIII Междунар. науч. конгр., 18–20 мая 2022 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2022. – С. 57–63.

10. Соустин В. Н. О методах определения радиуса и координат центра сооружений, имеющих в плане форму круга // Геодезия и картография. – 1970. – № 12. – С. 40–43.

11. Кислый И. М., Сова В. С. Определение центра инженерного сооружения цилиндрической или конусообразной формы // Геодезия и картография. – 1963. – № 9. – С. 29–31.

12. TOPODRONE DJI MAVIC 2 PRO L1/L2 PPK : Руководство пользователя. – М. – 44 с.

13. СП 126.13330.2017. Геодезические работы в строительстве Актуализированная редакция СНиП 3.01.03–84. – М. : Стандартинформ, 2018. – 53 с.

14. Середович А. В. Построение цифровых топографических планов объектов нефтедобычи с применением наземного лазерного сканирования. // ГЕО-Сибирь-2006. Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 24–28 апреля 2006 г.). – Новосибирск : СГГА, 2006. Т. 1, ч. 2. – С. 160–164.

15. Никонов А. В., Никонов В. Г. Современные способы определения кренов промышленных дымовых труб // Геодезия и картография. – 2015. – № 5. – С. 13–21.

### Об авторах

*Андрей Михайлович Астапов* – аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Получено 11.06.2024

© А. М. Астапов, 2024

### Method for determining chimney roll using an unmanned aerial system

*A. M. Astapov*<sup>1✉</sup>

<sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

e-mail: andrey\_astapov@inbox.ru

**Abstract.** The purpose of the study is to develop a method for determining the roll of chimneys using an unmanned aircraft system (UAS). The article discusses a technological scheme for determining the roll of industrial pipes using a UAS and its testing on a boiler room chimney 60 meters high. The values of chimney rolls obtained by the BAS method and the coordinate method differ within 8 – 10 mm, the values of the roll components within 25 - 30 mm. The maximum difference in the plan coordinates of the sections does not exceed 20 mm. The values of the section radii vary within 7 – 10 mm. The actual error in constructing the model is 52 mm, which corresponds to the permissible measurement error of 60 mm. This method can be used to determine the roll of reinforced concrete cooling towers with a height of 170 - 180 m.

**Keywords:** creation of justification, reference and control points, survey using UAS, automation of field measurements and office processing, actual roll of an industrial pipe

## REFERENCES

1. Shekhovtsov, G. A., & Shekhovtsova, R. P. (2009). *Sovremennyye geodezicheskie metody opredeleniya deformatsiy inzhenernykh sooruzheniy [Modern geodetic methods for determining deformations of engineering structures: monograph.]* – N. Novgorod: NNGASU, 2009., 156 p. [in Russian].
2. Zhukov, B. N. (2004). *Rukovodstvo po geodezicheskomu kontrolyu sooruzheniy i oborudovaniya promyshlennykh predpriyatiy pri ikh ekspluatatsii [Guidelines for geodetic control of structures and equipment of industrial enterprises during their operation.]* – Novosibirsk: SGGGA, 2004., 376 p. [in Russian].
3. Naydenov, D. A. Commonality of methods for determining the tilt of tower structures by geodetic methods. *Geod. provision of resources [Geod. provision of resources.]* – Moscow, 1987., 114–120. [in Russian].
4. Astapov, A. M., Kosarev, N. S., & Ustavich, G. A.. *Patent RF No. 2 808 389*. Novosibirsk: IP Russian Federation.
5. Ustavich, G. A., Ivanov, A. V., Gorilko, A. S., & Astapov, A. M. (2020). Methods for producing engineering and geodetic works to create a 3D model of architectural objects. *In GEO-Sibir-2020. XVII Mezhdunar. nauch. konf.: sb. materialov v 8 t. [GEO-Siberia-2020. XVII International scientific conf.: Sat. materials in 8 volumes]*, 49–56. Novosibirsk: SGUGiT Publ. [in Russian].
6. Radchenko, E. S. (2020). High-altitude inspection of chimneys using a drone. *Vestnik promyshlennosti biznesa I finansov [Bulletin of industry, business and finance.]*, 6., 74–76 [in Russian].
7. Mikheeva, A. A., & Yaltykhova, V. V. (2006). *Ucheb. metod. kompleks dlya stud. spets. 1-56 02 01 «Geodeziya» [Textbook. method. complex for students specialist. 1-56 02 01 “Geodesy”]*. Novopolotsk., 320 p. [in Russian].
8. Khlebnikova, T. A., Gorilko, A. S., & Astapov, A. M. Development of a methodology for creating digital engineering topographic plans using materials from shooting an unmanned aircraft system at low altitudes. *GEO-Sibir-2021. XVII Mezhdunar. nauch. konf.: sb. materialov v 8 t. [GEO-Siberia-2021. XVII International scientific conf.: Sat. materials in 8 volumes]*, 57–64. Novosibirsk: SGUGiT, 2021. [in Russian].
9. Ustavich, G. A., Khlebnikova, T. A., & Astapov, A. M. Development of a technological scheme for creating vertical topographic plans. *Interexpo GEO-Sibir. XVIII Mezhdunar. nauch. kongr., 18–20 maya 2022 g., Novosibirsk : sbornik materialov v 8 t. T. 1 : Mezhdunar. nauch. konf. «Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, marksheyderiya». [Interexpo GEO-Siberia. XVIII Intl. scientific congress., May 18–20, 2022, Novosibirsk: collection of materials in 8 volumes. T. 1: International. scientific conf. “Geodesy, geoinformatics, cartography, surveying.]*, 57–63, Novosibirsk: SGUGiT, 2022. [in Russian].
10. Soustin, V. N. (1970). On methods for determining the radius and coordinates of the center of structures that have a circular shape in plan. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 12., 40–43. [in Russian].
11. Kislyi, I. M., Sova, V. S. (1963) Determination of the center of an engineering structure of a cylindrical or cone shape. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 9., 29–31. [in Russian].
12. TOPODRONE DJI MAVIC 2 PRO L1/L2 PPK USER MANUAL., Moscow., 44 [in Russian].
13. SP 126.13330.2017 GEODETIC WORK IN CONSTRUCTION Updated edition of SNiP 3.01.03—84. *Standartinform [Standartinfor]*. [in Russian].
14. Seredovich, A. V. (2006) *Construction of digital topographic plans of oil production facilities using ground-based laser scanning. Sbornik materialov GEO-Sibir'-2006: T. 1, ch. 2 [Proceedings of GEO-Siberia-2006: Vol. 1, Part 2] pp. 160–164.* [in Russian].
15. Nikonov, A. V., Nikonov, V. G. (2015) Modern methods for determining the roll of industrial chimneys. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 5., 13–21. [in Russian].

**Author details**

*Andrej M. Astapov* – Ph. D. Student.

Received 11.06.2024

© *A. M. Astapov*, 2024