

УДК 528.3:629.7

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-1-27-36

Проектирование локальной геодезической сети для контроля геометрических параметров объектов авиастроительной отрасли

П. О. Палкин¹✉, М. Г. Мустафин²

¹Акционерное общество «ПРИН», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

²Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

e-mail: paulpalkine@gmail.com

Аннотация. В статье обоснована актуальность и необходимость применения геодезических методов для контроля геометрических параметров летательных аппаратов и оснастки, предназначенной для их сборки. Предложена классификация локальных геодезических сетей (ЛГС) исходя из их назначения, расположения пунктов на соответствующем технологическом оборудовании и необходимой точности определения их параметров. Обосновано применение локальных геодезических сетей и приведены современные измерительные технологические средства, позволяющие достигать установленной нормативной точности определения параметров объектов авиастроительной отрасли с учетом жизненного цикла летательного аппарата. Определены условия расположения пунктов локальных геодезических сетей. Подробно рассмотрена конструкция пунктов, позволяющая обеспечить необходимую точность установки визирной цели, исходя из заданной нормативной точности определения параметров самолета на этапе его сборки. Для каждого типа построения локальной геодезической сети определяются: технический класс точности, точные ЛГС, высокоточные ЛГС, способы закрепления пунктов.

Ключевые слова: геометрические параметры, абсолютный лазерный трекер, геодезическая сеть, геодезический пункт, полярный метод

Для цитирования:

Палкин П. О., Мустафин М. Г. Проектирование локальной геодезической сети для контроля геометрических параметров объектов авиастроительной отрасли // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 1. – С. 27–36. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-1-27-36

Введение

Выверка оборудования и изделий является первостепенной задачей: качество этих работ определяет соответствие проектным данным и качество сборки конструкций в целом. Во всех отраслях машиностроения очень много внимания уделяется выверке деталей, узлов, станков, приспособлений, машин и механизмов, используемых в производственных процессах. В машиностроении важно контролировать пространственное положение всех элементов изделий при их сборке и эксплуатации [1].

Одним из основных условий безопасной и долговременной эксплуатации летательных

аппаратов является соблюдение проектных геометрических параметров при строительстве самолета. Следует выделить следующие этапы жизненного цикла самолета, в течение которых необходимо осуществлять контроль геометрии летательного аппарата:

- строительство/сборка;
- эксплуатация;
- реконструкция.

Сборка самолета производится с использованием специальной оснастки, которая в дальнейшем служит для взаимного позиционирования деталей, узлов и агрегатов самолета. В ходе эксплуатации необходимо отслеживать положение контрольных точек самолета с целью обнаружения деформаций, вы-

званных нагрузками при взлетах и посадках самолета, и предупреждения разрушения [1].

При реконструкции, как правило, обновляются навигационные комплексы летательных аппаратов, устанавливается новое вооружение на воздушные корабли. Для данных видов работ, согласно технической документации, необходимо приводить самолет в горизонтальное положение по нивелирным точкам [1, 2].

Контроль геометрических параметров сборочной оснастки и летательных аппаратов, выполняемый на всех этапах жизненного цикла объекта, в связи с большими габаритными размерами изделий, взаимное расположение компонентов которых необходимо определить с прецизионной точностью, выполняется с нескольких станций наблюдений [3, 4]. Для объединения всех измерений в единую систему координат необходимо создавать локальные геодезические сети, пункты которых необходимо закреплять с точностью, соответствующей точности выполняемых измерительных работ.

Применяемые методы и средства контроля геометрических параметров

Для проведения вышеописанных видов работ используются как оптико-механические приборы, так и роботизированные электронные средства измерений. К классическим приборам стоит отнести точные теодолиты, высокоточные нивелиры, приборы ППС, автоколлиматоры, квадранты. Выбор типа оборудования и класса точности осуществляется на основании требований к точности при контроле геометрических параметров объектов и параметров геодезического оборудования. К роботизированным средствам относятся абсолютные лазерные трекары и высокоточные роботизированные тахеометры [3].

