

ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 69.002.5

© Е. В. Куракина, канд. техн. наук, доцент
© П. А. Степина, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
© П. В. Дружинин, д-р техн. наук, профессор
(ВА МТО им. ген. армии А. В. Хрулева)
E-mail: elvl_86@mail.ru, pamallia@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-4-182-187

© E. V. Kurakina, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
© P. A. Stepina, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
© P. V. Druzhinin, Dr. Sci. Tech., Professor
(MA LT named after General A. V. Khrulev)
E-mail: elvl_86@mail.ru, pamallia@mail.ru

КОМПЛЕКСНАЯ МЕХАНИЗАЦИЯ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ В УСЛОВИЯХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР

COMPLEX MECHANIZATION OF EARTHWORK OPERATIONS IN CONDITIONS OF SUBZERO TEMPERATURES

Установлены цели комплексной механизации земляных работ в условиях отрицательных температур. Определены показатели эффективности эксплуатации наземных транспортно-технологических машин. Представлены показатели оценки эффективности комплексной механизации при рассматриваемых условиях. Рассмотрена специфика производства ремонтных работ в зимних условиях. Определены цели и задачи при производстве земляных ремонтных работ при разработке мерзлого грунта. Разработан комплект транспортно-технологических машин для выполнения земляных ремонтных работ в зимний период, предложены вспомогательные технологические машины и оборудование в зависимости от объема и вида разрабатываемого покрытия.

Ключевые слова: наземные транспортно-технологические машины, комплексная механизация, эффективность эксплуатации, зимние условия, разработка мерзлого грунта.

The article presents the study results of complex mechanization of earthwork operations in conditions of subzero temperatures. The authors set the goals of complex mechanization of earthwork operations and determine the indicators of efficiency of ground transport-technological machines' operations under conditions considered. The indicators of evaluating the efficiency of complex mechanization are presented. The repair works' specificity in winter conditions is highlighted. The goals and tasks in earthwork repair work performance in the frozen ground excavation are determined. A set of transport-technological machines for performing excavation repair works in the winter period has been determined, some auxiliary technological machines and equipment being offered, depending on the volume and type of the coating developed.

Keywords: ground transportation and technological machines, complex mechanization, operational efficiency, winter conditions, development of frozen ground.

Механизация производства земляных работ представляет собой замену ручного труда современными наземными транспортно-технологическими машинами (НТТМ) с целью повышения производительности деятельности, технического уровня производства, эффективности и качества работ, исключения трудоемких и утомительных операций. В условиях частичной механизации

НТТМ эксплуатируют при выполнении тяжелых и трудоемких работ, но доля ручного труда остается существенной. Примером может служить производство земляных работ при ремонте инженерных коммуникаций. После разработки грунта или предварительного вскрытия асфальтобетонного покрытия в целях исключения риска повреждения подземных коммуникаций работы ведутся вруч-

ную, что существенно снижает производительность труда и эффективное использование НТМ.

В зимний период выемка мерзлого грунта ограничена применением некоторых видов НТМ, что приводит к снижению их производительности и ускоренному износу рабочих органов и оборудования [1–4, 9]. Альтернативой существующей технологии является внедрение в практику производства земляных работ многофункциональных вакуумных экскаваторов, способных выполнять работы при отрицательных температурах. Мерзлый грунт представляет собой многокомпонентную систему, обладающую механической прочностью. В зависимости от вида грунта установлены значения глубины его промерзания: суглинки и глины — 0,98...1,2 м, песок мелкий и супесь — 1,2...1,32 м, песок крупный, гравелистый — до 1,28 м.

Эффективность выполнения работ НТМ в комплексе характеризует система показателей, отражающих соотношение затрат ресурсов и получаемых результатов. Показатели оценки эффективности комплексной механизации при рассматриваемых условиях представлены в табл. 1.

