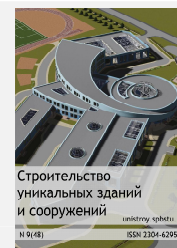


Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spb.ru



Технологичность строительных процессов при разработке траншей с использованием систем автоматического управления

И.А. Бердюгин¹, Н.И. Ватин², А.М. Югов³, А.В. Черкашин⁴

^{1,2,4} Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

³ Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, 86123, Украина, Донецкая область, Макеевка, ул. Державина, 2

Информация о статье

УДК 69.002.5

История

Подана в редакцию 08.01.2016

Ключевые слова

строительные машины;
строительные процессы;
земляные работы;
технологичность;
показатель технологичности;
системы автоматического
управления (САУ);
геодезические работы;

АННОТАЦИЯ

В сложных, часто стеснённых условиях строительной площадки при высокой интенсивности труда и сжатых сроках строительства, задача качественного выполнения земляных работ становится весьма актуальной. Так, выполнение планировочных работ с помощью современного бульдозера требует достаточно точного удержания отвала машины на проектной отметке, что является трудностью даже для опытных операторов машин. Системы Автоматического Управления (САУ) позволяют: поддерживать рабочий орган (отвал, барабан фрезы и др.) используемой строительной машины на требуемой проектной отметке в автоматическом режиме. В статье предложен анализ технологичности строительного процесса при разработке траншеи для прокладки трубопровода с использованием Системы Автоматического Управления Accugrade GPS/ГЛОНАСС (3D) и без САУ. Использование Систем Автоматизированного Управления AccuGrade привело к уменьшению времени выполнения работ на 32% в том числе из-за отсутствия необходимости выполнения геодезических работ. В связи с уменьшением времени работы экскаватора расход топлива снизился на 22%, на 16 % снизился объем выемки материала, на 60% меньше понадобилось материала для отсыпки банкетки. Коэффициент технологичности выполнения земляных работ с использованием САУ составил 1,1.

Содержание

1.	Введение	27
2.	Обзор литературы	27
3.	Постановка задачи	28
4.	Описание исследования	28
5.	Заключение	30

Контактный автор:

1. +7(921)1821600, anberd@mail.ru (Бердюгин Илья Андреевич, аспирант)
2. +7(921)9643762, vatin@mail.ru (Ватин Николай Иванович, д.т.н., профессор)
3. +7(931)5797054, amyurus@mail.ru (Югов Анатолий Михайлович, д.т.н., профессор)
4. +7(911)7737537, jizm@mail.ru (Черкашин Артемий Викторович, аспирант, инженер)

1. Введение

Строительные машины и оборудование используются для механизации работ на строительной площадке, производимых в разнообразных и быстроменяющихся условиях. Производительность и качество работы определяется не только характеристиками грунта и применяемой техники, но и знаниями, навыками, в том числе и утомляемостью и другими личными особенностями машинистов, управляющих машинами.

Земляные работы по трудоемкости составляют более 20% всех строительных работ. Ручное управление строительными машинами для земляных работ весьма утомительно, требует большой сосредоточенности машиниста, быстрой реакции. При работе бульдозера за смену оператор производит до 13 тыс. переключений рычагов управления, а на скрепоре до 6 тыс. Кроме того, не имея объективной информации о степени загрузки двигателя, перемещения рабочего органа (РО), глубине копания и т.д. он вынужден управлять «вслепую», что не обеспечивает требуемого качества выполнения работы. Поэтому повышение производительности, точности земляных работ, следовательно, и технологичности во многом определяется степенью автоматизации управления машиной, эффективностью и надежностью средств автоматики.

Если рассмотреть технологию разработки траншеи, то нетрудно заметить, что для землеройно-транспортных машин (ЗТМ) характерны те же самые задачи, что и для планировочных машин, т.е. задача выдерживания заданного продольного уклона траншеи, курса, производительности, поперечного уклона. В целом любая мобильная машина циклического действия имеет следующие режимы работы: копание (забор грунта), транспортировка грунта в заданную точку, возврат в забой, что составляет время цикла. Постоянная потребность проведения земляных работ и последующая нивелировка разрабатываемой поверхности требуют довольно значительных трудозатрат.

