

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 681.5

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ НАВИГАЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКОЙ

Барков Илья Алексеевич, студент, направление подготовки 08.03.01 Строительство, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: ilya.barkov.ru@mail.ru

Научный руководитель: **Спирина Алёна Юрьевна**, преподаватель кафедры автомобильных дорог и строительных материалов, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: alena0993@mail.ru

***Аннотация.** Статья посвящена актуальной на сегодняшний день проблеме – автоматизации процессов дорожно-строительных работ. В данной работе рассмотрены особенности автоматизации дорожно-строительного производства путем внедрения спутниковых систем навигации. При анализе производственных проблем отрасли была выявлена необходимость изучения совокупности принципов функционирования глобальных навигационных спутниковых систем и систем автоматического управления специальной техникой. Целью статьи является рассмотрение преимуществ и недостатков внедрения данного оборудования в работу. В статье рассмотрены ключевые этапы развития автоматизации геодезических работ при строительстве автомобильных дорог. Описан основной принцип работы глобальных навигационных спутниковых систем, позволяющих автоматизировать процессы на каждом этапе производства строительных работ. Анализ полученной информации позволил сделать выводы о дальнейшем развитии автоматизации в области строительства автомобильных дорог.*

***Ключевые слова:** автоматизация, спутниковые системы навигации, дорожно-строительная техника, система автоматического управления, спутниковая геодезия, геодезические работы, производственный процесс, дорожное строительство, автомобильные дороги, земляные работы.*

***Для цитирования:** Барков И. А. Использование спутниковых систем навигации для управления дорожно-строительной техникой // Шаг в науку. – 2023. – № 3. – С. 10–14.*

USE OF SATELLITE NAVIGATION SYSTEMS TO CONTROL ROAD CONSTRUCTION EQUIPMENT

Barkov Ilya Alexeyevich, student, training program 08.03.01 Construction, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: ilya.barkov.ru@mail.ru@mail.ru

Research advisor: **Spirina Alena Yurievna**, Lecturer of the Department of Automobile Roads and Building Materials, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: alena0993@mail.ru

***Abstract.** The article is devoted to an urgent problem today – automation of road construction processes. In this paper, the features of automation of road construction production through the introduction of satellite navigation systems are considered. When analyzing the production problems of the industry, it was revealed the need to study the set of principles of functioning of global navigation satellite systems and automatic control systems of special equipment. The purpose of the article is to consider the advantages and disadvantages of introducing this equipment into operation. The article discusses the key stages of the development of automation of geodetic works in the construction of highways. The basic principle of operation of global navigation satellite systems that allow automating processes at each stage*



of construction work is described. The analysis of the received information allowed us to draw conclusions about the further development of automation in the field of highway construction.

Key words: automation, satellite navigation systems, road construction equipment, automatic control system, satellite geodesy, geodetic works, the production process, road construction, automobile roads, excavation.

Cite as: Barkov, I. A. (2023) [Use of satellite navigation systems to control road construction equipment]. *Shag v nauku* [Step into science]. Vol. 3, pp 10–14.

Вследствие постоянно растущих требований к качеству и скорости дорожно-строительных работ, появляется необходимость во внедрении новых методов и технологий в процесс производства. Примером подобной модернизации является повсеместная замена теодолитов тахеометрами, повлекшая за собой значительную оптимизацию геодезического обеспечения строящихся объектов.

Однако критическим фактором, влияющим на скорость выполнения работ, является производительность строительной техники. Рассмотрим самый современный метод автоматизации дорожно-строительной техники, а именно использование спутниковых систем навигации для управления дорожно-строительной техникой.

Стадии развития автоматизации геодезических работ при строительстве автомобильных дорог

Каждый этап производства дорожно-строительных работ должен сопровождаться постоянным геодезическим обслуживанием. Будь то земляные работы, работы по устройству щебеночного основания или асфальтобетонного полотна. По степени автоматизации геодезических работ можно выявить три стадии их развития в строительной отрасли.