Комплексная механизация осуществляется на основе рационального обоснования и выбора техники и оборудования для обеспечения эффективности выполнения функционально-технологических операций. Комплексная механизация земляных работ в условиях отрицательных температур осуществляется группой машин. Для объективной оценки эффективности ведущего вакуумного экскаватора (ВВЭ) его показатели необходимо соизмерять с учетом работы вспомогательных машин, то есть всего комплекта НТМ. Основной оценкой эксплуатационных качеств НТМ является показатель производительности, то есть количество качественной продукции в единицу времени, например объем разработанного грунта, помещенного в контейнер вакуумного экскаватора, м³/ч. Техническую и эксплуатационную производительности позволяют уточнить удельные показатели энергомкости, металлоемкости и трудовых затрат при работе НТМ.

Немаловажным фактором является отсутствие простоев техники, потеря рабочего времени машин в течение смены, снижение расходов, со-

кращение НТМ в механизированном комплексе машин и специалистов, обслуживающих их. Показателем эффективной эксплуатации НТМ является выработка на одного специалиста p , в случае эксплуатации вакуумного экскаватора данный показатель по величине совпадает с производительностью [9].

Комплект машин для производства земляных работ в условиях отрицательных температур представлен в табл. 2 [9, 11]. Эффективность выбранного комплекта машин определяется по приведенным затратам на выполнение единицы продукции. Необходимым критерием правильного выбора комплекта машин являются минимальные значения удельных приведенных затрат [12–15].

Схема соединений машин в механизированном комплексе представляет собой последовательную цепочку НТМ. При последовательном соединении НТМ при проведении земляных ремонтных работ инженерных коммуникаций возможны простой машин, однако многофункциональность ВВЭ и его операций позволяет при его применении получить значительное преимущество по времени [5–8, 10, 11]. В качестве вспомогательных машин (малая механизация) в процессе производства используется шовнарезчик для асфальтобетонных покрытий.

Основное условие комплексной механизации и правильного комплектования машин — обоснованный технико-эксплуатационными свойствами подбор НТМ для производства земляных работ в условиях отрицательных температур. Такой подбор основан на числе машин, участвующих в функционально-технологических операциях, и минимизации этого числа. Все выбранные НТМ в комплекте полностью соответствуют условиям выполняемых работ. При комплектовании машин учитывается важный фактор — целесообразность подбора машин по типу и размеру, обеспечивающая эффективность комплексной механизации всех функционально-технологических процессов.

Библиографический список

1. Kurakina E., Evtyukov S. Methodology for the reconstruction and investigation of causes of accidents in the parameters of vehicle condition and road

Таблица 1

Показатели оценки эффективности НТГМ

Наименование показателя	Характеристика показателя
Сменная эксплуатационная производительность $\Pi_3 = \left(\prod_{k-p} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdots k_n \right) \frac{T_{cm} \cdot t_p}{t_p + t_n + t_{pm} + t_{po}}$ (1)	Π_{k-p} — часовая производительность НТГМ, м ² /ч; k_i — коэффициенты наполнения рабочего органа грунтом; T_{cm} — продолжительность рабочей смены, ч; t_p — чистое время работы НТГМ; t_n — продолжительность всех перерывов; t_{pm} — продолжительность холостых передов НТГМ; t_{po} — затраты времени на подготовительные операции
Годовая эксплуатационная производительность $\Pi_3^3 = \Pi_{cm}^3 \cdot k_{cm} \cdot (365 - t_b - t_{rem} - t_m)$ (2)	Π_{cm}^3 — сменная эксплуатационная производительность НТГМ; k_{cm} — коэффициент годового использования НТГМ; t_b — количество выходных и праздничных дней в году; t_{rem} — количество дней простоя НТГМ для выполнения всех видов Р; t_m — продолжительность организационных и метеорологических простоев
Техническая производительность для НТГМ периодического действия	q — геометрическая емкость ковша, м ³ ; T_n — продолжительность цикла, с
$\Pi_p = \frac{3600q}{T_n}$ (3)	
Критерий оценки эффективности НТГМ $\eta_{\text{эфф}} = \frac{(m_r g) \cdot V}{N_{\text{дв}}}$ (4)	m_r — масса перевозимого груза; V — скорость транспортного средства; $N_{\text{дв}}$ — потребная мощность двигателя НТГМ
Коэффициент использования машины по времени $k_B = \frac{t_p}{t_p + t_n + t_{pm} + t_{po}}$ (5)	t_p — чистое время работы машины; t_n — продолжительность всех перерывов (организованных, технологических, конструктивно-технологических и метеорологических); t_{pm} — продолжительность холостых передов машин; t_{po} — затраты времени на подготовительные операции
Коэффициент эффективности использования машины $K_n = \frac{\Pi_\phi}{\Pi_n}$ (6)	Π_ϕ , Π_n — соответственно фактическая и плановая (нормативная) производительность машины за рассматриваемый период времени
Коэффициент механизации работ $K_M = \frac{V_M}{V_o}$ (7)	V_M — объем работ, выполненный механизированным способом, м ³ ; V_o — общий объем работ, м ³
Выработка на одного специалиста $P = \frac{\Pi_3}{\sum n_p}$ (8)	$\sum n_p$ — общее число работников, обслуживающих НТГМ
Удельная энергоемкость, кВт/(м ³ в смену) $N_{уд} = \frac{\sum N_{\text{дв}}}{\Pi_3}$ (9)	$N_{\text{дв}}$ — мощность двигателя НТГМ, Вт