На современном этапе развития инженерной геодезии наиболее технологичным и универсальным методом определения реальной формы поверхности, взаимного положения элементов конструкции крупногабаритного объекта сложной формы является координатоопределяющая технология [4]: на исследуемой поверхности объекта с помощью координатоопределяющей системы определяют пространственные координаты контрольных

точек (или значительного количества точек – облака точек), что позволяет вычислить необходимые геометрические характеристики обмеряемой конструкции.

Подобная схема обмера обладает высокой гибкостью, позволяя однообразно определять следующие геометрические параметры: длина, ширина, радиус кривизны, положение и ориентация в пространстве, перемещение, деформация, соответствие заданной форме и др. При необходимости получаемые при этом результаты позволяют с высокой достоверностью строить САД-модель поверхности объекта сложной формы [4].

Учитывая оперативность проведения измерений – в реальных производственных условиях, – в режиме реального времени могут быть выявлены критические отклонения от проектных геометрических характеристик (соосность, перпендикулярность, плоскостность, цилиндричность, положение, взаимная ориентация и др.) и применены мероприятия, сводящие к минимуму вредное воздействие нештатной геометрии отдельного элемента на качество монтажа сборочных приспособлений и на сборку всего летательного аппарата.

Согласно технической документации средства измерений не регламентируются, оговариваются лишь требования к их точности [1]. В этой связи представляется рациональным использование абсолютных лазерных трекаров и роботизированных тахеометров.

Локальные геодезические сети. Классификация

Конструкция летательного аппарата, а также цеховое оборудование не позволяют выполнить измерения с одной точки стоянки прибора в связи с отсутствием прямой видимости на объекты, которые необходимо измерять.

Выполнять измерения в единой системе координат с различных станций возможно после создания геодезической сети специального назначения [5].

Основным условием выбора положения пункта геодезической сети является наличие прямой видимости на него с различных станций прибора. Также следует учитывать тип

конструкции, где закрепляется исходный пункт, назначение работ, требуемая точность, измерительный объем [6, 7].

Для обеспечения необходимой и достаточной точности, а также в целях оптимизации времени, затрачиваемого на подготовительные работы, предлагается ввести классификацию локальных геодезических сетей по измерительному объему и по точности, которую необходимо обеспечивать при геодезических работах. Параметры классификации сетей представлены в табл. 1.

При выверке используют различные нормативные документы, регламентирующие измерения. Геодезическим службам удобно оперировать лишь точностью измерений, и, если ввести классификацию, которая носила бы общий характер, она помогла бы провести оптимизацию измерительного процесса. Поэтому в настоящей статье были проанализированы три вида работ, на основе которых выделены классы измерений.

На основе анализа литературы [1] были выведены классы точности.

Таблица 1

Классификация локальных геодезических сетей специального назначения по точности и расположению пунктов

Наименование сети	Высокоточная	Точная	Техническая
Точность выполняемых работ, мм	$[\pm 0,2 - \pm 0,5)$	$[\pm 0,5 - \pm 1,0)$	$[\pm 1,0 - \pm 20,0)$
Расположение пунктов сети	Поверхность малогабаритной сборочной оснастки	Несущие элементы крупногабаритной сборочной оснастки и цеха, расположенные в непосредственной близости к объекту	Несущие элементы цеха, где производятся измерения собранных летательных аппаратов

Геодезические сети специального назначения технического класса точности следует закреплять в цехах обслуживания летательных аппаратов, где измеряют непосредственно поверхность самого самолета. Такие измерения осуществляются после финальной сборки воздушного судна для контроля геометрических параметров самолета и взаимного положения узлов и агрегатов, в процессе эксплуатации машины для наблюдений за деформациями по контрольным (нивелирным) точкам, при реконструкции самолета для его установления в положение, регламентируемое отраслевыми стандартами и технической документацией [8].

Разница между фактическим положением контролируемой точки исследуемого объекта и ее проектным значением не должна превышать 1–20 мм, следовательно, опорные геодезические сети должны обеспечивать возможность позиционирования прибора со средней квадратической ошибкой не более 0,5 мм. Основное требование к положению пунктов сети – видимость не менее 5 пунктов с известными координатами во всем измерительном объеме из любой точки цеха.

