

Теория и практика юстировки стендов имитации пространственного движения

В статье рассматриваются вопросы, что и для каких целей необходимо делать при установке и настройке многоосных систем.

Василий Рыбалко

test@ostec-group.ru

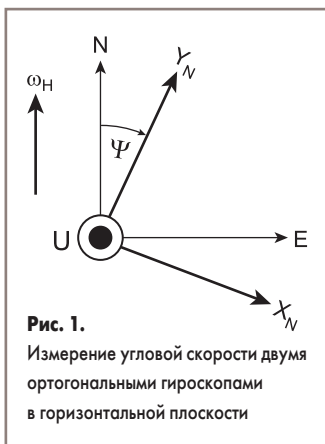


Рис. 1. Измерение угловой скорости двумя ортогональными гироскопами в горизонтальной плоскости

Немного теории. При осуществлении навигации одной из основных проблем является сокращение времени выставки, на которую влияют два фактора — нестабильность смещения нуля и случайное блуждание по углу.

Решая задачи гирокомпасирования, инерциальную систему раскладывают на две составляющие: горизонтальную (касательную к поверхности Земли) и вертикальную (перпендикуляр к поверхности Земли).

Для любой широты α эти составляющие можно вычислить по формулам:

$$\omega_H = \Omega_E \cos(\lambda); \quad (1)$$

$$\omega_V = \Omega_E \sin(\lambda). \quad (2)$$

При выставке гирокомпы север определяется нахождением направления горизонтальной составляющей скорости вращения Земли в локальной касательной плоскости. Для определения плоскости местного горизонта часто используют два акселерометра, а для измерения местной горизонтальной составляющей угловой скорости — два ортогональных гироскопа,

находящихся в плоскости. Две ортогональные оси гироскопов, X_N и Y_N , измеряют горизонтальную составляющую угловой скорости Земли.

На рис. 1 показаны две ортогональные оси гироскопов, ориентированные под некоторым углом Ψ относительно направления на север. Угол Ψ — истинный курс двухосной системы:

$$\Psi = \arctg(-\omega_{X_N}/\omega_{Y_N}). \quad (3)$$

Значения ω_{X_N} и ω_{Y_N} — горизонтальные компоненты угловой скорости, измеряемые гироскопами X_N и Y_N соответственно, которые могут быть рассчитаны по следующим формулам:

$$\omega_{X_N} = -\omega_H \sin(\Psi), \quad (4)$$

$$\omega_{Y_N} = \omega_H \cos(\Psi). \quad (5)$$

В идеальном случае при $\Psi = 0$, то есть когда гироскопы выставлены на север и на восток, выходной сигнал с гироскопа, направленного на восток (X_N), был бы нулевым, но это возможно лишь в идеальном мире. В реальности выходной сигнал восточного гироскопа содержит смещение нуля, которое следует считать погрешностью измерения. Таким образом, формулу (5) можно представить:

$$\omega_{X_N} = -\omega_H \sin(\Psi) + \text{смещение}. \quad (6)$$

Чувствительность гирокомпасирования к смещению нуля гироскопа равна отношению смещения нуля гироскопа к горизонтальной составляющей скорости вращения Земли. Иными словами, погрешность выставки гирокомпы зависит от смещения нуля и широты места измерения, как показано на рис. 2. То есть погрешность выставки гирокомпы зависит от смещения нуля и широты места измерения.

Влияние смещения нуля гироскопа нетрудно уменьшить за счет использования двухпозиционных измерений азимута. Если система установлена под неким произвольным углом $\Psi = \alpha$, а затем поворачивается на $\Psi = \alpha \pm 180^\circ$, можно оценить инструментальные погрешности и таким образом откорректировать значение курса.