Окончание табл. 1

Наименование показателя	G — вес НГТМ, кг	Характеристика показателя
Удельная металлоемкость, кг/(м ³ в смену)	$G_{yд} = \frac{\sum G}{\Pi_9}$ (10)	
Себестоимость единицы продукции при работе комплекса машин, руб./м ³	$C = \frac{C_{M,CM1}n_1 + C_{M,CM2}n_2 + \dots + C_{M,CMi}n_i}{\Pi_9}$ (11)	$C_{M,CM1}, C_{M,CM2}, \dots, C_{M,CMi}$ — себестоимость машино-смен НГТМ разных типов, входящих в комплект; n_1, n_2, \dots, n_i — количество НГТМ каждого типа в комплекте
Уровень комплексной механизации земляных работ в зимний период, %	$Y_{K,M} = \left(\frac{Q_{K,M}}{Q_o} \right) \cdot 100$ (12)	$Q_{K,M}$ — объем работ, выполненный комплексно-механизированным способом; Q_o — общий объем работ
Приведенные затраты на производство единицы продукции, руб./ед. продукции	$Z_{yд} = C + E_h K_{yд}$ (13)	C — себестоимость единицы продукции, руб./ед. прод.; $K_{yд}$ — удельные капитальные затраты, отнесенные к единице продукции, руб./ед. прод.; E_h — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений

Таблица 2

Комплект машин для выполнения земляных ремонтных работ в зимний период

Вариант комплекта	Условия	Назначение работ						
		Вид покрытия	Площадь, м ²	Разработка мерзлого грунта/заснеженного покрытия	Погрузка мерзлого грунта/покрытия	Транспортирование мерзлого грунта/покрытия	Обратная засыпка и разравнивание грунта	Укладка покрытия
1	Грунтовое покрытие	—			VВЭ		Самосвал КаМАЗ 5511, экскаватор JCB 4CX Super II размерной группы с вместимостью ковша 0,65 м ³	—
2	Асфальтобетонное покрытие	1–1,5	Шовнарезчик для асфальтобетонных покрытий		VВЭ		Самосвал КаМАЗ 5511, экскаватор JCB 4CX Super II размерной группы с вместимостью ковша 0,65 м ³	Асфальтобетонная машина
3	Асфальтобетонное покрытие	1,5 и более	Баровая машина на базе МТЗ-82		VВЭ		Самосвал КаМАЗ 5511, экскаватор JCB 4CX Super II размерной группы с вместимостью ковша 0,65 м ³	Асфальтобетонная машина

environment // In proceedings of 12th International Conference «Organization and Traffic Safety Management in large cities», 28–30 September 2016, St. Petersburg, Russia // Transportation Research Procedia. 2017.

2. Белецкий Б. Ф., Булгакова И. Г. Строительные машины и оборудование: учеб. пособие. 3-е изд., стер. СПб.: Лань, 2012. 608 с.

