УДК 656.13.08:65.012.12

© Е. В. Куракина, канд. техн. наук, доцент
© А. А. Шиманова, канд. техн. наук, ст. преподаватель
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
© А. Н. Лялинов, д-р техн. наук, профессор
(Петербургский государственный университет путей
сообщения Императора Александра I)
E-mail: elvl_86@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-3-200-206

© E. V. Kurakina, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
© A. A. Shimanova, PhD in Sci. Tech., senior teacher
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
© A. N. Lyalinov, Dr. Sci. Tech., Professor
(Emperor Alexander I St. Petersburg
State Transport University)
E-mail: elvl_86@mail.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

IMPROVING THE MANAGEMENT SYSTEM OF THE LIFE CYCLE OF GROUND TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES

Изложены научные основы обеспечения работоспособного состояния наземных транспортно-технологических машин при их технической эксплуатации. Представлены факторы (внешняя среда, физико-механические свойства материалов, режим работы и внешний уход, техническое обслуживание и ремонт, обновление программного обеспечения), воздействующие на жизненный цикл, а также последствия оказываемого воздействия. Представлен жизненный цикл пневмотранспортной установки и воздействующие на нее факторы. Обобщены существующие и представлены усовершенствованные конструкционные, эксплуатационные и технологические мероприятия по повышению качества, работоспособности, долговечности, безотказности транспортных средств.

Ключевые слова: наземные транспортно-технологические машины, жизненный цикл, техническая эксплуатация, надежность, работоспособность, производительность.

Some basic scientific principles for maintaining ground transport-technological machines in operational condition are considered in the article. Factors (such as external environment, physical and mechanical properties of materials, work mode and external care, maintenance and repair, software updating) influencing the life cycle of ground transport and technological machines, as well as the consequences of such impact are highlighted. The authors describe the life cycle of the pneumatic transport installation and the factors affecting it. Currently used and improved structural, operational and technological measures aimed at improving the quality, operability, durability, and reliability of vehicles are summarized.

Keywords: ground transport and technological machines, life cycle, technical maintenance, reliability, operability, performance.

При производстве строительных работ используют огромный парк наземных транспортно-технологических машин (НТТМ) и оборудования, в структуре которого произошли существенные технические и технологические изменения. Технический прогресс в дорожно-строительной сфере способствовал повышению производительности техники и технического уровня ее конструкции. Существующий парк НТТМ и его оснащенность позволяют комплексно механизировать строительные, дорожные работы на всех этапах производства и создавать

практические возможности для интенсификации сфер деятельности, что будет способствовать существенному повышению производительности труда, снижению затрат как на трудовые, так и на материальные ресурсы.

Повышение сложности конструкций НТТМ и оборудования и интенсивный рост внедрения техники в производство взаимосвязаны с поддержанием качества и надежности при их технической эксплуатации, задача которой — обеспечить длительную работоспособность НТТМ с максимальной производительностью при наи-

меньших затратах. Техническая эксплуатация включает в себя мероприятия, обеспечивающие функционирование всех жизненных циклов транспортно-технологических машин (ТТМ) (рисунок).

Наибольшая вероятность возникновения неисправностей и отказов возникает посредством воздействия процессов износа и коррозии на рабочие детали, узлы и поверхности НТТМ. При этом отказ происходит не сразу, а только после того, как значения величин износа и коррозии достигли критической точки, то есть до момента предельного состояния ТС или рабочих узлов.

К основным причинам неисправностей и отказов НТТМ можно отнести:

- износные и коррозионные воздействия и явления (80–90 %): изменение геометрических размеров и форм поверхностей деталей, прогиб, нарушение перпендикулярности, соосности, параллельности, потери твердости, упругости, появление трещин;

- поломки и аварии (4–8 %);
- внезапные отказы (8–10 %) [1, 4].

Работоспособное техническое состояние НТТМ зависит от групп факторов, представленных в таблице.