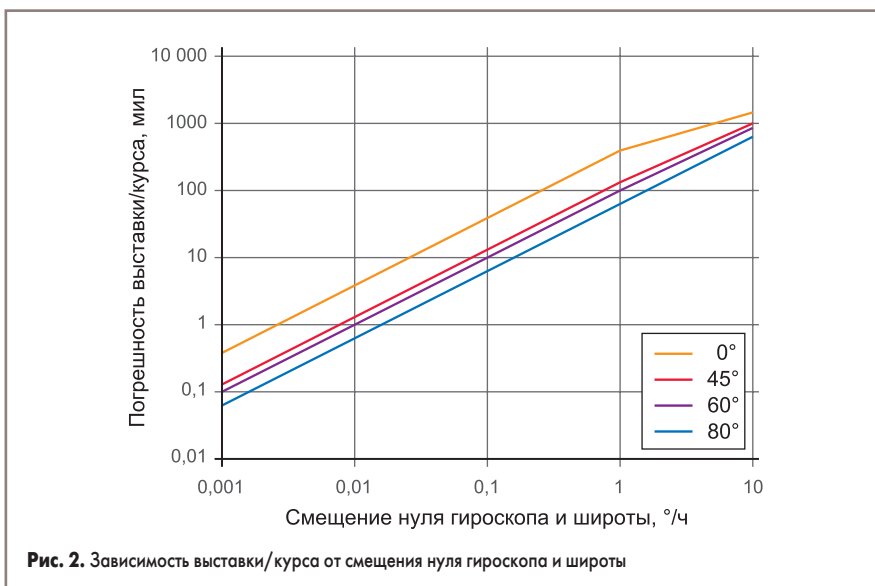


Рис. 2. Зависимость выставки/курса от смещения нуля гироскопа и широты



Рис. 3. Пример расположения мини-призмы на стене



Рис. 4. Точное перекрестие на полу

Нетерпеливый читатель, наверное, заметит, что пока рассуждения далеки от ответа на вопрос, заданный в начале статьи. Теперь мы подошли к главному.

Решение этой теоретической задачи на практике обеспечивают 2- и 3-осные системы пространственного позиционирования — особый вид испытательного оборудования. Его ориентация в пространстве и позволяет на этапах производства и ПСИ навигационных систем учесть и скомпенсировать большинство факторов, влияющих на смещение нуля.

Итак, оборудование выбрано и поставлено, помещение с виброизолированным фундаментом спроектировано, выполнено, выдержано. Расшифруем термин «выдержан»: здесь имеется в виду не только набранная бетоном прочность — обычно такой период составляет до 30 дней, но и полное прекращение процессов химического отверждения и выделения продуктов реакции в помещении, что занимает 6–8 месяцев. Это связано с воздействием среды на контактные кольца стендов. Из чего можно сделать следующий вывод: подготовка помещения должна начинаться одновременно с закупкой или задолго до приобретения оборудования. Тем более что данные рекомендации подходят для подобного оборудования любого мирового производителя.

Параллельно для установки систем пространственного позиционирования проводится комплекс геодезических работ. Они

