



## Автоматизация дорожно-строительных работ при применении информационных систем и 3D моделей

*И.И. Романенко*

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*

**Аннотация:** Строительство и ремонт дорожной сети с учетом использования новых материалов, техники и соответственно технологий ставит вопрос о совершенствовании системы управления методами выполнения работ и целенаправленном использовании машин дорожно-строительного комплекса.

Построенные алгоритмы за постоянным контролем и управлением выполнения работ на объектах опираются на методы распознавания образов и знаков.

Данная система управления отслеживает и контролирует движение строительной техники и функциональные операции, выполняемые рабочими органами дорожно-строительных машин в реальном времени. Поиск и выбор оптимальных алгоритмов решения, как управленческих, так и производственных задач базируется на решении задач в условиях неопределенного факторного пространства и на основе экономического обоснования. Основным критерием продвижения автоматизации производства является экономическая целесообразность.

**Ключевые слова:** комплексная механизация и автоматизация дорожно-строительных работ, системы автоматизированного управления, распознавания образов, 3D модель, информационные системы, неопределенность, факторное пространство, конструктивные слои, дорожное полотно, автогрейдер, машина.

Разработка информационных систем и автоматизация технологических процессов в дорожном строительстве способствуют развитию дистанционного управления и внедрению беспилотной техники на основе современных нормативных требований и программного обеспечения.

Многие страны мира, в том числе и Россия, широко используют в строительных компаниях спутниковые навигационные системы GPS и ГЛОНАСС в области нивелирования, управления и контроля за дорожно-строительной техникой и различным оборудованием, выполняющих на объекте производственные операции, что позволяет решить сложные проблемы комплексного управления строительством [1-5].

Технология лазерного сканирования местности позволила производить трехмерные модели местности и строительные объекты с точностью до

миллиметра, что обеспечивает все требования, предъявляемые СНиП к точности измерений.

Информационные модели и дорожно-строительные проекты, построенные на принципах 3D моделирования, имеют максимальную обеспеченность информацией для осуществления управления работами на объекте в режиме полной автоматизации.

Бортовая автоматизированная система управления (АСУ) дорожно-строительной машины на основе трехмерных моделей проекта, позволяет обеспечить эффективную реализацию технологических процессов по выполнению земляных работ, устройству всех конструктивных слоев дорожного полотна, восстановлению и строительству верхнего слоя износа дорожного покрытия и содержанию дорог. Принципиальная архитектура такой системы представлена на рис. 1.



Рис. 1. Построение системы дистанционного управления и контроль за проведением землеройно-планировочных работ

Одной из самых востребованных машин в дорожном строительстве, от которых требуется высокая точность по проведению распределительных и планировочных работ, является автогрейдер. Для этого на автогрейдерах

устанавливается система Trimble GCS900 3D, позволяющая контролировать устройство уклонов, проверять ровность из кабины автогрейдера и одновременно осуществлять передачу информации на центральный диспетчерский пункт. При установке на машине дополнительно оборудования по распознаванию знаков, образов, лазерному сканированию с одновременной фотофиксацией, (рис. 2) машина может самостоятельно осуществлять запланированную работу по профилированию площади без участия оператора-механизатора.



Рис. 2. Работа автогрейдера с системой распознавания образов

Управление работами автогрейдера осуществляется при помощи АСУ комплексом - «Профиль-30» [3].

Функциональная схема управления положения рабочего органа машины – отвала представлена на рис. 3.

