

КАЧЕСТВО

Теория и практика юстировки стендов имитации пространственного движения



Текст: Василий Рыбалко



«Мы твердо должны придерживаться сознания, — сказал ученый, — что простых вещей во вселенной нет. Нельзя безнаказанно отбросить ни одно происшествие. Во всем, что происходит, всегда есть цель. Всегда есть причина — можете быть уверены, — а в должное время проявится и следствие».
Клиффорд Саймак «Планета Шекспира»

В предыдущих материалах^{1,2} мы рассматривали вопросы выбора оборудования и подготовки места для его размещения. Итак, завершен этап подбора оборудования, выбрано и подготовлено место для размещения – что дальше? Для начала давайте разберемся, что и для чего будем делать при установке и настройке многоосных систем.

Немного теории. Одной из основных проблем при осуществлении навигации является сокращение времени выставки, на которую влияют два фактора: «нестабильность смещения нуля» и «случайное блуждание по углу».

При решении задачи гирокомпасирования инерциальная система раскладывается 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 гирокомпас северное направление 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, находящиеся 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.

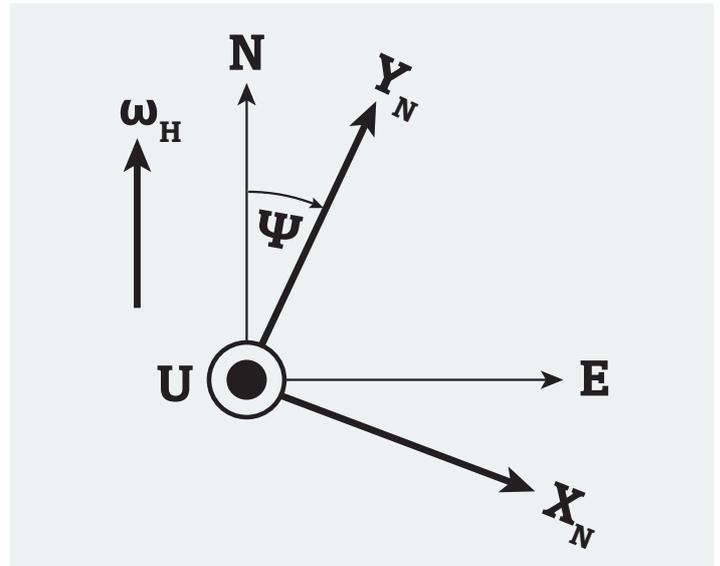
$$\Psi = \arctg\left(\frac{-\omega_{XN}}{\omega_{YN}}\right), \quad (3)$$

Значения ω_{XN} и ω_{YN} – горизонтальные компоненты угловой скорости, измеряемые гироскопами XN и YN соответственно, которые могут быть рассчитаны по следующим формулам:

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

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

В идеальном случае при $\Psi=0$, т. е. когда гироскопы выставлены на север и на восток, выходной сигнал с гироскопа, направленного на восток (XN), был бы нулевым, но такое возможно только в идеальном мире.

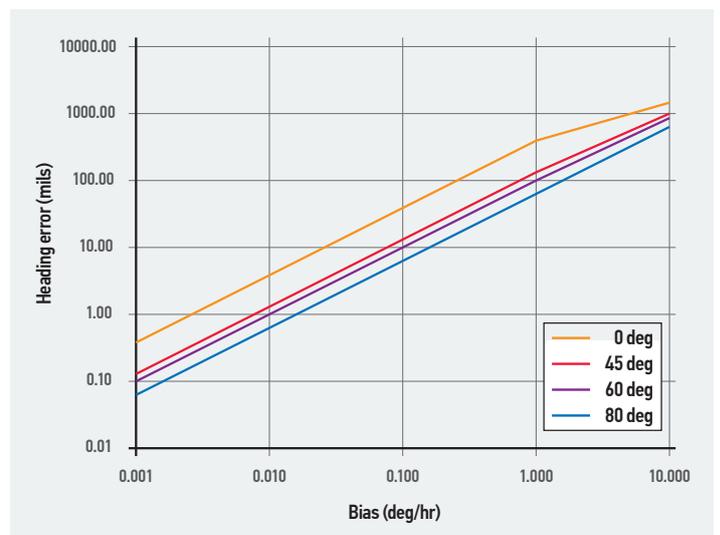


1 Измерение угловой скорости двумя ортогональными гироскопами в горизонтальной плоскости

В реальности выходной сигнал восточного гироскопа содержит смещение нуля, которое можно считать погрешностью измерения. Таким образом, формулу (5) можно представить:

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

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



2 Зависимость выставки/курса от смещения нуля гироскопа и широты

1 Статья «Точно в цель. Точно ли?», журнал «Вектор высоких технологий» № 5 (18) 2015

2 Статья «Достижение заявленных точностей систем пространственного позиционирования», журнал «Вектор высоких технологий» № 2 (23) 2016

Влияние смещения нуля гироскопа можно 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.