I стадия

Механизатор двигается по заранее выставленным, в соответствии с бумажным планом чертежа, «флажкам». После каждого прохода строительной техники к работе приступает геодезическая бригада, состоящая минимум из двух человек: геодезист, работающий с прибором (нивелиром), и его помощник, держащий рейку или помогающий в измерениях иным образом. Их постоянное присутствие в непосредственной близости к месту проведения работ обязательно, и имеет ряд недостатков:

- 1) Простой техники между проходами.
- 2) Наличие двух человек в зоне работы техники, что влечет за собой повышенную осторожность механизатора и увеличивает коэффициент опасности на объекте.
- 3) Постоянная потребность в геодезисте, являю-

щимся специалистом ИТР.

4) Увеличивается вероятность ошибки в расчетах, свойственная измерениям, в которых участвует несколько человек.

II стадия

Техника не подвергается улучшению и двигается по заранее выставленным отметкам, но геодезист больше не нуждается в помощнике. Специалист оснащается спутниковым прибором, имеющим название «ровер» и несущим в себе цифровой проект. Связываясь с базовой станцией, прибор сообщает оператору пространственные координаты с точностью до 10 мм и сравнивает с необходимыми, что существенно уменьшает количество расчетов или вовсе сводит их к нулю. Это значительно ускоряет процесс производства работ, уменьшает количество возможных просчетов и снижает необходимый уровень человеческого ресурса [2].

Но на этой стадии все же остаются нерешенными такие проблемы, как:

- 1) простой техники между проходами. Он становится значительно меньше, но все-же остается;
- 2) в зоне работы техники находится человек;
- 3) геодезист все также необходим на постоянной основе.

III стадия

Дорожно-строительная техника оснащается дополнительным оборудованием. Оно, связываясь с базовой станцией, регулирует гидравлику на рабочих органах автоматически. Механизатору остается лишь контролировать процесс и направлять технику по цифровому проекту, отображаемому на мониторе бортового компьютера в кабине. На этой стадии автоматизации геодезист необходим лишь в момент настройки или проверки работы всей системы, чтобы минимизировать погрешность¹.

Таким образом, техника может работать непрерывно, если не брать в расчет остановки, предусмотренные технологической картой.

Проблема с присутствием людей в зоне работ техники тоже решена, что позволяет механизатору сосредоточиться на выполнении поставленной задачи [7].

¹ Автоматическая система управления грейдером TG63 // ПРИНТ. – URL: https://www.prin.ru/sau/avtomaticheskaya_sistema_upravleniya_grejderom_tg63_8007-010-19/ (дата обращения: 08.03.2023).

Принцип работы глобальных навигационных спутниковых систем

Глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС) – система, предназначенная для определения местоположения (географических координат) наземных, водных и воздушных объектов, а также низкоорбитальных космических аппаратов. Спутниковые системы навигации также позволяют получить скорость и направление движения приёмника сигнала. Кроме того, могут использоваться для получения точного времени.

На 2023 год четыре спутниковые системы – GPS, ГЛОНАСС, «Галилео» и «Бэйдоу», обеспечивают постоянное полное покрытие на территории всего земного шара².

Основной технологией, используемой ГНСС, является «Кинематика в реальном времени», или же РТК. Этот метод глобального спутникового позиционирования позволяет ГНСС повысить точность целевых данных. С помощью РТК усиливается фазовый сигнал приемника и передатчика, благодаря чему появляется возможность добиться сантиметровой точности и корректировки сигнала в реальном времени.

Если описывать принцип работы ГНСС простыми словами, то получим следующее: вся система состоит из двух частей – спутника и приемника сигнала. Приемник, в свою очередь, состоит из антенны, принимающей закодированные сигналы от спутников, и блока обработки, декодирующей полученную информацию.

Для определения местоположения приемника ГНСС должна получать данные не менее чем с четырех отдельных спутников. При наличии информации о точном расстоянии до каждого из них можно определить положение приемника в пространстве.

Приемник вычисляет расстояние до спутника А, измеряя количество времени, за которое сигнал от спутника А доходит до антенны приемника, и умножает его на скорость света. Теперь приемник знает, что находится где-то в сфере с радиусом, равным дальности, и центром, в точке положения спутника А. Таким же образом вычисляется расстояние до второго спутника, и теперь область положения приемника сужается до пространства пересечения двух сфер. Действия повторяются с еще одним спутником и, используя поправку на четвертый спутник, находится точка пересечения всех сигналов, которая и будет являться пространственной координатой приемника. Чем боль-

ше количество спутников, тем меньше погрешность [1].

