



УДК 625.08

Габдуллин Т.Р. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: talgat2204@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Загретдинов Р.В. – кандидат физических наук, доцент

E-mail: rzckpfu.ru@mail.ru

Казанский (Приволжский) федеральный университет

Адрес организации: 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18

Повышение производительности систем управления дорожно-строительной техники при использовании систем глобального спутникового позиционирования

Аннотация

В данной статье авторы анализируют состояние и перспективы развития системы глобального спутникового позиционирования.

Исследуют эффективность применения спутниковых систем управления строительной техникой. Показывают изменения в современной структуре глобальных и региональных навигационных спутниковых системах. Обосновывают эффективность применения спутниковых систем управления строительной техникой (СУСТ).

Сделаны рекомендации внедрения передового зарубежного и отечественного опыта создания технологических платформ для укрепления позиций России в мировом хозяйстве.

Ключевые слова: глобальные навигационные системы, системы управления строительной техникой, 2D и 3D системы, региональные спутниковые системы, производительность.

Системы управления строительной техникой – современное средство автоматизации контроля и управления строительной техникой на протяжении всех этапов производства земляных и дорожных работ. Цель применения заключается в достижении максимального соответствия проекту со значительной экономией средств и времени. При этом обеспечивается сокращение расходов на инженерные работы, экономия топлива, увеличение моторесурса машин.

Наиболее эффективными являются комплексы управления с использованием спутниковых систем GPS/ГЛОНАСС.

Подготовленный проект в цифровой форме загружается в бортовой компьютер, под управлением которого рабочий орган машины автоматически устанавливается и удерживается в положении, соответствующем проекту. Таким образом, минимальным количеством проходов и с точностью до 2-х сантиметров в плане и нескольких миллиметров по высоте в максимально короткие сроки может быть подготовлена поверхность любой сложности. Весь процесс управления рабочим органом машины берет на себя автоматика, а оператору требуется только правильно выбрать параметры работы. Компоненты систем созданы специально для работы в жестких условиях строительства, имеют надежную и защищенную конструкцию и не требуют практически никакого технического обслуживания.

Необходимым условием эффективной работы машин для выполнения земляных работ является точное воспроизведение рабочим органом (например, отвалом) проекта на строительной площадке. Эта идея и заложена в основу внедрения систем управления строительной техникой. Данные системы определяют положение рабочего органа на местности в ходе выполняемых работ и управляют им, повторяя проектное задание с исключительно высокой точностью. По способам задания и применения проектной информации системы управления делятся на 2Д (2D) и 3Д (3D).

Перед началом работ с применением 2Д (2D) систем проектные направления и плоскости привязываются к местности. Проводятся также работы по подготовке земляного полотна с соблюдением установленных проектом высот и уклонов. Надо отметить, что подобные системы применимы, в основном, для работы с простыми проектами по подготовке ровных площадок, строительству прямых участков дорог и др. В ходе работы с

применением 2Д (2D) системы рабочий орган строительной машины повторяет проектную поверхность, контролируя положение по высоте по струне или плоскости лазерного луча. В этом и заключается основной недостаток данной системы. Привязанность к струне или лазерной плоскости резко ограничивает участок ее применения.

В настоящее время при выполнении земляных работ наиболее эффективными являются 3Д (3D) системы. Создателям этих систем удалось учесть и исключить недостатки, характерные к 2Д (2D) системам. Строительные машины получили полную свободу по перемещению по рабочей зоне. Точность работы достигла 1...2 сантиметров по координатам плана и высоты, обеспечивая заданные уклоны. Исчезла также зависимость от времени суток и погодных условий.

В настоящий момент производители, и в первую очередь, компания TOPCON (Япония) разработали два типа систем 3Д (3D): 3D LPS и 3D GPS. Эти системы в качестве измерительных средств применяют роботизированные электронные тахеометры и приемники сигналов спутников GPS+ГЛОНАСС.

Системы 3D LPS способны контролировать положение рабочего органа с точностью до нескольких миллиметров. Однако данные системы не лишены недостатков. Так, например, тахеометр может работать с одной строительной машиной и только в поле прямой видимости с ней. Соответственно необходимость обеспечения каждой единицы строительной машины влечет за собой существенные дополнительные экономические затраты. Однако высокая точность выполняемых работ обеспечивает востребованность на современных строительных площадках подобных систем. Наиболее успешно системы 3D LPS применяются на грейдерах.