Геодезическую сеть следует закреплять на неподвижных и недеформируемых конструкциях, несущих элементах.

Точные сети следует развивать в цехах, где осуществляется сборка крупных агрегатов: секций, крыльев, килей, стабилизаторов и пр. Известно, что эти элементы собираются с использованием стапелей (рис. 1), которые состоят из несущих рам, ложементов, рубильников и прочих рабочих поверхностей.



Рис. 1. Стапель для сборки панели самолета:
1 – несущая рама; 2 – ложементы

Предельное значение расхождения фактического и проектного положения контролируемых точек объекта колеблется в диапазоне от 0,5 до 1,0 мм, следовательно, опорные геодезические сети должны обеспечивать СКО позиционирования прибора не менее 0,13 мм.

Так как на данных объектах измерений постоянно меняется положение устанавливаемых рабочих элементов, то с любой возможной станции прибора должна быть видимость на достаточное количество пунктов с известными координатами для точного позиционирования прибора.

Пункты геодезической сети следует закреплять на недеформируемых и устойчивых основаниях рамы стапеля, на ее несущих конструкциях, а также возможно закрепление пунктов на несущих конструкциях соседних стапелей и самого цеха.

Высокоточные геодезические сети специального назначения следует развивать на поверхностях сборочной оснастки, предназначенной для сборки малогабаритных агрегатов и узлов: люки, двери, оконные рамки и пр. Данная сборочная оснастка обладает сравнительно малыми размерами (от 30–50 см до 5–7 м) и небольшим весом. Данные условия делают возможной транспортировку сборочной оснастки как во время ее изготовления, так и в процессе эксплуатации (сборка узлов и агрегатов). Соответственно, развитие сети на неподвижных элементах вне данной конструкции не является рациональным, так как после первого же смещения устройства для сборки связь между ней и опорной сетью будет утрачена. Именно по этой причине пункты сети закрепляются на элементах сборочной оснастки и для их закрепления предъявляются особые требования [9, 10].

Фактическое положение точек контролируемого объекта не должно отличаться от проектного более чем на 0,2–0,5 мм, следовательно, опорные геодезические сети должны обеспечивать СКО позиционирования прибора не менее 0,05 мм.

С любой станции прибора вокруг данного объекта должны быть видны все пункты локальной опорной геодезической сети.

Закреплять точки на поверхности следует с учетом условий транспортировки и хранения устройств для сборки. Они должны находиться вне зон деформационных воздействий, вызванных перемещением оснастки; также необходимо обеспечить сохранность пункта, чтобы он не был утрачен в процессе хранения. Также необходимо принимать во внимание, что некоторая сборочная оснастка подвергается термическому воздействию, следовательно, конструкция пункта не должна содержать элементов, нетолерантных к высоким температурам.

Согласно мировым стандартам, в авиационной отрасли [11] СКО определения положения контрольной точки относительно станции (m_p) не должна превышать 33 % от поля допуска, предъявляемого на виды геодезических работ, обеспечивающих контроль геометрических параметров. Однако m_p – это не единственный параметр, который влияет на конечное измерение. В статье [12] авторы пишут, что СКО положения определяемой точки способом свободного позиционирования также зависит от СКО определения положения станции. СКО определения положения точки можно выразить формулой

$$m_{xyz} = \sqrt{m_i^2 + m_p^2}, \quad (1)$$

где m_{xyz} – СКО определения положения точки с учетом всех факторов; m_i – СКО определения положения станции.

В свою очередь на определение положения геодезического прибора в пространстве будут оказывать влияние геометрические характеристики геодезической сети, погрешности, возникшие в ходе ее создания и уравнивания [13], стабильность пунктов геодезической и единообразие установки визирной цели на пункты геодезической сети. В таком случае СКП определения положения точки можно выразить формулой

$$m_{xyz} = \sqrt{m_i^2 + m_p^2 + m_{targ}^2}, \quad (2)$$

где m_{targ} – СКО установки визирной цели на пункт.