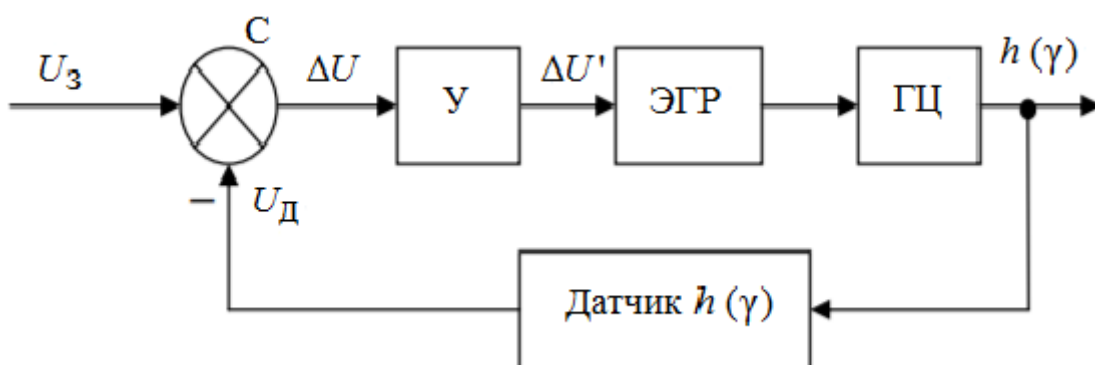


Рис. 3. Функциональная схема управления положения отвала

где:  $U_3$  – напряжение, пропорциональное заданному положению рабочего органа, как по высоте, так и по углу наклона;

$C$  – сумматор;

$У$  – усилитель;

ЭГР – электрогидрораспределитель;

ГЦ – гидрораспределитель;

$h$  – высотное положение отвала;

$\gamma$  – угловое положение отвала;

$U_d$  – напряжение датчика пропорциональное фактической высоте или наклону отвала.

Регулирующее воздействие на рабочий орган-отвал осуществляется через сравнение напряжений между заданным положением и фактическим на выходе и определяется управляющий сигнал  $\Delta U$ :

$$\Delta U = U_3 - U_d$$

Этот сигнал увеличивается усилителем ( $У$ ) и поступает на ЭГР. В результате чего отвал занимает заданное положение. Принципиальная схема управления положения рабочего органа присуща всем системам управления, но в совокупности с системами позиционирования в пространстве – GPS и ГЛОНАСС, устройств считывания образов и лазерного нивелирования «Профиль-30» переходит в разряд автономной системы по выполнению

землеройно-планировочных работ. Это позволяет повысить точность выполнения работ до миллиметра, позиционировать положение машины в пространстве, фиксировать поперечный уклон и направление движения лезвия, сократить до минимума количество проходов по одному месту.

Функциональная схема новой системы управления рабочего органа-отвала с учетом позиционирования в пространстве представлена на рис. 4

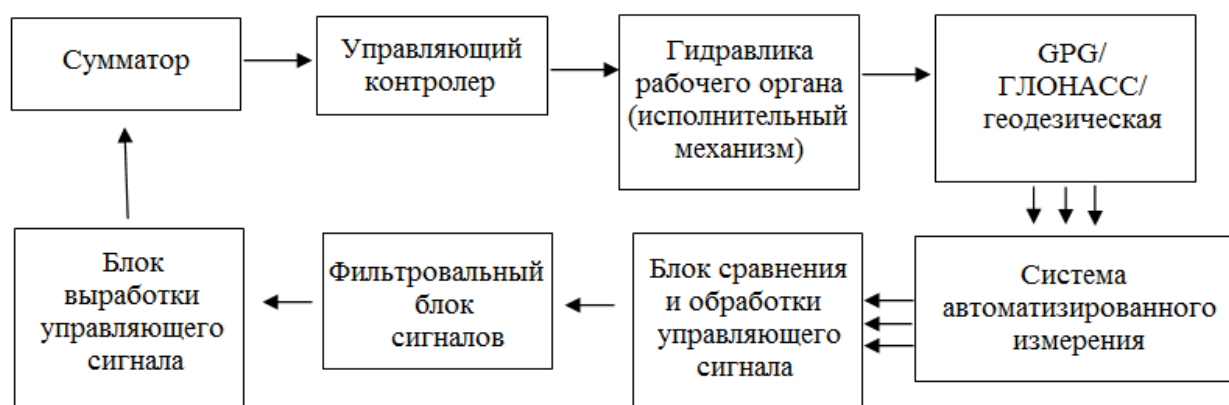


Рис. 4. Функциональная схема управления с учетом пространственного положения автогрейдера

Геодезическая система совместно с GPS/ГЛОНАСС навигациями не только определяют дискретное положение машины в пространстве, но и в реальном времени оценивает измерения в сравнении с заданным эталоном, благодаря введенному в систему фильтра Кальмана [6]. Фильтр выделяет и формирует определенные сигналы, которые устанавливают соответствующие переменные управления гидравликой исполнительного механизма машины.