Перед началом работ в бортовой компьютер загружается электронная форма рабочего проекта. Тахеометр приводится в рабочее положение и ориентируется на местность. На отвале грейдера устанавливается мачта с отражателем кругового обзора. Производится взаимная привязка рабочего органа (кромки отвала) и отражателя. Результаты привязки заносятся в бортовой компьютер. В ходе выполняемых работ тахеометр постоянно контролирует перемещение машины, определяя координаты отражателя. Контрольные данные передаются в бортовой компьютер, производится их сравнение с проектом, при необходимости производится корректировка положения отвала подачей сигналов на систему гидроприводов. Таким образом, положение рабочего органа (отвала) полностью контролируется автоматикой. Машинисту грейдера остается функция управления машиной по направлению движения.

В отличие от 3D LPS системы 3D GPS считаются более совершенными. Они, в частности лишены недостатков тахеометрических систем. Системы 3D GPS могут работать на больших расстояниях (до нескольких километров), не требуют поля прямой видимости (работают в радиоканале), обслуживают практически неограниченное количество машин. Для организации работы с применением систем 3D GPS на рабочей площадке устанавливается базовый приемник GPS. На каждую единицу строительной техники устанавливаются свои бортовые приемники с антеннами, монтируемыми на отвале. Дополнительно устанавливаются датчики вращения отвала, поперечного и продольного уклонов, комплект гидравлических клапанов для каждого типа машины. Установка этих датчиков завершается их настройкой – измеряются геометрические параметры, производится калибровка. Полученные данные заносятся в бортовой компьютер. Эти работы разовые, то есть не требуют ежедневной коррекции или переустановки.

Перед началом работ проект в цифровом виде загружается в бортовой компьютер. В ходе выполнения работ компьютер непрерывно контролирует соответствие натуральных и цифровых данных. Оператор-машинист отслеживает процесс работы, имея, при необходимости, возможность перехода к ручному управлению.

Очевидным преимуществом применения систем 3D GPS является практически самостоятельная работа машины в соответствии с проектным заданием.

Среди машин для земляных работ наряду с автогрейдерами особое место занимают экскаваторы. Это связано с техническими возможностями экскаваторов по выполнению специфических земляных работ, на которые другие машины малоприспособны или не пригодны в целом. Ранее работа экскаваторов с применением систем управления

потребителями считалось малоэффективным. Созданные системы были громоздкими, тяжело и долго устанавливались, часто в ходе работы сбивалась первоначальная калибровка. Но недавно разработчикам, первую очередь компании TOPCON, удалось разработать и предложить потребителям систему управления экскаваторами, отвечающую современным требованиям. Это комплекс 3Dxi (TOPCON), который способен контролировать положение рабочего органа экскаватора по высоте и плану в соответствии с проектом. Система проста в установке и настройке. Не имеет привязанности к конкретному типу экскаватора. Для организации работ необходимо наличие типовой базовой станции, которая привязана с бортовыми приемниками на строительных машинах и корректирующей их координаты.

Классически реализация любых проектов по выполнению земляных работ требует выполнения обязательных пяти этапов – съемка, проектирование, вынос в натуру, земляные работы, контроль. Применение системы 3Dxi сокращает эти этапы до трех. Фазы выноса в натуру, земляных работ и контроля технически объединены в одну. Загруженный в бортовой компьютер цифровой проект позволяет (отображает на экране) контролировать положение самого экскаватора и отклонения ковша от нулевой отметки. Эти данные отображаются на экране как графически, так и в цифровом виде, что исключает необходимость выноса в натуру. При работе экскаваторной системы 3Dxi вокруг строительной площадки устанавливаются опорные точки с привязкой к местности и проекту.

Точность расчета координат зубьев рабочего органа достигается калибровкой системных узлов, которая включает в себя определение положения на местности GPS-антенн в привязке к оси вращения стрелы, проводятся замеры геометрических параметров рабочего органа, стрелы и рукояти. Полученные данные заносятся в бортовой компьютер. Установленное программное обеспечение применимо для шести разных ковшей, в случаях необходимости их замены. Система в автоматическом режиме определяет рабочие координаты зубьев рабочего органа с демонстрацией на экране проектную поверхность. Таким образом, обеспечивается полный контроль хода выполняемых работ.

Очевидно, что СУСТ в целом существенно снижают расходы строительства, гарантируя сохранения точности и качества результатов работы. Это сводит практически на нет возможные ошибки в ходе строительных работ в целом.