Авторами рассмотрено возникновение, влияние и учет погрешности установки визирной цели на пункт.

Виды пунктов для закрепления локальных геодезических сетей в сборочном цеху

Пунктом геодезической сети является твердая закрепленная точка пространства, обеспечивающая единообразную установку визирной цели.

В зависимости от типа визирной цели следует связать типы геодезических пунктов и методы геодезических измерений, которые можно реализовать, используя данные типы пунктов.

Для измерений с использованием абсолютным лазерным трекером и высокоточным роботизированным тахеометром возможно использование следующих пунктов:

- «бычий глаз» (Bull's-eye);
- пунктов, предназначенных для установки сферических отражателей;
- пунктов, закрепленных в виде кернов и рисок.

Линейно-угловые и угловые измерения с использованием тахеометров и теодолитов можно выполнять на следующие пункты:

- светоотражающие марки;
- стенные ориентирные планово-высотные пункты.

Работы, выполняемые с использованием нивелира, следует проводить с использованием:

- стальных нивелирных реперов;
- стальных ориентирных планово-высотных пунктов.

Методы лазерного сканирования или цифровой фотограмметрии следует реализовывать с использованием:

- фотограмметрических марок;
- сканерных марок [14].

Авторы предлагают изучить подробно пункты, предназначенные для использования с координатоопределяющей технологией, а также для классических средств измерений (рис. 2).

«Бычий глаз» (рис. 2, а) – отражатель, встроенный либо в стену помещения, где

производится сборка самолета, либо непосредственно в раму оснастки, изображенной на рис. 1.

Пункты, предназначенные для установки сферических отражателей, следует разделить на две группы:

- 1) накладные;
- 2) углубленные.

К первым можно отнести накладные подставки для закрепления на различный тип оснований фирмы Brunson (рис. 2, б), неодимовые магниты (рис. 2, в), стальные шайбы с отверстием (рис. 2, г). Ко второй группе относятся конические и цилиндрические отверстия, обеспечивающие единообразную установку сферического отражателя.

Координаты пунктов, закрепленных в виде кернов и рисок, восстанавливаются различными способами в зависимости от типа поверхности, где находится kern. Если поверхность является плоскостью, то можно использовать специальную оснастку (рис. 2, д), если поверхность криволинейная, то координаты центра керна можно определить с использованием Probe-устройств (рис. 2, е), а также различных жезлов скрытых точек [11].

Светоотражающие марки (рис. 2, ж) используются для выполнения измерений с помощью тахеометра. Основным преимуществом использования такой отражающей поверхности является возможность выполнения измерений с использованием роботизированного тахеометра в автоматическом режиме, а также повышенная по сравнению с безотражательным режимом точность измерения дистанции [15].

Стенные ориентирные планово-высотные пункты представляют из себя конструкцию, представленную на рис. 2, з. Основным отличием стенового репера от ориентирного планово-высотного пункта является наличие отверстия диаметром 2 мм на верхней грани головки пункта, предназначенного либо для непосредственного наведения на него, либо для установки визирной цели, например, мини-призмы.