3. Волков С. А., Евтиков С. А. Строительные машины: учебник для строит. вузов; под общ. ред. проф. С. А. Волкова. СПб.: ООО «Изд-во «ДНК»», 2008. 704 с.

4. Евтиков С. С., Чудаков А. В., Куракина Е. В. Наземные транспортно-технологические машины: учебник; под общ. ред. С. А. Евтикова. СПб.: ИД «Петрополис», 2016. 504 с.

5. Куракина Е. В. Диагностическое исследование элементов автомобильных дорог на участках ДТП неразрушающим контролем // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 6 (59). С. 231–237.

6. Евтиков С. С., Чудаков А. В., Куракина Е. В. Наземные транспортно-технологические машины и комплексы: учебник для вузов. СПб.: ИД «Петрополис», 2017. 644 с.

7. Куракина Е. В. Об отклонении нормативных характеристик показателей автомобильной дороги (на примере аварийно-опасных участков дорог Ленинградской области) // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 2. URL: <http://www.science-education.ru/116-12865>.

8. Куракина Е. В. Экспертная характеристика автомобильной дороги в дорожно-транспортной экспертизе // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5. URL: <http://www.science-education.ru/111-10273>

9. Куракина Е. В. Эффективность использования наземных транспортно-технологических машин // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 3 (56). С. 203–208.

10. Куракина Е. В., Евтиков С. С. Инженерно-техническая экспертиза наземных транспортных средств: учеб. пособие. СПб.: СПбГАСУ, 2016. 82 с.

11. Куракина Е. В. Техническая эксплуатация наземных транспортно-технологических машин // Доклады 69-й науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Актуальные проблемы современного строительства». СПб.: СПбГАСУ, 2016.

12. Степина П. А. Анализ основных принципов безопасности при эксплуатации транспортно-технологических машин // Материалы 67-й науч. конф. профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. СПб.: СПбГАСУ, 2010. Ч. 2. С. 208–212.

13. Степина П. А. Нормы расхода эксплуатационных материалов транспортно-технологических машин на автомобильной базе и рекомендации по их

рациональному использованию // Материалы 65-й науч. конф. профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. СПб.: СПбГАСУ, 2008. С. 186–191.

14. Степина П. А. Повышение уровня безопасности эксплуатации транспортно-технологических машин в строительстве в современных условиях // Материалы 60-й междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. «Актуальные проблемы современного строительства». СПб.: СПбГАСУ, 2007. Ч. 2. С. 183–187.

15. Степина П. А., Подопригора Н. В. Организация и планирование производства. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та ГПС МЧС России, 2016. 82 с.

References

1. Kurakina E., Evtyukov S. *Methodology for the reconstruction and investigation of causes of accidents in the parameters of vehicle condition and road environment*. Proc. of the XII Int. conf. "Organization and Traffic Safety Management in large cities", September 28–30, 2016, St. Petersburg, Russia. *Transportation Research Procedia*, 2017.
2. Beletskiy B. F., Bulgakova I. G. *Stroitel'nye mashiny i oborudovanie: ucheb. posobie* [Construction machines and equipment. Teaching manual]. 3-rd ed., revised. St. Petersburg, Lan' Publ., 2012, 608 p.
3. Volkov S. A., Evtyukov S. A. *Stroitel'nye mashiny. Uchebnik dlya stroitel'nykh vuzov* [Construction machines. Teaching manual for construction higher schools]. Ed. by Volkov S. A. St. Petersburg, DNK Publ., 2008, 704 p.
4. Evtyukov S. S., Chudakov A. V., Kurakina E. V. *Nazemnye transportno-tehnologicheskie mashiny. Uchebnik* [Land transport technological machines. Textbook]. Ed. by Evtyukov S. A. St. Petersburg, Petropolis Publ., 2016, 504 p.
5. Kurakina E. V. *Diagnosticheskoe issledovanie ehlementov avtomobil'nykh dorog na uchastkakh DTP nerazrushayushchim kontrolem* [Diagnostic work-up of the motor road elements at the site of traffic accident by nondestructive testing technique]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2016, no. 6 (59), pp. 231–237.
6. Evtyukov S. S., Chudakov A. V., Kurakina E. V. *Nazemnye transportno-tehnologicheskie mashiny i kompleksy. Uchebnik dlya vuzov* [Land transport technological machines and complexes. Textbook for higher educational institutions]. St. Petersburg, Petropolis Publ., 2017, 644 p.
7. Kurakina E. V. *Ob otklonenii normativnykh kharakteristik pokazateley avtomobil'noy dorogi (na primere avariyno-opasnykh uchastkov dorog Leningradskoy oblasti)* [About deviation of normative characteristics of the highway indicators (on the example of accident-prone road sections of the Leningrad Region)]. *Sovremennye*