Следовательно, использование СУСТ принципиально пересматривает ведение строительных работ, которое подчеркивается такими преимуществами, как:

- уменьшением объема инженерных работ (вынос в натуру, полевой контроль);
- подготовкой проектной поверхности за меньшее время (оптимизируется количество проходов строительной техники);
- возрастанием точности выполнения работ: 1...2 см (максимальное соответствие проектному заданию);
- выводом проектных уклонов в автоматическом режиме;
- экономией топлива и моторесурсов машин и оборудования;
- уменьшением расхода материалов;
- значительное увеличение производительности;
- простая настройка и работа с системой.

Таким образом, на наш взгляд, в плане успешной реализации инновационной политики России применение СУСТ может явиться эффективным инструментом инновационного развития строительной отрасли на важнейших направлениях ее деятельности.

В последние годы, в дополнение к функционирующим в рабочем режиме глобальным навигационным системам GPS и ГЛОНАСС, активно присоединяются другие глобальные и региональные навигационные спутниковые системы. К их числу следует отнести, прежде всего, частично развернутую китайскую систему BEIDOU (BDS) и находящуюся на стадии испытаний европейскую навигационную систему GALILEO. Запущены первые навигационные спутники региональных систем QZSS (Япония) и IRNSS (Индия). Кроме того, навигационные системы первого поколения GPS и ГЛОНАСС постоянно находятся в стадии модернизации включающей в себя добавление новых сигналов, в том числе и на новых несущих частотах (L5 – GPS и L3 – ГЛОНАСС). Появление новых навигационных систем, сигналов и несущих частот требует создания

унифицированных форматов хранения данных, прежде всего формат RINEX и протоколов передачи данных в реальном времени (RTCM, CMRx и др.). Решению этих задач и был посвящен проект M-GEX – Multi-GnssEXperiment, реализованный международной службой IGS (International GNSS Service) в 2012 году [1]. Текущие задачи эксперимента M-GEX включают в себя:

- запустить сеть слежения за навигационными спутниками разных группировок;
- сделать общедоступными данные слежения (RINEX данные);
- экспериментирование с потоками данных и различными сигналами;
- оценка качества оборудования и оценка сигналов различных систем.

Будущие задачи эксперимента (средне-перспективные):

- замена IGS сети приемниками мульти-ГНСС;
- создание мульти-ГНСС продуктов.

Первые итоги эксперимента M-GEX были подведены в июле 2012 г. на конференции в Олзтын (Olsztyn) Польша. Там же были выработаны рекомендации для сообщества пользователей высокоточных ГНСС систем [2]. В настоящее время в проекте M-GEX участвует около 75 референционных ГНСС станций, в том числе только одна из России KZN2 (Казань, КФУ, приемник Trimble NetR9). Надо отметить, что приемники Trimble NetR9 наилучшим образом подходят под цели проекта, поскольку принимают все доступные на сегодня типы сигналов от различных ГНСС, и почти половина станций участвующих в проекте M-GEX используют именно такие приемники (рис.).



Рис. Схема расположения станций проекта M-GEX по состоянию на август 2013 г. [2]

Данные станции KZN2 активно используются сообществом специалистов в области ГНСС для исследования качества сигналов как европейской системы GALILEO [1], так и китайской BEIDOU [3]. В отдельные моменты число одновременно наблюдаемых спутников различных ГНСС достигает более 40 спутников. Через 3...5 лет, после полноценного развертывания систем GALILEO, BEIDOU и QZSS, число одновременно наблюдаемых на станции спутников будет более 50-ти.

При обработке синхронных наблюдений в режиме постобработки или PTK измерений получаемых приемниками типа Trimble NetR9, R9 GNSS, R8-IV GNSS одновременно в решении может быть задействовано до 25 навигационных спутников различных систем. Такие приемники позволяют вести высокоточные геодезические работы в самых сложных условиях (глубокие овраги, горная расщелины, городские каньоны) недоступных в недавнем прошлом для каких либо спутниковых определений.