Эффективность и функциональность управления, в значительной степени, зависит от способности синхронизации, частоты дискретных измерений, коммуникационной способности всей системы управления и временного интервала для формирования нового сигнала, характеризующего положение рабочего органа машины через управляющую переменную.

На динамическое поведение цикла управления влияют типичные изменения (движения) механических процессов (сцепление колес с грунтом, величина давления воздуха в колесах, погодные условия), пространственных образов (наличие растительности на местности, объектов с высокой отражающей способностью), возникающих на пути следования машины и изменений, вносимых в процессе работы в заданную программу нивелирования с учетом реальной обстановки [3, 5, 6].

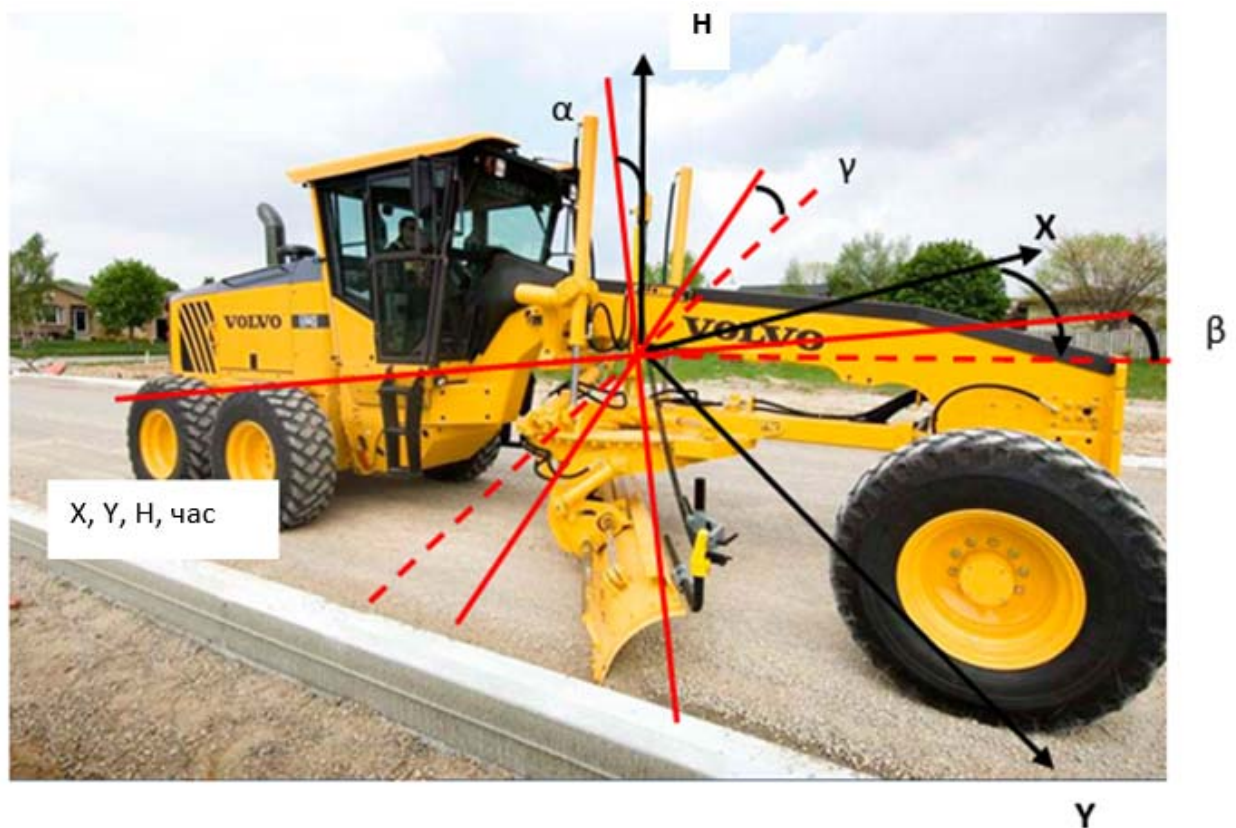


Рис. 5. Привязка опорной координатной системы относительно хребтовой балки в точке крепления поворотного круга;