При использовании САУ контроль качества выполняемых работ осуществляется с помощью цифрового оборудования, установленного непосредственно в кабине оператора, что позволяет выполнить земляные работы с заданным качеством и точностью, при этом уменьшить объем геодезических работ, исключить переделку или вынужденную доработку.

Системы автоматизированного управления позволяют обеспечить:

1. расширение функциональных возможностей машин с применением программного и дистанционного управления для работы в недоступных, опасных или вредных для человека условиях;
2. упрощение труда машинистов за счет автоматического управления при выполнении отдельных технологических операций;
3. регулирование скорости рабочих движений, позиционирование РО;
4. повышение надежности машины, т.к. бортовые ЭВМ упрощают диагностику и обнаружение неполадок;
5. повышение безопасности работы с применением автоматической сигнализации и отключения привода в опасных ситуациях, что позволяет работать в условиях повышенной опасности.
6. увеличение рабочего времени машины.

Стоит также отметить, что в проведенном ранее исследовании отмечалось снижение расхода топлива более чем на 20% и улучшение ряда других характеристик работы строительной машины.

2. Обзор литературы

Проблема увеличения технологичности строительных процессов путем применения Систем Автоматического Управления на строительных машинах в российской экономике весьма актуальна. Значительный вклад в решение проблемы оценки эффективности применения новой техники и технологии внесли работы таких отечественных ученых как Вайнштейн Б. С., Гатовский Л. М., Волков О. И., Николаев С. Н., Волков Д. П., А.Ф. Тихонов, С.Л. Демидов, А.Н. Дроздов

Увеличение эксплуатационной производительности актуальна для всех видов строительных машин и под конкретный вид деятельности [1, 2]. С увеличением скорости может страдать качество работ, поэтому показатели подготовительных работ должны соответствовать нормативам, и в тоже время быть простыми, как для дорожного, так и, в общем, строительства [3, 4]. Кроме того, земляные работы должны быть безопасными и не создавать аварийных ситуаций, в том числе это касается котлованов. По данному направлению рассмотрены опасные случаи в работе [5]

В работе Гришина А.В и др. для увеличения производительности разработки тяжелых и мерзлых грунтов рассмотрено использование магнитострикционного виброрыхлителя. Установлено, что для наибольшей эффективности рыхления грунтов с использованием магнитострикционного виброрыхлителя

следует применять автоматическое поддержание резонансного режима системы рабочий орган – присоединенный грунт [6]. В работе [7] рассмотрена возможность применения алгоритмов управления с привязкой к системе координат и выработкой сигнала коррекции передвижения машин в дорожном строительстве, по результатам которой написана программа, которая обеспечивает качественное управление и задание траектории строительных машин дистанционно, что может существенно повысить качество выполняемых земляных работ. Оптимизировать операции строительного процесса можно так же с помощью использования метода анализа четвертой координаты рабочего процесса, минимизация которого поможет решить задачи по выбору традиционной техники с учетом эксплуатации [8].

Особое место уделяется геодезическим работам и планированию при разбивке территории. Данная составляющая земляных работ занимает существенную часть от всей работы [9]. Для упрощения данной задачи применяются глобальные спутниковые системы [10, 11]

Анализ литературы и других источников информации показывает, что оценить эффективность применения САУ можно через показатель технологичности процесса, составляющими которого являются расчетная стоимость возведения конструкции по сравнению с эталонным образцом и стоимость возведения эталонного варианта конструкции.

3. Постановка задачи

В результате анализа имеющейся литературы, можно сделать предположение о необходимости дальнейшего исследования методов оценки технологичности строительных процессов при использовании САУ. Прежде всего, по мнению авторов, необходимо выделить имеющиеся достоинства и недостатки известных на сегодняшний день методов, и на этой основе выявить возможность разработки дополнительных характеристик, либо критериев, позволяющих более точно определить показатель технологичности строительных процессов с помощью механизмов, оборудованных системами САУ.

Кроме того, необходимо выполнить ряд сравнительных расчётных работ по определению дополнительных технических и экономических показателей строительных машин, с использованием и без использования САУ (в частности, при выполнении земляных работ).