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

Решение этой теоретической задачи на практике обеспечивают двух- и трехосные 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, как мы уже говорили, оборудование выбрано и поставлено, помещение с виброизолированным фундаментом спроектировано, выполнено, выдержано. Расшифруем термин «выдержан»: имеется ввиду не только набранная бетоном прочность – обычно занимает до 30 дней, но и полное прекращение процессов химического отверждения и выделения продуктов реакции в помещении, обычно этот процесс занимает 6-8 месяцев. Это связано с воздействием среды на контактные кольца стандов. Из чего можно сделать вывод, что подготовка помещения должна начинаться одновременно с закупкой или задолго до покупки оборудования. Тем более, что данные рекомендации подходят для подобного оборудования любого мирового производителя.

Параллельно для установки систем пространственного позиционирования проводится комплекс геодезических работ. Они 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, определяющие известные координаты (направление).

Размещение реперов требуется для периодической проверки положения испытательного станда. Мы не будем детально рассматривать процесс, хотя это большая тема в плане описания тонкостей и нюансов данной области знаний. На этом этапе могут потребоваться значительные временные и финансовые ресурсы, например, построение внешнего базиса (при переносе координат через окна в помещение, где расположен испытательный станд) может потребовать изготовления 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 двухосного станда на месте начинается выставление наружной оси по направлению



3

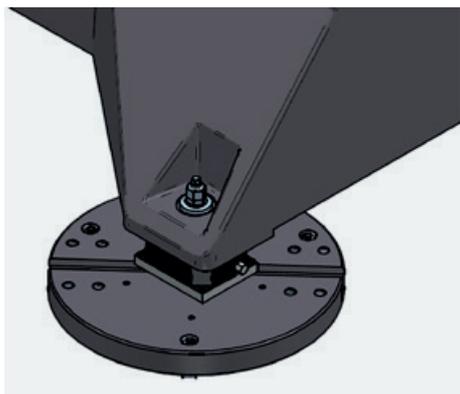
Пример расположения минипризмы на стене



4

Точное перекрытие на полу

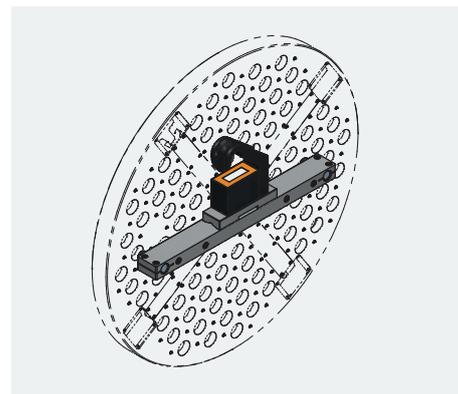
восток-запад. Почему именно так? Ответ прост – потому что внутренняя ось при этом автоматически направлена на север. Для такой настройки оборудование должно иметь специальную систему в основании станины, которая позволяет поворачивать станд на нужный угол с большой точностью. Пример такого крепления приведен на рис. 5. При этом оптимальной будет первоначальная разметка с применением теодолита, что в дальнейшем позволит быстро прийти к требуемой точности выставления наружной оси (на практике это десятки угловых секунд).



5
Специальное крепление



6
Юстировка стенда автоколлимационным теодолитом



7
Юстировка нулевого положения внутренней оси

Первым этапом юстировки будет выравнивание по уровню, затем оптическим путем при помощи специального зеркала и автоколлимационного теодолита (рис. 6) выставление наружной оси в требуемом направлении, затем опять выравнивание по уровню и опять 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 требуемой точности установки наружной оси необходимо установить «нулевое положение» для внутренней оси, т.к. 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 проводится дальнейшая настройка (рис. 7). 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 параметров, заявленных производителем в ходе первичной аттестации. Такую аттестацию при количестве единиц от 30 лучше поручить профессионалам, так как покупка, содержание приборов и персонала для этих работ при меньшем количестве оборудования нецелесообразны. До проведе-

ния 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.

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 стенда присутствует температурная камера, используют термометры сопротивления и многоканальный измеритель температуры. Естественно, не нужно забывать про измерение параметров окружающей среды и электропитания, для этого применяют термогигрометр и мультиметр.

При проведении самой аттестации важную роль играет опыт сотрудников, проводящих измерения, так как 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.

Этим материалом мы завершаем серию статей о выборе оборудования, подготовке помещений, установке, настройке и аттестации систем пространственного позиционирования. Многие описанные моменты требуют отдельного, более детального рассмотрения, что мы обязательно сделаем в следующих выпусках журнала «Вектор высоких технологий». □