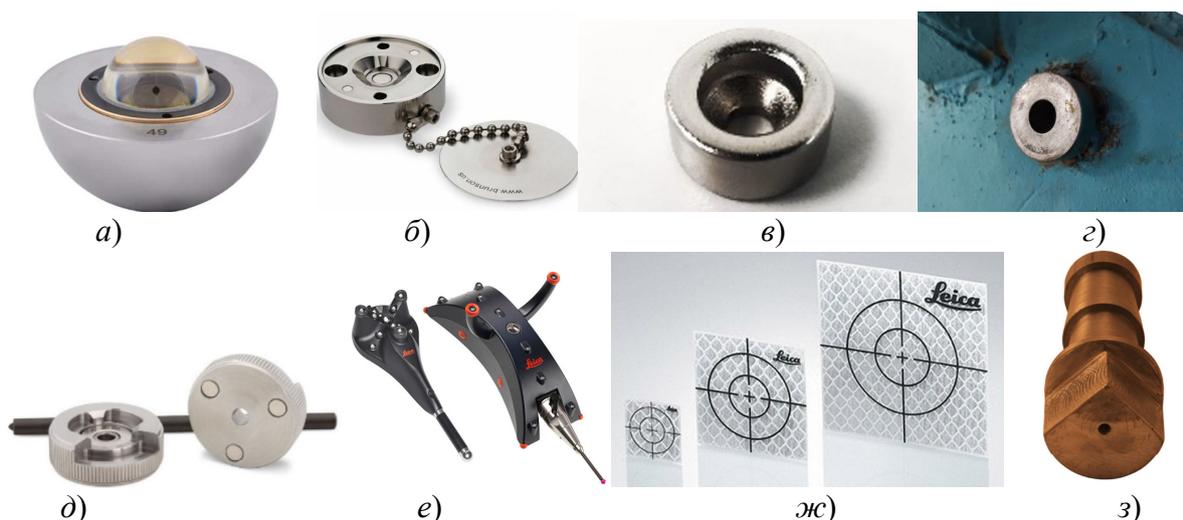


Рис. 2. Типы пунктов:

а) «бычий глаз»; б) Brunson; в) неодимовый магнит; г) стальная шайба; д) оснастка; е) Probe-устройство; ж) светоотражающие марки; з) стеной ориентирный планово-высотный пункт

Оценка стабильности установки визирной цели на пункт локальной геодезической сети. Обоснование выбора типа пунктов

Стабильность и надежность пунктов локальной геодезической сети обеспечивается двумя параметрами: неподвижностью основания, где закреплена точка с известными координатами, и единообразием установки визирной цели. Математическую обработку результатов измерений для такого варианта в ряде случаев целесообразно выполнять по алгоритмам, предложенным в [16] в строгом соответствии с методом наименьших квадратов.

Для определения стабильности установки визирной цели на пункт авторы предположили, что точка закреплена неподвижно во времени и пространстве. Следовательно, для выбора типа пункта для каждого из класса необходимо определить погрешности установки визирных марок. В работе учитывается опыт исследователей [15] по расчету средней квадратической погрешности определения пространственного положения закрепленной точки путем многократных наведений с использованием роботизированного лазерного тахеометра, которая составила 0,10 мм, а также экспериментальным путем определена СКП, вызванная различной установкой визирной марки на геодезические пункты следующих типов: Brunson, неодимовых магнитов, стальных шайб для установки

отражателя с подставкой, цилиндрических отверстий и кернов на плоской поверхности.

Были выполнены серии измерений на вышеуказанные типы пунктов и рассчитана погрешность установки визирной цели по нижеприведенным формулам.

$$\begin{aligned} \bar{X} &= \sum \frac{X_i}{n}, \\ \bar{Y} &= \sum \frac{Y_i}{n}, \\ \bar{Z} &= \sum \frac{Z_i}{n}, \end{aligned} \quad (3)$$

где $\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$ – средние значения пространственного положения визирной цели; X_i, Y_i, Z_i – значения, вычисленные в результате отдельного измерения; n – количество измерений.

$$\begin{aligned} d_x &= X_i - \bar{X}, \\ d_y &= Y_i - \bar{Y}, \\ d_z &= Z_i - \bar{Z}, \end{aligned} \quad (4)$$

$$d_{\text{targ}} = \sqrt{d_x^2 + d_y^2 + d_z^2}. \quad (5)$$

Рассчитанные средние квадратические ошибки установки визирной цели на каждый тип пункта геодезической сети представлены в табл. 2.

Таблица 2

Средняя квадратическая ошибка установки визирной цели на различные типы пунктов

Тип пункта	СКО установки визирной цели, мм
Цилиндрическое отверстие	0,02
Стальная шайба	0,02
Неодимовый магнит	0,03
Пункт фирмы Brunson	0,01
Пункт в виде керна	0,05

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы.