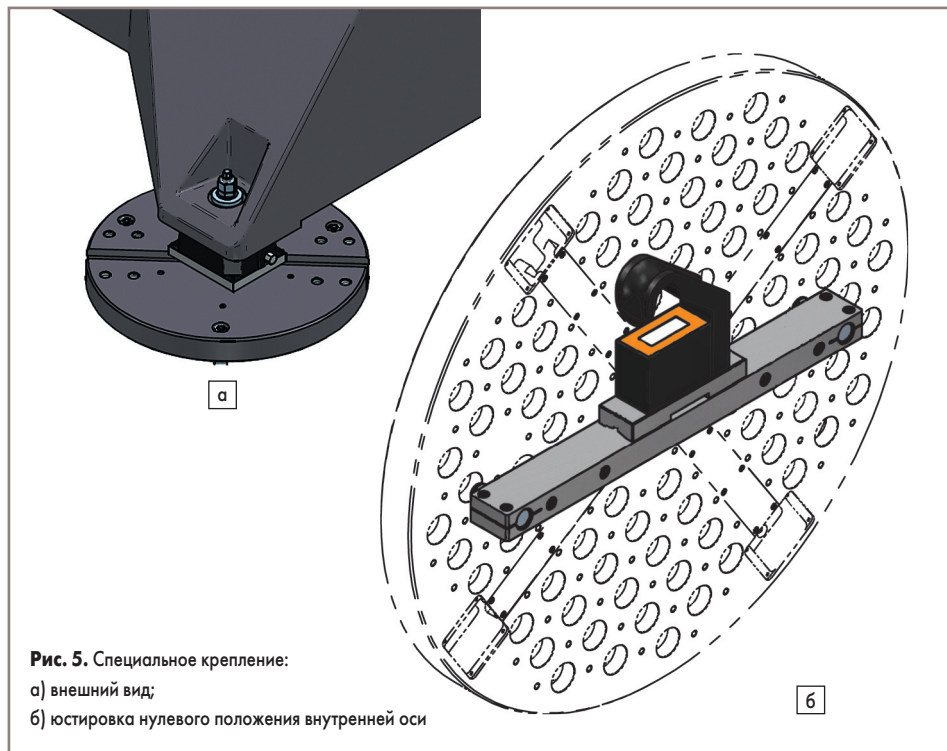


Рис. 5. Специальное крепление:

- а) внешний вид;
б) юстировка нулевого положения внутренней оси

представляют собой фактический перенос в «натуру» координат расположения объекта (в самом помещении). Результатом таких работ должно быть размещение долговременных реперных точек на стенах (конструкциях) здания, определяющих известные координаты (направление).

Установка реперов требуется для периодической проверки положения испытательного стенда. Мы не будем детально останавливаться на процессе, хотя это большая тема в плане описания тонкостей и нюансов указанной области знаний. На данном этапе могут потребоваться значительные временные и финансовые ресурсы, например, построение внешнего базиса (при переносе координат через окна в помещение, где находится испытательный стенд) иногда предполагает изготовление специального фундамента под реперные точки. Чаще всего для решения этих задач применяют высокоточные геоизмерительные комплексы. Методика работ определяется также требуемой системой координат, которую должен знать заказчик — конечный пользователь оборудования.

Но вернемся к процессу установки. Итак, все готово, включая долговременные реперные точки оборудования (рис. 3 и 4), и на примере 2-осного стенда на месте начинается выставление наружной оси по направлению восток-запад. Почему именно так? Ответ прост: потому что внутренняя ось при этом автоматически направлена на север. Для такой настройки оборудование должно иметь специальную систему в основании станины, позволяющую поворачивать стенд на нужный угол с большой точностью. Пример подобного крепления приведен на рис. 5. При этом оптимальной будет первоначальная разметка с применением теодолита, что в дальнейшем позволит быстро прийти к нужной точности выставления наружной оси (на практике это десятки угловых секунд).

Первым этапом юстировки будет выравнивание по уровню, затем оптическим путем при помощи специального зеркала и автоколлимационного теодолита (рис. 6) происходит выставление наружной оси в требуемом направлении, потом опять выравнивание по уровню и снова проверка угла. Количество итераций зависит от опыта специалистов, участвующих в монтаже. Эта операция, хотя и выглядит простой на практике, требует немалой сноровки и опыта. После получения необходимой точности установки наружной оси следует установить «нулевое положение» для внутренней оси, поскольку во всех системах данного типа предусмотрена возможность назначения начального положения стола (оси и крепежных элементов стола) в любом сочетании через программное управление. Для этого также должны быть предусмотрены определенные технические меры при производстве самого оборудования — базовые точки, как правило, штифты или отверстия. В эти отверстия вставляется оснастка, и при помощи уровня выполняется дальнейшая настройка. Не лишним будет напомнить, что само изделие должно размещаться на столе с использованием этих базовых точек, иначе пропадает весь смысл настройки.