- координатная ось;
- ось хребтовой балки машины

Для качественной координации всех операций требуется представление пространственной информации в трехмерном виде (3D - модель). Лазерное сканирование местности и объединенный в единый комплекс цифровая

фиксация местности с высокой четкости разрешения позволяет сформировать общий массив снимаемой информации с местности (точечный). Причем каждая точка характеризуется координатами ( $X, Y, Z$ ) и оптическим образом в дискретный момент времени ( $T$ ) с учетом интенсивности отраженного сигнала точки ( $I$ ). Использование оптических образов на объекте ведения работ способствует улучшению процесса, дешифровки который проводится в режиме онлайн.

Трехмерная модель пространства строится не только на основе внутренних приборов машины, но и на основании внешнего приборного обеспечения, расположенных на участке ведения работ. Сумматор коррелирует полученную информацию, как с внешних, так и с внутренних систем регистрации, и заданными проектом данными [8, 9].

По существу, строительная машина (рис. 5) – это трехмерное тело, которое движется в пространстве с определенной скоростью. Строящаяся геометрия дорожного профиля или другого объекта доступна в системе координат стройплощадки:

- координаты контрольной точки  $x, y, h$ ;
- ориентация  $\alpha, \beta, \gamma$  оси транспортного средства, связанная с местным направлением координатной сети, и выбранная координата (азимут, крен, шаг);
- а также время  $t$ , которое должно быть назначено параметрам (час).

К внешним источникам информации, а точнее датчикам можно отнести GPS/ГЛОНАСС или тахеометр, определяющие в дискретных интервалах разности координат точек, относительно точки (цели) местности/машинной антенне, которая закреплена на выносных кронштейнах (рис. 5). Это позволяет в динамике определить не только координаты машины, но и положение рабочего органа [5, 6, 7].

---

Измерения, производимые внутренними датчиками, закрепленными на машине (кренومتر-датчик наклона как самой машины, так и исполнительного механизма), дополнительно связаны с контрольной точкой контроллера (отвала).

Один датчик не в состоянии точно оценить правильность снимаемого показания, требуется целая система снятия измерений в нескольких контролируемых точках. Эти точки должны быть откалиброваны в системе координат хребтовой балки автогрейдера и установлены текущие внешне координаты местности (фактическое значение) для того, чтобы сделать поправки на справочные данные после введения плановой модели местности, чтобы произвести интерполяцию цифровой модели. Отклонения затем могут быть включены в процесс контроля с целью минимизации погрешности.

Становится очевидным, что преобразование систем координат местности в систему координат автогрейдера и из системы координат рабочего органа в систему координат строительной площадки имеют первостепенное значение. В тоже время необходимо учитывать и состояние рабочего органа (геометрический параметр, степень износа, угол заточки, угол реза для конкретных условий). Поэтому на контрольном участке должна производиться работа по калибровке работы системы АСУ.

Практические проблемы возникают не только с бесперебойной работой системы калибровки, подавлением помех, фильтрацией сигналов управления и выравнивания положения рабочего органа. В большинстве случаев движение автогрейдера или другой землеройной машины не бывает стабильной по скоростному режиму. Скорость движения может меняться в случае различного количества материала, срезаемого рабочим органом, или при изменении грунта. Методически это привело бы к решению системы с неопределенностью факторного пространства и решением теории нелинейных динамических систем [10].

---



В настоящее время задача по управлению работой автогрейдера решается вмешательством оператора машины. Поэтому управление не происходит полностью автоматически. Необходимо в любом случае нахождение оператора автогрейдера в машине с целью устранения сбоя работы АСУ и повышение безопасности на объекте.

### Литература

1. Пинт Э.М., Петровнина И.Н., Романенко И.И., Еличев К.А. Анализ формы печатных знаков для выявления существенных признаков и определения типа знака компьютером // Нива Поволжья. 2018. № 3 (48). С. 112-119.

