

Эффективность применения систем автоматического управления (CAU) AccuGrade в строительстве

Efficiency of use of systems of automatic control of AccuGrade in construction

д.т.н., профессор Ватин Николай Иванович

*ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
директор Инженерно-строительного института
+7 (921) 964 3762; vatin@mail.ru
Санкт-Петербург
Российская Федерация*

D. Sc, Professor Nikolay Ivanovich Vatin

*Saint-Petersburg State Polytechnical University
Director of Institute of Civil Engineering
+7 (921) 964 3762; vatin@mail.ru
Saint-Petersburg
Russian Federation*

доцент Колосова Наталья Борисовна

*ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
nbkolosova@cef.spbstu.ru
Санкт-Петербург
Российская Федерация*

Associate Professor Natalia Borisovna Kolosova

*Saint-Petersburg State Polytechnical University
nbkolosova@cef.spbstu.ru
Saint-Petersburg
Russian Federation*

магистрант Бердюгин Илья Андреевич

*ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
+7 (921) 953 7354; anberd@mail.ru
Санкт-Петербург
Российская Федерация*

Graduate student Ilya Andreevich Berdugin

*Saint-Petersburg State Polytechnical University
+7 (921) 953 7354; anberd@mail.ru
Saint-Petersburg
Russian Federation*

Ключевые слова: строительные машины, земляные работы, экономическая эффективность, системы автоматического управления (CAU), геодезические работы.

Производительность и экономическая эффективность строительных работ зависит от того как точно и быстро работает строительная техника. Земляные и нивелировочные работы должны выполняться в очень сжатые сроки, поэтому успех зависит от персонала и используемых инструментов. Системы Автоматического Управления (CAU) позволяют: поддерживать рабочий орган (отвал, барабан фрезы и др.) машины на проектной отметке в автоматическом режиме, иметь цифровой проект в кабине машины, что приводит к увеличению точности работ, сокращению переделки и отказу в значительной мере от разбивочных геодезических работ.

В статье предложен анализ экономической эффективности использования Системы Автоматического Управления Accugrade GPS/ГЛОНАСС (3D) при земляных работах для устройства траншеи прокладки канализации. 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 28%, на 16 % снизился объем выемки материала, на 60% меньше понадобилось материала для отсыпки банкетки.

Key words: building machines, earth excavation, financial viability, automatic control systems, geodetic works.

Productivity and economic efficiency of construction works depends on that as precisely and quickly construction equipment works Earth and nivelirovochny works have to be performed in very short time therefore the success depends on the personnel and used tools.

The System of Automatic Control (SAC) allow: to support working body (a dump, a mill drum, etc.) cars on a design mark in an automatic mode, to have the digital project in a car cabin that leads to increase in accuracy of works, reduction of alteration and refusal considerably from marking geodetic works. In article the analysis of economic efficiency of use of System of Automatic Control of AccuGrade GPS/GLONASS (3D) is offered at earthwork for the device of a trench of laying of the sewerage. Use of Systems of Automated management of AccuGrade led to reduction of time of performance of work by 32% including due to the lack of need of performance of geodetic works.

Due to the reduction of operating time of the excavator fuel consumption decreased by 28%, the volume of dredging of a material decreased by 16%, it was required a material for dumping of a banketka 60% less.

1. Введение

Известно, что производительность и экономическая эффективность строительных работ зависит от того как точно и быстро работает строительная техника [8, 16, 19]. Постоянная потребность проведения земляных работ и последующая нивелировка разрабатываемой поверхности требует довольно значительных трудозатрат.

Земляные и связанные с ними геодезические работы, как правило, выполняются в очень сжатые сроки. В связи с этим, качество выполняемых работ во многом зависит от квалификации персонала и используемых инструментов, машин и механизмов [8, 9].

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 [3, 11, 14, 22].

Системы Автоматического Управления (CAU) позволяют: поддерживать рабочий орган (отвал, барабан фрезы и др.) используемой строительной машины на требуемой проектной отметке в автоматическом режиме.

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 объём геодезических работ, исключить переделку или вынужденную доработку [4, 6, 13, 21].

2. Обзор литературы

Проведённый анализ имеющейся литературы показывает, что обобщающими показателями экономической эффективности систем автоматического управления являются **срок окупаемости капитальных затрат на новую технику** и **коэффициент эффективности затрат на новую технику** (показатель, обратный сроку окупаемости) [1, 3].

Согласно [5], эффект – это результат, полученный в ходе производственной деятельности. Эффективность – это отношение эффекта к затратам на его получение [10, 12]. Экономическая эффективность строительных машин, в том числе и новой техники, определяется теми же методами, что и эффективность капитальных вложений, т.е. путем сопоставления затрат на новую технику с получаемым от ее применения эффектом.