1. Геодезические сети специального назначения технического класса точности следует закреплять пунктами, предназначенными для установки сферических отражателей первой группы (накладными), светоотражающими марками, пунктами, закрепленными в виде кернов и рисок.

2. Точные геодезические сети специального назначения следует закреплять отражателями типа «бычий глаз», пунктами, предназначенными для установки сферических отражателей первой и второй группы; пунктами, закрепленными в виде кернов и рисок, а также стенными реперами.

3. Высокоточные сети специального назначения следует закреплять пунктами, предназначенными для установки сферических отражателей преимущественно второй группы; в случаях если габаритные размеры позволяют закрепить на поверхности оснастки пункт первой группы, это является допустимым.

Данный выбор типа пунктов для каждого класса локальной геодезической сети был обусловлен нормативной точностью, которую необходимо обеспечивать для проведения тех или иных работ, а также возможностью непосредственно доступа до точки с известными координатами с целью выполнения геодезических измерений.

Заключение

В результате выполненных теоретических и экспериментальных исследований сформулированы следующие основные выводы и предложения.

1. Предложена классификация локальных геодезических сетей по классу точности, исходя из нормативно заданной точности определения параметров объекта авиастроительной отрасли.

2. Предложены способы закрепления пунктов локальных геодезических сетей и выбор типа визирной цели в зависимости от класса точности ЛГС.

3. Определены СКП установки визирных целей на различные типы пунктов локальных геодезических сетей.

Реализация результатов выполненных исследований позволит значительно повысить качество геодезического обеспечения определения параметров объектов авиастроительной отрасли на всех этапах жизненного цикла сборки воздушного судна.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гусева Р. И. Особенности технологии сборки планера самолета : учебное пособие. – Комсомольск-на-Амуре : КНАГТУ, 2013. – 133 с.
2. Qing Wang, Peng Huang, Jiangxiong Li, Yinglin Ke. A new boresighting method of the aircraft gun using a laser tracker // Sensor Review. – 2015. – Vol. 35(3). – P. 251–262. – DOI 10.1108/SR-11-2014-740.
3. Петров В. В. Применение прецизионного электронного тахеометра для исследования взаимного расположения валов и механизмов бумагоделательных машин // Записки горного института. – 2001. – Т. 146. – С. 89–101.
4. Петров В. В. Обмер объектов крупного машиностроения в пространственных высотно-угловых сетях // Полезные ископаемые России и их освоение : сб. тр. науч.-практ. конф. СПб. : С.-Петербург. гос. горный ин-т. – 1996. – С. 165–175.
5. Брынь М. Я., Шевченко Г. Г. Проектирование геодезической сети поисковым методом на основе использования неискаженной модели // Геодезия и картография. – 2020. – Вып. 12. – С. 2–10. – DOI 10.22389/0016-7126-2020-966-12-2-10. – EDN POEFJL.