Последний этап — проверка всех заявленных производителем параметров в ходе первичной аттестации, которую при количестве единиц от 30 лучше поручить профессионалам, так как покупка, содержание приборов и персонала для этих работ при меньшем количестве оборудования нецелесообразны. До проведения аттестации нужно внимательно изучить, что именно, по какой методике и чем измерено. Убедиться, что представленные методики измерений в полной мере проверяют все характеристики оборудования и являются гостированными или аттестованными в установленном порядке. При этом программа и методика проведения аттестации должны пройти метрологическую экспертизу.

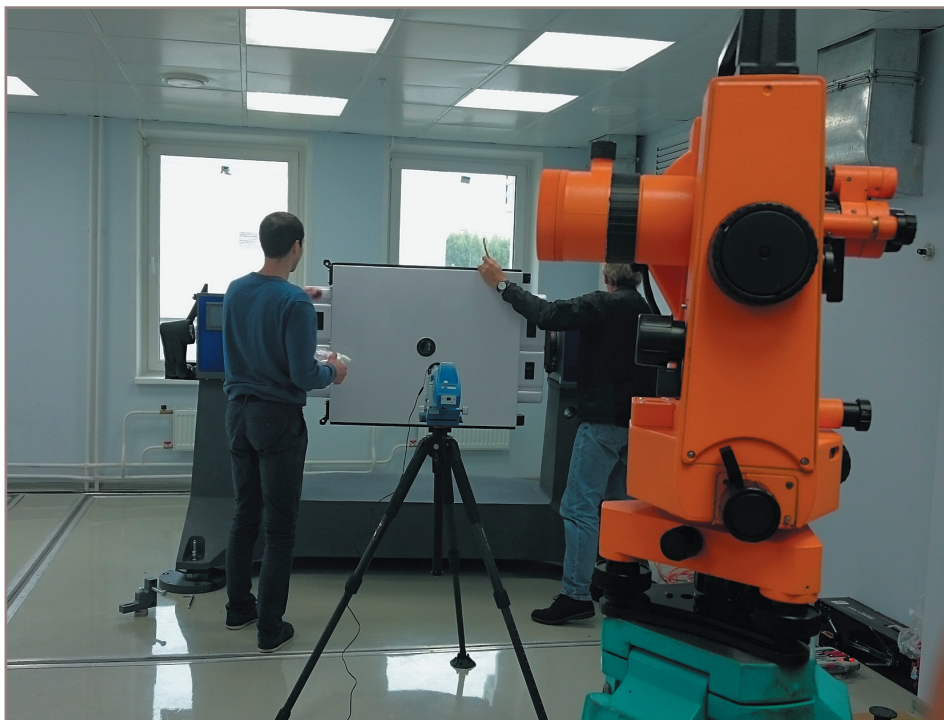


Рис. 6. Юстировка станда автоколлимационным теодолитом

При профессиональном подходе в качестве базовых средств измерений для проверки точности углов используют 36-гранную призму нулевого класса и автоколлиматор фирмы Ttriangle. Для проверки ортогональности и биения оси — электронный уровень и оптическое зеркало. Для проверки скорости и ускорения — частотомер, осциллограф. Если в составе станда присутствует температурная камера, применяют термометры сопротивления и многоканальный измеритель температуры. Естественно, не нужно забывать про измерение параметров окружающей среды и электропитания, для этого предназначены термогигрометр и мультиметр.

При проведении самой аттестации важную роль играет опыт сотрудников, выполняющих измерения, поскольку для линейно-угловых измерений специалист должен не только хорошо знать теорию, но и практически уметь настраивать измерительное оборудование и правильно снимать показания.

Завершается аттестация выдачей протокола и аттестата вместе с программой и методикой аттестации, а также заключением метрологической экспертизы, которые хранятся на всем протяжении эксплуатации оборудования.