На примере пневмотранспортной установки (ПТУ) можно рассмотреть жизненный цикл эксплуатируемой техники и воздействующие на

нее факторы. Доля периода работоспособного состояния ПТУ от общей продолжительности жизненного цикла будет зависеть от корректной реализации каждого этапа, входящего в данный период. На первом – пятом этапах (см. рисунок) необходимо обеспечить анализ с постановкой задач и определением функционального назначения ПТУ; разработку технического решения ПТУ и реализацию проекта (изготовление, монтаж, испытание и ввод в эксплуатацию ПТУ), складирование, подготовку к перевозке и доставку потребителю. При реализации шестого – седьмого этапов необходимо: создать условия хранения ПТУ на складах, а именно — определить место хранения (навес, закрытый склад, отапливаемое помещение и т. д.), чтобы обеспечить сохранность ее качеств и защиту оборудования от влияния внешней среды. Наиболее весомый вклад в продолжительность жизненного цикла ПТУ вносит максимально корректная реализация восьмого – десятого этапов. Оборудование начинает исполнять свое прямое назначение и проявлять все свои служебные качества и свойства. На этой стадии обеспечивается, поддерживается и восстанавливается качество оборудования [8–10]. Период эксплуатации заканчивается при наступлении предельного состояния, обусловленного либо снижением эффективности, либо требованиями безопасности. На данном

Жизненный цикл НТТМ: 1 — предпродажная подготовка ТТМ; 2 — технологическое обслуживание; 3 — продажа ТТМ; 4 — ввод в эксплуатацию ТТМ; 5 — транспортирование ТТМ; 6 — хранение неиспользуемого ТТМ в заданном состоянии; 7 — ожидание использования ТТМ по назначению; 8 — выполнение функционально-технологических операций ТТМ; 9 — проведение ремонта ТТМ; 10 — система технического обслуживания и ремонта; 11 — неработоспособное состояние ТТМ; 12 — снятие ТТМ с эксплуатации; 13 — конец эксплуатации ТТМ

Воздействие факторов на жизненный цикл НТТМ [3–8]

Воздействующие факторы	Очаг воздействия и протекания процесса	Результат воздействия	Последствия воздействия
Внешняя среда	Истирание рабочих органов, систем	Коррозионно-механическое изнашивание. Истирание поверхностей. Микрповреждения. Окислительное изнашивание	Нарушение режимов работы НТТМ либо отказ деталей или механизмов
Физико-механические свойства материалов	Детали, узлы, механизмы, рабочее оборудование	Изнашивание	Изменение геометрических размеров, массы и объема деталей
		Пластические деформации	
		Разупрочнение	
		Коррозионное разрушение деталей	Образование очаговых и глубинных повреждений; уменьшение или увеличение массы детали; снижение прочностных свойств металла; изменение электросопротивления поверхности металла
		Усталость и старение материала	Рост внутренних повреждений материала под действием нагрузок
Эксплуатационные материалы	Контактирующие механизмы и соединения	Загрязнение топлив, горюче-смазочных материалов и рабочих жидкостей механическими примесями	Ухудшение эксплуатационных свойств, потеря работоспособности как материалов, так и механизмов
Режим работы	Рабочая операция	Время, в течение которого НТТМ выполняет функционально-технологические операции	Определение технико-экономических показателей эффективной эксплуатации НТТМ
	Процесс подготовки к рабочей операции	Время подготовки НТТМ к работам	
	Ожидание работ или выполнение ремонтных работ	Время перерывов и простоев	
Рациональное применение НТТМ	Назначение по виду выполнения работ	Анализ и оценка параметров производственных условий работы одной НТТМ с другой	Выявление наибольшей экономической эффективности и производительности оцениваемых НТТМ
Техническое обслуживание (ТО)	НТТМ, рабочие органы	Снижение скорости изнашивания	Повышение показателей безотказности, снижение времени простоев при выполнении ремонтных работ и между обслуживаниями. Уменьшение удельной стоимости отказов, увеличение ресурса НТТМ
		Обеспечение требуемого уровня вероятности безотказной работы в периоды между обслуживаниями [2, 4]	
		Эффективное применение ГСМ	
Внешний уход	Рабочее оборудование и другие рабочие органы	Повышенная загрязненность	Ежедневная очистка от грунта, различных вяжущих, цементобетонных смесей и т. д.

Воздействующие факторы	Очаг воздействия и протекания процесса	Результат воздействия	Последствия воздействия
Крепежные работы	Конструкция НТТМ. Системы жидкостей и газов	Повышение работоспособности соединений, машины в целом	Повышение безопасности передвижения техники и выполнение функционально-технологических операций (ФТО). Обеспечение прочности конструкции и, как следствие, повышение надежности и долговечности НТТМ. Сохранение герметичности системы без утечки жидкостей и газов
Проведение ремонта: текущий ремонт	Детали, узлы, механизмы, навесное оборудование	Замена или восстановление изношенных деталей или агрегатов, кроме базовых, при частичной разборке ТС [3]	Восстановление работоспособного состояния машины
капитальный ремонт		Замена или восстановление в основном базовых деталей, агрегатов НТТМ	
Обновление программного обеспечения НТТМ или рабочей системы	Блок управления НТТМ и ФТО	Изменение или усовершенствование ФТО НТТМ	Повышение качества выполняемых ФТО, установка дополнительных функций. Повышение работоспособности НТТМ, производительности, эффективности работ, экономичности
Чрезвычайные происшествия	Конструктивные параметры НТТМ	Активация параметров активной и пассивной безопасности НТТМ [11–13]	Повышение послеаварийной безопасности НТТМ [11–13]