6. An Wan, Jing Xu, Member, IEEE, Dongjing Miao, and Ken Chen. An Accurate Point-Based Rigid Registration Method for Laser Tracker Relocation // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2016. – Vol. 1(9). – P. 1–9. – DOI 10.1109/TIM.2016.2608560.
7. An Wan, Jing Xu, Zonghua Zhang, Ken Chen. A New Survey Adjustment Method for Laser Tracker Relocation // IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics. – 2015. – DOI 10.1109/ROBIO.2015.7419695.
8. M. Saadat, C. Cretin. Dimensional variations during Airbus wing assembly // Assembly Automation. – 2002. – Vol. 22(3). – P. 270–276. – DOI 10.1108/01445150210436482. – EDN EAOWCP.
9. Корнилов Ю. Н., Царёва О. С., Шевченко А. С. Оптимизация расположения деформационных марок при построении сети в виде линейной пространственной засечки // Геодезия и картография. – 2021. – Вып. 12. – С. 2–11. – DOI 10.22389/0016-7126-2021-978-12-2-11. – EDN ZZCGLO.
10. Корнилов Ю. Н., Царёва О. С. Совершенствование методики наблюдений за деформациями зданий и сооружений // Геодезия и картография. – 2020. – Вып. 4. – С. 9–18. DOI 10.22389/0016-7126-2020-958-4-9-18. – EDN AKBNSR.
11. W. F. Teskey, B. Paul, and W. J. Teskey. Hidden Point Bar Method for High-Precision Industrial Surveys // Journal of Surveying Engineering. – 2005. – Vol. 130(4). – DOI 10.1061/(ASCE)0733-9453.
12. Брынь М. Я., Лобанова Ю. В., Афонин Д. А., Шевченко Г. Г. Оценка точности определения положения точек способом свободного стационарирования // Геодезия и картография. – 2021. – Вып. 5. – С. 2–9. – DOI 10.22389/0016-7126-2021-971-5-2-9. – EDN MDQNXU.
13. Mustafin M., Bykasov D. Adjustment of Planned Surveying and Geodetic Networks Using Second-Order Nonlinear Programming Methods // Computation. – 2021. – Vol. 9(12). DOI 10.3390/computation9120131. – EDN LRIWQQ.
14. Valkov V. A., Kuzin A. A., Kazantsev A. I. Calibration of digital non-metric cameras for measuring works // Journal of Physics. Conference Series. – 2018. – Vol. 1118(1), 012044. – DOI 10.1088/1742-6596/1118/1/012044. – EDN MHJAIM.
15. Гусев В. Н., Пупоревич А. А. Повышение точности гироскопического ориентирования за счет учета дрейфа гироазимуты // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – Вып. 10. – С. 134–145. – DOI 10.25018/0236-1493-2021-10-0-134. – EDN ZYEUBS.
16. Аврунев Е. И., Горобцов С. Р. Геодезическое обеспечение кадастровых работ : монография. – Новосибирск : СГУГиТ, 2024. – 239 с. – ISBN 978-5-907711-78-5.

Об авторах

Павел Олегович Палкин – продакт-менеджер по развитию направления ГНСС- мониторинга.

Мурат Газизович Мустафин – доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой инженерной геодезии.

Получено 25.11.2024

© П. О. Палкин, М. Г. Мустафин, 2025

Design of a local geodetic network for control of geometric parameters of aircraft industry objects

P. O. Palkin¹, M. G. Mustafin²

¹Joint Stock Company “PRIN”, St. Petersburg, Russian Federation

²St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II, St. Petersburg, Russian Federation

e-mail: paulpalkine@gmail.com

Abstract. This article highlights the relevance and necessity of employing geodetic methods for monitoring the geometric parameters of aircraft and the tooling used in their assembly. A classification of local

geodetic networks (LGN) is proposed based on their intended purpose, the spatial arrangement of control points on the relevant technological equipment, and the required accuracy for determining their parameters. The rationale for utilizing local geodetic networks is provided, along with an overview of modern measurement technologies that enable compliance with the established regulatory accuracy in defining the parameters of aviation industry objects throughout an aircraft's life cycle. The conditions for positioning control points within local geodetic networks are specified. A detailed examination of the structural design of control points is conducted to ensure the required accuracy in the installation of sighting targets, taking into account the prescribed regulatory accuracy for aircraft parameter determination during assembly. For each type of local geodetic network—technical, precise and high-precision accuracy class of local geodetic networks – appropriate methods for fixing control points are identified.

Keywords: geometric parameters, absolute laser tracker, geodetic network, geodetic point, polar method