4. Описание исследования

В качестве исследуемого объекта использовался экскаватор Caterpillar 329dl с установленной системой автоматического управления AccuGrade.

Система САУ AccuGrade использует спутниковые технологии точного позиционирования GPS и ГЛОНАСС. Электронный блок управления в процессе работы сравнивает текущее положение рабочего органа машины с трёхмерной моделью местности и «подаёт» команды гидравлической системе управления строительной машины на опускание или подъём рабочего органа для формирования земляной поверхности в точном соответствии с проектом [12, 13, 14, 15].

Основным условием использования системы САУ AccuGrade является наличие на строительной площадке базовой станции GPS (GPS-приёмник и передающий радиомодем), установленной в точке с заданными плановыми координатами и высотной отметкой. Строительная машина должна быть оборудована одним или двумя GPS-приемниками, расположенными на корпусе машины, комплектом датчиков и контрольным блоком.

GPS-приёмник(и) на машине вычисляет свое положение, принимая в расчет поправки, передаваемые базовой станцией и принимаемые радиомодемом машины. Далее блок управления машины пересчитывает положение приёмника в необходимое положение и направление движения рабочего органа машины. Блок управления сравнивает полученные данные с проектными (загруженными в блок управления в виде 3D-поверхности) и отражает информацию на экран контрольного блока в кабине оператора в режиме реального времени. Это позволяет оператору видеть на экране положение рабочего органа. Одна базовая станция GPS обслуживает любое количество машин в зоне своего покрытия [16, 17, 18].

С помощью САУ было достигнуто оптимальный угол резания грунта при разработке котлована за счет рационального наполнения ковша и автоматического контроля его наполнения. Были автоматизированы следующие операции: автоматическая регистрация основных параметров, характеризующих работу двигателя и гидропривода, диагностика отдельных узлов машины и системы управления в целом, оптимизация режимов работы с целью снижения расходов топлива и уменьшения нагрузок на основные узлы машины, контроль технологических строительных процессов, выполняемых машиной.

В качестве примера рассматривалась работа экскаватора Caterpillar 329dl, используемого для разработки канализационной траншеи. В таблице 1 приведены итоговые значения ряда экономических показателей данного экскаватора.



Рисунок 1. Устройство траншеи для прокладки канализации

Таблица 1. Экономические показатели экскаватора Caterpillar 329dl

Наименование	Единицы измерения	Количество
Цена машины	\$	155 000
ТО/год или % от цены	%	5
Количество рабочих дней в году	дни	365
Количество рабочих смен в сутках	смена	1
Количество часов в смену	час	8
Эффективность использования	%	85
Количество моточасов в год	час	2482
Потребность топлива	л/час	18
Стоимость топлива	\$	0,4
Зарплата машиниста в месяц	\$	1 000
Стоимость машины в день	\$	103
Массовая производительность	м³/день	1 200

В ходе исследования были определены технические и экономические показатели указанного выше строительного процесса с использованием системы САУ и без неё. Данные представлены в таблице 2.

Таблица 2. Технические данные при разработке канализационной траншеи традиционным способом и с использованием системы AccuGrade GPS\ГЛОНАСС

Наименование	Традиционный способ	AccuGrade GPS\ГЛОНАСС
Время на геодезическую подготовку	85 мин.	2 мин.
Время выемки грунта	8 час. 32 мин.	6 час.35 мин.
Израсходовано топлива	162 л.	126 л.
Выемка грунта	1 703 м ³	1 428 м ³
Материал на отсыпку	153 м ³	62 м ³

Однако в результате проведения эксперимента были выявлены ряд организационных и технических недостатков использования данной системы управления:

- а) необходимость получения разрешения на использование радиочастоты в диапазоне УКВ 430-450 МГц для передачи поправок GPS/ГЛОНАСС;
- б) необходимость наличия чистого небосвода;
- с) различная точность измерения полученного результата в горизонтальном и вертикальном направлениях.

Тем не менее, несмотря на указанные недостатки, в данной статье предложена оценка технологичности земляных работ при использовании Системы Автоматического Управления Accugrade GPS/ГЛОНАСС (3D) строительными машинами.