2. Пинт Э.М., Петровнина И.Н., Романенко И.И., Еличев К.А. Исследование изображений печатных знаков разных шрифтов с целью выявления признаков, необходимых и достаточных для распознавания знаков компьютером // Инженерный вестник Дона, 2018, № 2 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4848](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4848).

3. Jaakkola M., Heikkilä R. Towards model based automation – different types of 3-D machine control models for the automatic control of road construction machinery // International symposium on automation and robotics in construction, 2003, pp. 17-28.

4. Прокопьев А.П., Емельянов Р.Т., Трещева А.И. Повышение эффективности автоматической системы нивелирования асфальтоукладчика. Разработка имитационной модели процесса ровности в среде MATLAB&Simulink // Молодой ученый. 2016. № 21. С. 199-201. URL: [moluch.ru/archive/125/31566/](http://moluch.ru/archive/125/31566/).

5. Чибуничев А. Г., Галахов В. П. Технология совместной обработки результатов наземного лазерного сканирования и цифровой фотосъемки // Инженерные изыскания. 2011. № 2. С. 32–36.

6. Kanzaki T. Prospects for automation and robotics revolutionizing ordinary Construction systems through advanced information technology // International symposium on automation and robotics in construction, 2003, pp. 41-54.

7. Комиссаров А.В., Калинина М.С. Методика совместного получения и обработки данных наземного лазерного сканирования и цифровой съемки // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2015. № 4. С. 39-42.

8. Щербаков В.С. Научные основы повышения точности работ, выполняемых землеройно-транспортными машинами: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.04. Омск, 2000. 416 с.

9. Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одинцов Е.В., Харитонович А.И., Пономарев Н.Б. Компьютерное моделирование в инженерной практике // Solid Works. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 800 с.

10. Grewal L., Mohinder S., Andrews K., Angus P. Kalman Filtering – Theory and practice // Prentice hall information and systems sciences series. New Jersey, 1993, pp. 63-76.

11. Целигорова Е.Н. Современные информационные технологии и их использование для исследования систем автоматического управления // Инженерный вестник Дона, 2010, № 3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2010/222.

### References

1. Pint Eh.M., Petrovnina I.N., Romanenko I.I., Elichev K.A. Niva Povolzh'ya. 2018. № 3 (48). pp. 112-119.

2. Pint Eh.M., Petrovnina I.N., Romanenko I.I., Elichev K.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2018. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4848.

3. Jaakkola M., Heikkilä R. International symposium on automation and robotics in construction, 2003, pp. 17-28.



4. Prokop'ev A. P., Emel'yanov R. T., Treshcheva A. I. Molodoj uchenyj. 2016. № 21. pp. 199-201 URL: [moluch.ru/archive/125/31566/](http://moluch.ru/archive/125/31566/).

5. Chibunichev A.G., Galahov V.P. Inzhenernye izyskaniya. 2011. № 2. pp. 32–36.

6. Kanzaki, T. International symposium on automation and robotics in construction, 2003, pp. 41-54.

7. Komissarov, A.V., Kalinina M.S. Izvestia vuzov. Geodeziya i aehrofotos"emka. 2015. № 4. pp. 39-42.

8. Shcherbakov V.S. Nauchnyye osnovy povysheniya tochnosti rabot, vpolnyayemykh zemleroyno-transportnymi mashinami [Scientific basis for improving the accuracy of work performed by earthmoving machines]: dis. ... d-ra tekhn. nauk: 05.05.04. Omsk, 2000. p. 416.

9. Alyamovskij A.A., Sobachkin A.A., Odincov E.V., Haritonovich A.I., Ponomarev N.B. Komp'yuternoye modelirovaniye v inzhenernoy praktike [Computer modeling in engineering practice]. Solid Works. SPb.: BHV-Peterburg, 2005. p.800.

10. Grewal L., Mohinder S., Andrews K., Angus P. Prentice hall information and systems sciences series. New Jersey, 1993, pp. 63-76.

11. Celigorova E.N. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2010, № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2010/222](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2010/222).