Так при испытаниях в июне 2013 г. связи приемников Trimble NetR9 и R9 GNSS в Казани в PTK решении одновременно использовалось до 20 спутников, в том числе 4...5

спутников китайской системы BEIDOU. Таким образом, уже сегодня использование китайских спутников весьма эффективно, поскольку число участвующих в РТК решений спутников увеличивается на 20...25 процентов. Особенно эффективным использование таких приемников и технологий может быть в восточных регионах России, где к спутникам системы BEIDOU добавляется и первый спутник японский квази-зенитный системы QZSS. Большим достоинством спутников квази-зенитных систем является их достаточно длительное пребывание в околозенитной области небосвода, что позволяет наблюдать их как в условиях сильно залесенной местности, так и в условиях плотной высотной застройки.

Таким образом, можно уверенно прогнозировать, что через 3...5 лет, после полноценного развертывания систем GALILEO, BEIDOU и QZSS, число одновременно наблюдаемых на станции спутников будет более 50-ти. Машины, оснащенные такой системой управления, будут получать большее количество уверенных сигналов, смогут свободно перемещаться по всему рабочему объекту, выполняя подготовку поверхности с более высокой точностью в плане и по высоте в любое время суток и в любую погоду, что пропорционально скажется на росте производительности дорожно-строительной техники. Созданный на кафедре «Дорожно-строительные машины» КГАСУ Международный образовательный центр регулярно проводит международные семинары-совещания с приглашением ведущих зарубежных специалистов для руководителей предприятий дорожной отрасли РТ, где большое внимание уделяется демонстрации современных систем глобального позиционирования, применяющихся на современных дорожно-строительных машинах [4].

Использование современных систем управления строительной техникой позволит эффективно внедрять передовой зарубежный опыт создания технологических платформ, основанных на соединении трех факторов: внутреннего спроса, интеллектуального капитала и новейших отечественных и зарубежных технологий.

Список библиографических ссылок

1. Montenbruck O., Rizos C., Weber R., Weber G., Neilan R., and Hugentobler U. Getting a Grip on Multi-GNSS: The International GNSS Service MGEX Campaign, GPS World, July, 2013. – P. 44-49.
2. <http://igs.org> Сайт International GNSS Service. URL: <http://igs.org> Сайт International GNSS Service (дата обращения: 17.10.2013).
3. Montenbruck O. From China with Love – The BeiDou Navigation System, Satellite Navigation Seminar, TUM, 14 May, 2013.
4. Сахапов Р.Л., Абсалямова С.Г. Сотрудничество университетов и бизнеса в условиях перехода к инновационной экономике. // Вестник ЧГПУ, 2012, № 3 (79). – С. 143-149.

Gabdullin T.R. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: talgat2204@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Zagretdinov R.V. – candidate of physical sciences, associate professor

E-mail: rzckpfu.ru@mail.ru

Kazan (Volga region) Federal University

The organization address: 420008, Russia, Kazan, Kremlevskaya st., 18

Productivity Improvement of Machine Control Systems Using new Global Satellite Positioning Systems

Resume

The aim of application of construction machinery guidance system is to gain maximal conformance to design with considerable saving of cost and time. In addition to this retrenchment of costs on engineering works, fuel saving and increase in machines motor operating time are achieved.

The most effective are considered to be control complexes with the use of satellite systems GPS/GLONASS.

The main idea of application of construction machinery guidance system is to determine the location and end-point control of the machine directly in the process of earth-work operations for the purpose of copying the design in-situ with the maximum accuracy.

3D systems are considered to be the most effective in the process of earth-work operations.

Application of 3D construction machinery guidance systems provides considerable increase in effectiveness and productivity of earth-work operations process. Principally new quality and accuracy boundaries of projects realization with considerable time and cost savings are gained.

In addition to global positioning systems GPS and GLONASS already functioning in the standard operating mode, other global and regional navigation satellite systems are being actively joined.

Keywords: global positioning systems, construction machinery guidance systems, 2D and 3D systems, regional satellite systems, productivity.

Reference list

1. Montenbruck O., Rizos C., Weber R., Weber G., Neilan R., and Hugentobler U. Getting a Grip on Multi-GNSS: The International GNSS Service MGEX Campaign, GPS World, July, 2013. – P. 44-49.
2. <http://igs.org> Сайт International GNSS Service. URL: <http://igs.org> Сайт International GNSS Service (reference date: 17.10.2013).
3. Montenbruck O. From China with Love – The BeiDou Navigation System, Satellite Navigation Seminar, TUM, 14 May, 2013.
4. Sakhapov R.L., Absalyamova S.G. The partnership between universities and business in the terms of transfer to the innovation economy. // Vestnik CHGPU, 2012, № 3 (79). – P. 143-149.