На основании полученных практических данных был определен коэффициент технологичности земляных работ, выполняемых традиционным способом и с помощью САУ.

Коэффициент технологичности численно равен:

$$K_T = 1 + (C_3 - C) / C_3 \quad (1)$$

где C — стоимость выполнения рассматриваемого варианта выполнения работы;

C_3 — стоимость выполнения работы эталонного варианта;

$$C_3 = C_M + C_P + C_{HP} \quad (2)$$

где C_M — стоимость механизации;

C_P — стоимость рабочей силы;

C_{HP} — сумма накладных расходов;

При выполнении вычислительных работ коэффициент технологичности $K_T = 1,1$. Данный показатель означает, что вариант выполнения работы с САУ считается более технологичным.

5. Заключение

Анализируя полученные данные можно сделать следующие выводы:

1. практически отсутствует необходимость выполнения геодезических работ;
2. использование Систем Автоматизированного Управления AccuGrade привело к уменьшению времени выполнения основных работ на 32%;
3. расход топлива снизился на 22%;
4. объем выемки материала уменьшился на 16%;
5. количество материала, необходимого для отсыпки banquetки, сократилось на 60%;
6. коэффициент технологичности выполнения работ с применением САУ составил 1,1.

В заключении следует отметить, что полученные данные указывают на необходимость дальнейшего исследования применения современной техники с использованием системы автоматического управления AccuGrade при выполнении строительных процессов, определения оптимальной комбинации строительной техники с использованием САУ, увеличивающих технологичность строительных процессов, а, следовательно, снижающих затраты на выполнение работ и повышающих качество и точность выполнения работ.

Следует отметить, что системы автоматизированного управления на строительных машинах не высвобождают машиниста из процесса производства строительных работ, а помогают ему произвести корректировку работы строительной машины при отклонении от заданных технологических параметров.

Литература

- [1]. Беляев В. В., Беляев Н. В. Сравнительный анализ строительно-дорожных машин как объектов автоматизации // Строительно-дорожные машины. 2008. № 5. С. 50-51.
- [2]. Булатов Г. Я., Трехов А. А. Численное моделирование производительности экскаваторов. // Инженерно-строительный журнал. 2011. №2. С. 7-15.
- [3]. Герцог В.Н., Долгих Г.В., Кузин Н.В. Расчет дорожных одежд по критериям ровности. Часть 1. Обоснование норм ровности асфальтобетонных покрытий // Инженерно-строительный журнал. 2015. №5(57). С. 45–57.
- [4]. Калюжнюк М. М., Калюжнюк А. В. Упорядочение рабочих операций простых технологических процессов в строительстве // Инженерно-строительный журнал. 2011. №7(25). С. 87-99.
- [5]. Югов А. М., Новиков Н. С. Анализ аварийных ситуаций при возведении подземных частей зданий // Технология, организация, механизация и геодезическое обеспечение строительства. 2014. Выпуск 6 (110). С. 27-33.
- [6]. А.А. Гришин, А.В. Илюхин, В.И. Марсов. Постановка задачи автоматизации магнитострикционных виброрыхлителей для разработки тяжелых и мерзлых грунтов // Механизация строительства. 2013. №4 (826). С. 18-20.
- [7]. Кононов А. Д., Кононов А. А. Разработка алгоритма определения координат и сигнала рассогласования в задаче автоматического управления мобильными объектами в дорожном строительстве // Вестник ВГУ. Сер: Системный анализ и информационные технологии. 2014, № 1. С. 84-89.
- [8]. Баловнев В.И., Советбеков Б.С. Оптимизация режимов эксплуатации и выбора транспортно-технологических машин методами анализа четвертой координаты рабочего процесса. Вестник КРСУ. 2014. Том 14. № 12. С. 145-148.
- [9]. Жуховицкий Г.М., Карпов А.А. Повышение эффективности градостроительной деятельности в результате развития системы ведения дежурных планов застроенных территорий. Вестник МГСУ. 2016. №2. С. 186-193.
- [10]. Генике А.А., Побединский Г.Г. Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии. М.: Картгеоцентр. 2004 г. 355 с.
- [11]. Пресняков В.В. Использование глобальных спутниковых навигационных систем при корректировке и обновлении базовых карт и планов территорий. Современные проблемы науки и образования. №2. 2014.
- [12]. Максимычев О.И. Автоматизация управления машинами на линейных земляных работах // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2005. №2. С. 50-54.
- [13]. Anderson M. The wages of smart // Better Roads. 2010. No. 80 (10). Pp. 18-21.
- [14]. Duff K., Hyzak M. Struktural Monitoring with GPS // Public Roads. 1997. No. 4. Pp. 39-44.
- [15]. Geske, D.M. Redesigned track-type tractors from Caterpillar // Diesel Progress North American Edition. 2004. No. 70 (4). Pp. 28.
- [16]. Interaction mechanism of deep-buried frozen soil wall and surrounding earth mass in excavation unloaded state / Liu, B., Song, C.-J., Li, T., Yu, F. // Journal of the China Coal Society. 2012. No. 37 (11). Pp. 1834-1840.
- [17]. Automatic building identification using GPS and machine learning / Woodley R., Noll W., Barker J., Wunsch II D. C. // International Geoscience and Remote Sensing Symposium. 2010. art. no. 5653179. Pp. 2739-2742.
- [18]. Variation law of water-earth pressure of deep excavations during construction process // Yantu Gongcheng Xuebao / Zhang Y.-J., Ding W.-Q., Dong G.-H., Liu X.-Y., Liu W.-J. // Chinese Journal of Geotechnical Engineering. 2012. No. 34. Pp. 677-681.