В практике различают абсолютную (общую) и сравнительную эффективность новой техники [1, 2, 7, 12].

Абсолютная измеряется отношением получаемого от новой техники эффекта (в виде роста выпуска продукции и снижения ее себестоимости или увеличения прибыли) к затратам на ее создание и внедрение.

Сравнительная эффективность применяется для выбора оптимального из имеющихся вариантов новой техники, путем определения сроков окупаемости разности капитальных вложений по сравниваемым вариантам за счет экономии на текущих затратах или путем сравнения приведенных затрат по вариантам [2, 7].

Проблема эффективности 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. Однако следует отметить, что список литературы о целесообразности и экономической эффективности применения САУ достаточно беден; фундаментальных исследований по существу данной проблемы практически нет.

3. Постановка задачи

В результате анализа имеющейся литературы, можно сделать предположение о необходимости дальнейшего исследования методов современной оценки эффективности применения САУ при производстве земляных работ. Прежде всего, по мнению авторов, необходимо выделить имеющиеся достоинства и недостатки известных на сегодняшний день методов, и на этой основе выявить возможность применения дополнительных характеристик, либо критериев, позволяющих более точно определить эффективность применения строительных машин, оборудованных системами САУ.

Кроме того, необходимо произвести ряд сравнительных расчётных работ по определению 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 использовались строительные машины, выполняющие земляные работы (бульдозер Caterpillar D6n и экскаватор Caterpillar 329dl) с установленными системами 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 [13, 15, 17, 18].

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 [20, 23, 24].

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

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

Тем не менее, несмотря на указанные недостатки, в данной статье предложен анализ экономической эффективности использования Системы Автоматического Управления Accugrade GPS/ГЛОНАСС (3D) строительными машинами.

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



Рис. 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	347 л.	270 л.
Выемка грунта	1 703 м ³	1 428 м ³
Материал на отсыпку	153 м ³	62 м ³

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 банкетки, сократилось на 60%.

В заключении следует отметить, что полученные данные указывают на необходимость дальнейшего исследования применения современной техники с использованием системы автоматического управления AccuGrade.

Литература

1. Баканов М. И. Теория экономического анализа. М.: Изд-во Финансы и статистика, 2005. 288 с.
2. Беляев В. В., Беляев И. В. Сравнительный анализ строительно-дорожных машин как объектов автоматизации // Строительно-дорожные машины. 2008. № 4. С. 50-51.
3. Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического управления. СПб.: Изд-во Профессия, 2003. 747 с.
4. Брюханов В. Н., Косов М. Г., Протопонов С. П. [и др.] Теория автоматического управления. М: Высш. шк., 2000. 268 с.
5. Булатова А. С. Экономика: Учебник / Под ред. Булатова А. С. М.: Изд-во БЕК, 2007. 156 с.
6. Варфоломеев В. П. Технология и аппаратура автоматического управления строительно-дорожными машинами с использованием систем GPS\ГЛОНАСС // Строительные и дорожные машины. 2008. № 9. С. 32-37.
7. Вайнштейн Б. С. Методы определения экономической эффективности новой техники в строительстве, М. Изд-во Москва, 1963. 148 с.
8. Волков Д. П., Николаев С. Н. Повышение качества строительных машин. М.: Изд-во Москва, 1984. 200 с.
9. Гаркави Н. Г. Машины для земляных работ. М.: Изд-во Москва, 1982.157 с.
10. Гохберга Л. М. Статистика науки и инноваций. Краткий терминологический словарь. М.: Изд-во Центр исследований и статистики науки, 2005. 196 с.
11. Моделирование систем управления машин дорожно-строительного комплекса / Емельянов Р. Т., Прокопьев А. П., Климов А. С., Сорокин Д. И // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. Академика М.Ф. Решетнева. 2009. № 3. С. 124-128.
12. Максименко А. Н. Методика определения эффективности эксплуатации СДМ на всех этапах использования // Механизация строительства. 2011. № 5. С. 9-11.

13. Максимычев О.И. Автоматизация управления машинами на линейных земляных работах // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2005. №2. С. 50-54.
14. Эймер В., Опперман С., Редлих Р. [и др.] Перемещение грунтов. М: Изд-во Kirschbaum Verlag GmbH, 1990, 246 с.
15. Anderson M. The wages of smart // Better Roads. 2010. No. 80 (10). Pp. 18-21.
16. Caterpillar announces expanded GPS capabilities // Engineering and Mining Journal. 2006. No. 2(207). Pp. 54-55.
17. Duff K., Hyzak M. Struktural Monitoring with GPS // Public Roads. 1997. No. 4. Pp. 39-44.
18. Geske, D.M. Redesigned track-type tractors from Caterpillar // Diesel Progress North American Edition. 2004. No. 70 (4). Pp. 28.
19. Larocca A.P.C., Da Fonseca E.S., Schaal R.E. Structures Oscillations Monitoring with Global Positioning System and Adaptive Filtering Techniques // Structural Survey. 2010. No. 3. Pp. 197-206.
20. 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.
21. The Automation of Piling Rig Positioning Using Satellite GPS / Seward D. W., Scott J. N., Dixon R., Findlay J. D., Kinniburgh H. // Automation in Construction. 1997. No. 3. Pp. 229-240.
22. Trimble. Topcon in GPS deal // Civil Engineering. 1998. No. 2. Pp. 34.
23. 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.
24. 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.