REFERENCE

1. Guseva, R. I. (2013) *Features of the airframe assembly technology [Osobennosti tekhnologii sborki planera samoleta]*. Komsomol'sk-na-Amure: FGBOU VPO «KnAGTU» Publ., 133 p. [in Russian].
2. Qing, Wang, Peng, Huang, Jiangxiong, Li, & Yinglin, Ke. (2015). A new boresighting method of the aircraft gun using a laser tracker *Sensor Review*. Vol. 35, №3. P. 251–262. DOI 10.1108/SR-11-2014-740.
3. Petrov, V. V. (2001). Application of a precision electronic total station for the study of the mutual arrangement of shafts and mechanisms of paper machines. *Zapiski gornogo instituta [Notes of Mining Institute]*, Vol. 146, P. 89–101. [in Russian].
4. Petrov, V. V. (1996). Measurement of large machine-building objects in spatial height-angle networks. In *Sbornik materialov nauchno-practicheskoi konferentsii: Poleznye iskopaemye Rossii i ikh osvoenie [Proceeding of Scientific and Practical Conference: Mineral resources of Russia and their development]* pp. 165-175. Saint-Petersburg: SPMI Publ. [in Russian].
5. Bryn', M. Ya., & Shevchenko, G. G. (2020). Designing a geodetic network by a search method based on the use of undistorted model. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 12, 2–10. DOI 10.22389/0016-7126-2020-966-12-2-10. EDN POEFJL. [in Russian].
6. An Wan, Jing Xu, Member, IEEE, Dongjing Miao, & Ken Chen. (2016). An Accurate Point-Based Rigid Registration Method for Laser Tracker Relocation *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. Vol. 1(9). P. 1–9. DOI 10.1109/TIM.2016.2608560.
7. An Wan, Jing Xu, Zonghua Zhang, & Ken Chen. (2015). A New Survey Adjustment Method for Laser Tracker Relocation *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*. DOI 10.1109/ROBIO.2015.7419695.
8. M. Saadat, C. Cretin. (2002). Dimensional variations during Airbus wing assembly *Assembly Automation*. Vol. 22(3). P. 270–276. DOI 10.1108/01445150210436482. EDN EAOWCP.
9. Kornilov, Yu. N., Tsareva, O. S., Shevchenko, A. S. (2021). Optimization of the location of deformation marks when constructing a network in the form of linear spatial serif. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 12, 2-11. DOI: 10.22389/0016-7126-2021-978-12-2-11[in Russian].
10. Kornilov, Yu. N., & Tsareva, O. S. (2020). Improvement of the methodology of observations of deformations of buildings and structures. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 4, 9–18. DOI 10.22389/0016-7126-2020-958-4-9-18. EDN ZZCGLO [in Russian].
11. W. F. Teskey; B. Paul, & W. J. Teskey. (2005). Hidden Point Bar Method for High-Precision Industrial Surveys. *Journal of Surveying Engineering*. Vol. 130(4). DOI 10.1061/(ASCE)0733-9453.
12. Bryn', M. Ya., Lobanova, Yu. V., Afonin, D. A., & Shevchenko, G. G. (2021). Estimation of accuracy of point position determination by free stationing method. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 5, 2–9. DOI 10.22389/0016-7126-2021-971-5-2-9. EDN MDQNXV. [in Russian].
13. Mustafin, M., Bykasov, D. (2021). Adjustment of Planned Surveying and Geodetic Networks Using Second-Order Nonlinear Programming Methods. *Computation*. Vol. 9 (12). DOI 10.3390/computation9120131. EDN LRIWQQ.

14. Valkov, V. A., Kuzin, A. A., & Kazantsev, A. I. (2018). Calibration of digital non-metric cameras for measuring works // *Journal of Physics. Conference Series*. Vol. 1118(1), 012044. – DOI 10.1088/1742-6596/1118/1/012044. EDN MHJAIM.

15. Gusev, V. N., & Puporevich, A. A. (2021). Increasing the accuracy of gyroscopic orientation by taking into account the gyroazimuth drift. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' [Mining information and analytical bulletin]*, 10, 134–145. DOI 10.25018/0236-1493-2021-10-0-134. EDN ZYEUBS. [in Russian].

16. Avrunev, E. I., Gorobtsov, S. R. (2024). *Geodezicheskoye soprovozhdeniye kadastryykh rabot [Geodetic support of cadastral works]*, Novosibirsk, SGUGiT, 239 p. ISBN 978-5-907711-78-5 [in Russian].

Author details

Pavel O. Palkin – Product-Manager for GNSS-monitoring development.

Murat G. Mustafin – D. Sc., Associate Professor, Head of Department Engineering Geodesy.

Received 25.11.2024

© P. O. Palkin, M. G. Mustafin, 2025