Принцип работы систем автоматического управления дорожно-строительной техникой

В 2002 году, для увеличения производительности дорожно-строительной техники компаниями Trimble и Caterpillar были созданы системы автоматического управления (САУ). Основной их задачей является автоматизация процессов на каждом этапе производства строительных работ, достигаемая путем автоматического контроля рабочих органов машины (ковш, отвал и т. д.). Подобная автоматизация процессов значительно повышает точность выполнения дорожно-строительных работ и качество финальной поверхности, попутно сводя влияние «человеческого фактора» к минимуму.

Принцип работы САУ заключается в определении координат рабочих органов машины, сравнении их с проектными значениями и изменение положения рабочего органа дорожно-строительной техники в соответствии с проектными данными. САУ подразделяются на два типа: 2D и 3D системы автоматического управления³. Различия между ними заключаются в способе определения пространственного положения рабочего органа машины и в типе поверхности, принимаемой за проектную⁴.

Главным принципом работы 3D систем автоматического управления является использование трехмерной цифровой модели местности для осуществления автоматического контроля рабочего органа машины дорожно-строительной техники (лезвие, отвал, плита, барабан). Помимо цифровой модели местности, ключевым фактором в работе 3D САУ является использование специального геодезического оборудования: роботизированных тахеометров, GNSS базовых станций и роверов. Главная идея работы данных систем заключается в использовании геодезического оборудования для определения текущих пространственных координат (X,Y,H) краев рабочего органа машины и сравнение этого положения с цифровой моделью местности. В ходе этого сравнения, бортовой компьютер САУ определяет, насколько текущее положение рабочего органа машины отклоняется от необходимого (проектного) значения. По результатам этого сравнения, вычисляется цифровое значение (сантиметры) необходимого вертикального смещения рабочего ор-

² Как работает GPS // Журнал «КОД». – URL: <https://thecode.media/gps-2/> (дата обращения: 08.03.2023).

³ Trimble. Heavy and Civil Construction. Официальный сайт. – URL: <https://www.trimble.com/en/solutions/technologies/autonomy> (дата обращения: 08.03.2023).

⁴ Системы нивелирования Trimble // САЙТЕК Сибирь. – URL: <http://www.sitech-siberia.ru/> (дата обращения: 08.03.2023).

гана машины, которое должно быть сделано, для достижения им текущего проектного положения. Для автоматического управления рабочим органом дорожно-строительной техники, в оригинальную заводскую гидравлическую систему машины устанавливается дополнительная пара гидравлических клапанов⁵.

Вычислительный блок гидравлики представляет собой мини-компьютер, напрямую соединенный с бортовым компьютером системы автоматического управления. Главная функциональная задача данного вычислительного блока заключается в приеме сигнала, исходящего от бортового компьютера и содержащего сведения о величине необходимого смещения рабочего органа машины. После приема этого сигнала, вычислительный блок анализирует полученную информацию и, в свою очередь, посылает электрический импульс на соленоиды гидравлических блоков.

Однако главным компонентом, контролирующим работу систем автоматического управления, является бортовой компьютер САУ.

Бортовой компьютер систем автоматического управления представляет собой вычислительный блок. Вся информация о текущем положении машины (угол наклона рабочего органа, угол наклона машины, угол поворота рабочего органа и т.д.) поступает непосредственно в бортовой компьютер. Посредством радиообмена между дорожно-строительной техникой и геодезическим оборудованием, в бортовой компьютер непрерывно поступают вычисленные координаты отражателя или GNSS приемника, установленных на машине. Обладая всей этой информацией, бортовой компьютер машины вычисляет координаты краев рабочего органа машины. Затем вычисленные координаты сравниваются с цифровой моделью проекта. Результаты этого сравнения анализируются и, в случае необходимости, бортовой компьютер САУ посылает сигнал в вычислительный блок гидравлики об изменении положения рабочего органа машины. Все эти операции происходят менее чем за секунду, благодаря специально разработанным алгоритмам вычисления [5-6].