Manufacturability of the construction processes in trench excavations with automatic control systems

I.A. Berdyugin¹, N.I. Vatin², A.M. Yugov³, A.V. Cherkashin⁴

^{1,2,4} Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

³ Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, 2, Derzhavin str., Makiyivka, Donetsk region, 86123, Ukraine

ARTICLE INFO

scientific article

doi:

Article history

Received 08.01.2016

Keywords

construction machines;
construction processes;
earthmoving;
manufacturability;
value;
automated control system (ACS);
geodetic works;

ABSTRACT

In a hard, often cramped conditions of the construction site with a high labor intensity and compressed construction time, the task of qualitative performance of excavation becomes very important. Thus, the implementation of planning works with the help of modern bulldozer requires accurate holding of the blade at design mark, which is a challenge even for experienced machine operators. Automatic control system (ACS) allows to keep working body (blade, drum mills, etc.) used by construction machines in the required design level automatically. The article offers an analysis of the technological process of the development of the construction trench for the pipeline with automatic control system Accugrade GPS / GLONASS (3D) and without ACS. Using of automated control systems AccuGrade resulted in a reduction of work time by 32%, also through unavailability of geodetic works. According to reduction of working hours excavator fuel consumption decreased by 22% and the amount of dredging material decreased by 16%, 60% less material is needed for the dumping of banquettes. Manufactural value of excavation works with ACS was 1.1

Corresponding author:

1. +7(921)1821600, anberd@mail.ru (Ilya Berdyugin, Postgraduate)
2. +7(921)9643762, vatin@mail.ru (Nikolai Vatin, Ph.D., Professor)
3. +7(931)5797054, amyus@mail.ru (Anatoliy Yugov, Ph.D., Professor)
4. +7(911)7737537, jizm@mail.ru (Artemiy Cherkashin, Postgraduate, engineer)