References

1. Bakanov M. I. *Teoriya jekonomicheskogo analiza. M.: Izd-vo Finansy i statistika, 2005. 288 p. (rus)*
2. Beliaev V. V., Beliaev I. V. *Sravnitel'nyi analiz stroitel'no-dorozhnykh mashin kak ob"ektov avtomatizatsii // Stroitel'no-dorozhnye mashiny. 2008. No. 4. Pp. 50-51.*
3. Besekerskiy V.A., Popov E.P. *Teoriya sistem avtomaticheskogo upravleniya. SPb.: Izd-vo Professiia, 2003. 747 p. (rus)*
4. Briukhanov V.N., Kosov M.G., Protoponov S.P. *i dr. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya. M: Vyssh. shk., 2000. 268 p. (rus)*
5. Bulatova A. S. *Ekonomika: Uchebnik / Pod red. A.S.Bulatova. M.:Izd-vo BEK, 2007. 156 p. (rus)*
6. Varfolomeev V.P. *Tekhnolgiya i apparatura avtomaticheskogo upravleniya stroitel'no-dorozhnyimi mashinami s ispol'zovaniem sistem GPS/GLONASS // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2008. No. 9. Pp. 32-37. (rus)*
7. Vainshtein B. S. *Metody opredeleniya ekonomicheskoi effektivnosti novoi tekhniki v stroitel'stve, M. Izd-vo Moskva, 1963. 148 p. (rus)*
8. Volkov D. P., Nikolaev S. N. *Povyshenie kachestva stroitel'nykh mashin. M.: Izd-vo Moskva, 1984. 200 p. (rus)*
9. Garkavi N.G. *Mashiny dlia zemlianykh rabot. M.: Izd-vo Moskva, 1982.157 p. (rus)*
10. Gokhberga L.M. *Statistika nauki i innovatsii. Kratkii terminologicheskii slovar'./ Pod. red. L.M. Gokhberga. M.: Izd-vo Tsentr issledovaniy i statistiki nauki, 2005. 196 p. (rus)*
11. Emel'ianov R.T., Prokop'ev A.P., Klimov A.S., Sorokin D.I. *Modelirovanie sistem upravleniya mashin dorozhno-stroitel'nogo kompleksa // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. Akademika M.F. Reshetneva. 2009. № 3. Pp. 124-128. (rus)*
12. Maksimenko A. N. *Metodika opredeleniya effektivnosti ekspluatatsii SDM na vsekh etapakh ispol'zovaniya // Mekhanizatsiya stroitel'stva. 2011. № 5. Pp. 9-11. (rus)*
13. Maksimychev O.I. *Avtomatizatsiya upravleniya mashinami na lineinykh zemlianykh rabotakh // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo. 2005. № 2. Pp. 50-54. (rus)*
14. Eimer V., Opperman S., Redlikh R. *[et. al.] Peremeshchenie gruntov. M: Izd-vo Kirschbaum Verlag GmbH, 1990. 246 p. (rus)*
15. Anderson M. The wages of smart // Better Roads. 2010. No. 80 (10). Pp. 18-21. (rus)

16. Caterpillar announces expanded GPS capabilities // Engineering and Mining Journal. 2006. No. 2(207). Pp. 54-55.
17. Duff K., Hyzak M. Struktural Monitoring with GPS // Public Roads. 1997. No. 4. Pp. 39-44.
18. Geske, D.M. Redesigned track-type tractors from Caterpillar // Diesel Progress North American Edition. 2004. No. 70 (4). Pp. 28.
19. Larocca A. P. C., Da Fonseca E. S., Schaal R. E. Structures Oscillations Monitoring with Global Positioning System and Adaptive Filtering Techniques // Structural Survey. 2010. No. 3. Pp. 197-206.
20. 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.
21. The Automation of Piling RiG Positioning Using Satellite GPS / Seward D. W., Scott J. N., Dixon R., Findlay J. D., Kinniburgh H. // Automation in Construction. 1997. No. 3. Pp. 229-240.
22. Trimble. Topcon in GPS deal // Civil Engineering. 1998. No. 2. Pp. 34.
23. 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.
24. 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.