Таким образом, происходит автоматический контроль рабочего органа машины в 3D системах автоматического управления. Важнейшим преимуществом данных систем является то, что для корректной работы строительных машин не требуется создание различных видов опорных плоскостей, так как в 3D САУ используются цифровые проекты участков работ, которые и являются «опорой» для работы машины. Соответственно, использование 3D систем исключает лишние затраты времени на подготовку опорных

плоскостей, сокращая тем самым вынужденные простои строительной техники [3].

Одной из первых систем автоматического управления, разработанных для дорожно-строительной техники, была система для автогрейдера. В настоящее время около 5 основных компаний разрабатывают САУ для различных типов машин, и каждая из них имеет в своей линейке системы для автогрейдеров. Важной особенностью систем автоматического управления для автогрейдеров является то, что обе 2D и 3D системы являются практически в одинаковой степени эффективными [4].

Практическое применение систем автоматического управления дорожно-строительными компаниями Оренбургской области

За последние семь лет автопарк основных дорожно-строительных компаний Оренбургской области пополнился значительным количеством техники, работающей с помощью САУ. ГУП «ОренбургРемДорСтрой» – крупнейшее предприятие в регионе, ежегодно вводит в эксплуатацию все больше строительных машин под руководством САУ фирмы Topcon, что позволило преждевременно и со значительной экономией завершить земляные работы и работы по устройству щебеночного основания на таких объектах, как «Международный аэропорт «Оренбург»» и «Улица Рокоссовского». Средние грейдеры и бульдозеры, оснащенные САУ, доказали свою крайнюю эффективность при больших объемах работ, а механизаторы и инженерно-технические работники, в свою очередь, отмечают крайнюю простоту работы с ней.

Заключение

Подводя итоги, можно сделать вывод, что в настоящее время системы автоматического управления начинают получать всё большее распространение в арсенале дорожно-строительных компаний, что значительно повышает скорость и качество выполнения работ. На рынке появляется все больше поставщиков данного оборудования, и конкуренция делает его все совершеннее и доступнее. Дальнейшее развитие дорожно-строительной техники без использования САУ видится невозможным. А на учебные заведения, готовящие специалистов в области строительства и геодезии, возлагается новая обязанность: воспитывать новое поколение инженеров и механизаторов, способных настраивать данные системы и работать с ними на объектах строительства.

⁵ Система Topcon 3D ГНСС на основе 3D GPS для грейдера // КОМЕК Машинери. – URL: <https://www.komek.ru/catalog/sistemy-upravleniya/sistema-dlya-greydera-topcon-3d-gnss-na-osnove-3d-gps/> (дата обращения: 08.03.2023).

Литература

1. Варзин Е. И., Потлов А. А. Использование современного геодезического оборудования для строительной техники // Интеграция и дифференциация науки и практики в контексте приоритетных парадигм развития цивилизации: Сборник научных статей по итогам национальной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 23-24 окт. 2020 г. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2020. – С. 8-11.
2. Вдовиченко В. Д. Технология 3D-нивелирования для геодезического обеспечения строительства дорог // Приложение к журналу Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка: Сборник статей по итогам научно-технической конференции. – 2018. – № 9. – С. 196–200.
3. Галицков С. Я., Лукьянов А. С., Фадеев А. С. Анализ причин появления ошибок при высотном позиционировании отвала автогрейдера системой автоматического управления на базе приемника глобальной навигационной спутниковой системы // Механизация и автоматизация строительства: Сборник статей. – Самара: Самарский государственный технический университет, 2019. – С. 119–127.
4. Кулешов И. В., Головин А. В., Мельник К. Н. Анализ использования автоматизированных систем в строительстве автомагистралей: материалы международной научно-практической конференции, Саратов, 17–18 нояб. 2016 г. – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2016. – С. 180–184.
5. Методика создания электронных проектов для систем автоматизированного управления строительной техникой на базе ГНСС / В. В. Щербаков [и др.] // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2017. – Т. 1, № 1. – С. 71–75.
6. Системы автоматизированного управления строительной техникой (САУ-3D) / В. В. Щербаков [и др.] // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2018. – № 1. – С. 57–63.
7. Сукманюк А. С., Пастухов М. А. Перспективы внедрения новых систем управления строительной техникой на примере современных приборов ведущих производителей геодезического оборудования // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2016. – № 3. – С. 286–302.

Статья поступила в редакцию: 03.05.2023; принята в печать: 07.08.2023.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.