problemy nauki i obrazovaniya – Modern problems of science and education, 2013, no. 2. Available at: <http://www.science-education.ru/116-12865>.

8. Kurakina E. V. *Ehkspertnaya kharakteristika avtomobil'noy dorogi v dorozhno-transportnoy ehkspertize* [The expert estimation of the highway road in the transport examination]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya – Modern problems of science and education*, 2013, no. 5. Available at: <http://www.science-education.ru/111-10273>.

9. Kurakina E. V. *Ehffektivnost' ispol'zovaniya nazemnykh transportno-tehnologicheskikh mashin* [The efficiency of using land transport and technological machines]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2016, no. 3 (56), pp. 203–208.

10. Kurakina E. V., Evtyukov S. S. *Inzhenerno-tehnicheskaya ehkspertiza nazemnykh transportnykh sredstv. Ucheb. posobie* [Technical examination of land vehicles. Teaching manual]. St. Petersburg, SPSUACE Publ., 2016, 82 p.

11. Kurakina E. V. *Tekhnicheskaya ehkspluatatsiya nazemnykh transportno-tehnologicheskikh mashin* [Technical operation of land transport technological machines]. *Trudy 69-y nauch.-prakt. konf. studentov, aspirantov i molodykh uchenykh «Aktual'nye problemy sovremennoego stroitel'stva»* [Proc. of the 69-th. sci.-pract. conf. of students, graduate students and young scientists “Current problems of modern construction”]. St. Petersburg, SPSUACE Publ., 2016.

12. Stepina P. A. *Analiz osnovnykh printsipov bezopasnosti pri ehkspluatatsii transportno-*

tekhnologicheskikh mashin [Analysis of the basic principles of safety at operation of transport technological machines]. *Trudy 67-y nauch.-prakt. konf. studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Proc. of the 67-th. sci.-pract. conf. of students, graduate students and young scientists]. St. Petersburg, SPSUACE Publ., 2010, pt. 2, pp. 208–212.

13. Stepina P. A. *Normy raskhoda ehkspluatatsionnykh materialov transportno-tehnologicheskikh mashin na avtomobil'noy baze i rekomendatsii po ikh ratsional'nomu ispol'zovaniyu* [Consumption rates of operational materials of transport technological machines on automobile base and recommendations about the rational use]. *Trudy 65-y nauch. konf. professorov, prepodavateley, nauchnykh rabotnikov, inzhenerov i aspirantov universiteta* [Proc. of the 65-th. Sci.-pract. conf. of professors, teachers, scientific workers, engineers, and graduate students]. St. Petersburg, SPSUACE Publ., 2008, pp. 186–191.

14. Stepina P. A. *Povyshenie urovnya bezopasnosti ehkspluatatsii transportno-tehnologicheskikh mashin v stroitel'stve v sovremennykh usloviyakh* [Increasing the level of safety of operation of trancport-technological machines in construction in modern conditions]. *Trudy 60-y mezhdunar. nauch.-tehn. konf. molodykh uchenykh. «Aktual'nye problemy sovremennoego stroitel'stva»* [Proc. of the 60-th. Int. sci.-pract. conf. of young scientists “Current problems of modern construction”]. St. Petersburg, SPSUACE Publ., 2007, pt. 2, pp. 183–187.

15. Stepina P. A., Podoprígora N. V. *Organizatsiya i planirovanie proizvodstva* [Organization and planning of production]. St. Petersburg, IGPS Publ., 2016, 82 p.