References

- [1]. Belyayev V. V., Belyayev N. V. Sravnitelnyy analiz stroitelno-dorozhnykh mashin kak obyektov avtomatizatsii // Stroitelno-dorozhnyye mashiny. 2008. № 5. S. 50-51.
- [2]. Bulatov G. Ya., Trekhov A. A. Chislennoye modelirovaniye proizvoditelnosti ekskavatorov. // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2011. №2. S. 7-15.
- [3]. Gertsog V.N., Dolgikh G.V., Kuzin N.V. Raschet dorozhnykh odezhd po kriteriyam rovnosti. Chast 1. Obosnovaniye norm rovnosti asfaltobetonnykh pokrytiy // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2015. №5 (57). S. 45-57.
- [4]. Kalyuzhnyuk M. M., Kalyuzhnyuk A. V. Uporyadocheniye rabochikh operatsiy prostykh tekhnologicheskikh protsessov v stroitelstve // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2011. №7(25). S. 87-99.
- [5]. Yugov A. M., Novikov N. S. Analiz avariynykh situatsiy pri vozvedenii podzemnykh chastey zdaniy // Tekhnologiya, organizatsiya, mekhanizatsiya i geodezicheskoye obespecheniye stroitelstva. 2014. Vypusk 6 (110). S. 27-33.
- [6]. A.A. Grishin, A.V. Ilyukhin, V.I. Marsov. Postanovka zadachi avtomatizatsii magnitostriksionnykh vibrorykhlyteley dlya razrabotki tyazhelykh i merzlykh gruntov // Mekhanizatsiya stroitelstva. 2013. №4 (826). S. 18-20.
- [7]. Kononov A. D., Kononov A. A. Razrabotka algoritma opredeleniya koordinat i signala rassoglasovaniya v zadache avtomaticheskogo upravleniya mobilnymi obyektami v dorozhnom stroitelstve // Vestnik VGU. Seri: Sistemnyy analiz i informatsionnyye tekhnologii. 2014, № 1. S. 84-89.
- [8]. Balovnev V.I., Sovetbekov B.S. Optimizatsiya rezhimov ekspluatatsii i vybora transportno-tekhnologicheskikh mashin metodami analiza chetvertoy koordinaty rabocheho protsessa. Vestnik KRSU. 2014. Tom 14. № 12. S. 145-148.
- [9]. Zhukhovitskiy G.M., Karpov A.A. Povyseniye effektivnosti gradostroitelnoy deyatelnosti v rezultate razvitiya sistemy vedeniya dezhurnykh planov zastroyennykh territoriy. Vestnik MGSU. 2016. №2. 186-193.
- [10]. Genike A.A., Pobedinskiy G.G. Globalnyye sputnikovyye sistemy opredeleniya mestopolozheniya i ikh primeneniye v geodezii. M.: Kartgeotsentr. 2004 g. 355 s.
- [11]. Presnyakov V.V. Ispolzovaniye globalnykh sputnikovyykh navigatsionnykh sistem pri korrektsirovke i obnovlenii bazovykh kart i planov territoriy. Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. №2. 2014.
- [12]. Maksimychyev O.I. Avtomatizatsiya upravleniya mashinami na lineynykh zemlyanykh rabotakh // Izvestiya vysshih uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo. 2005. №2. S. 50-54.
- [13]. Anderson M. The wages of smart // Better Roads. 2010. No. 80 (10). Pp. 18-21.
- [14]. Duff K., Hyzak M. Struktural Monitoring with GPS // Public Roads. 1997. No. 4. Pp. 39-44.
- [15]. Geske, D.M. Redesigned track-type tractors from Caterpillar // Diesel Progress North American Edition. 2004. No. 70 (4). Pp. 28.
- [16]. Interaction mechanism of deep-buried frozen soil wall and surrounding earth mass in excavation unloaded state / Liu, B., Song, C.-J., Li, T., Yu, F. // Journal of the China Coal Society. 2012. No. 37 (11). Pp. 1834-1840.
- [17]. Automatic building identification using GPS and machine learning / Woodley R., Noll W., Barker J., Wunsch II D. C. // International Geoscience and Remote Sensing Symposium. 2010. art. no. 5653179. Pp. 2739-2742.
- [18]. Variation law of water-earth pressure of deep excavations during construction process // Yantu Gongcheng Xuebao / Zhang Y.-J., Ding W.-Q., Dong G.-H., Liu X.-Y., Liu W.-J. // Chinese Journal of Geotechnical Engineering. 2012. No. 34. Pp. 677-681.

Бердюгин И.А., Ватин Н.И., Югов А.М., Черкашин А.В., Технологичность строительных процессов при разработке траншей с использованием систем автоматического управления // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. №9 (48). С. 26-33

Berdyugin I.A., Vatin N.I., Yugov A.M., Cherkashin A.V., Manufacturability of the construction processes in trench excavations with automatic control systems. Construction of Unique Buildings and Structures, 2016, 9 (48), Pp. 26-33. (rus)