этапе ПТУ сталкивается с агрессивным комплексным воздействием групп факторов, непосредственно влияющих на продолжительность этапа работоспособного состояния ПТУ. Основываясь на анализе априорной информации и многочисленных исследованиях в области износа и выхода из строя основных конструктивных элементов пневмотранспортных систем, можно выделить несколько основных факторов, влияющих на продолжительность жизненного цикла ПТУ: физико-механические свойства материалов; эксплуатационные материалы; режим работы; рациональное применение; техническое обслуживание; внешний уход; проведение ремонта. Регулярное и тщательное обслуживание ПТУ позволяет сократить время простоев, повысить надежность и снизить эксплуатационные рас-

ходы, но для того чтобы составить максимально эффективный план проведения перечисленных мероприятий, необходимо определить, какие из перечисленных факторов наиболее значимые и как они влияют на продолжительность жизненного цикла ПТУ [14]. Зависимость продолжительности жизненного цикла ПТУ от факторов можно выразить следующим образом:

$$T_{\Pi}^{\text{ПТУ}} = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7),$$
 где $T_{\Pi}^{\text{ПТУ}}$ — продолжительность жизненного цикла, годы; x_1 — физико-механические свойства материалов; x_2 — эксплуатационные материалы; x_3 — режим работы; x_4 — рациональное применение; x_5 — техническое обслуживание; x_6 — внешний уход; x_7 — проведение ремонта.

Для определения вида зависимости, описывающей данное взаимодействие, значимых фак-

торов, степени их индивидуального влияния на рассматриваемый параметр оптимизации, эффектов влияния первого, второго рода и т. д. необходимо провести экспериментальные исследования.

Основываясь на вышеизложенном, можно сделать вывод, что продление жизненного цикла пневмотранспортных систем в частности и НТТМ в целом при их технической эксплуатации возможно при выполнении правил эксплуатации ТС в соответствии с требованиями и рекомендациями предприятий-изготовителей, разработанными с учетом влияния воздействующих факторов. ТС, прошедшая предпродажную подготовку и переданная владельцу-потребителю, должна быть укомплектована в том числе эксплуатационными документами.

Ведение эффективной технической эксплуатации техники и оборудования, а также повышение качества и надежности НТТМ возможно посредством существующих и усовершенствованных мероприятий:

- применение в конструкции деталей, систем с высоким процентом долговечности и надежности;
- возможность применения комплектующих элементов, самоподдерживающих работоспособность [3, 4];
- применение современных материалов, снижающих трение, износ, повышающих стойкость к нагрузкам и вибрациям;
- увеличение ресурса элементов конструкции посредством улучшения свойств материалов деталей [4, 15, 16], совершенствования систем смазки деталей, сохранения герметичности от утечек жидкостей;
- применение микропроцессорных устройств для оптимизации режимов работы НТТМ, устранения перегрузок, контроля их технического состояния [4];
- контроль за качеством выполнения работ и технологического обеспечения;
- применение усовершенствованных современных методов технического сервиса для поддержания и повышения надежности, работоспособности НТТМ в процессе технической эксплуатации.

Циклограмма НТТМ — это комплекс взаимосвязанных мероприятий, обеспечивающих поддержание качества, работоспособности, без-

отказности, долговечности машин и оборудования. Эффективное управление процессами эксплуатации осуществляется при наличии надежной системы учета и отчетности. Для комплексного учета всей информации, связанной с технической эксплуатацией НТТМ и сопутствующего профильного оборудования, применяют современные программные комплексы. Эффективным методом управления эксплуатацией является система технического диагностирования, позволяющая снизить затраты при ТОиР на сохранение надежности НТТМ и максимальной производительности при производстве работ. Внедрение в практику применения обновления программного обеспечения НТТМ или системы будет способствовать росту работоспособности НТТМ, производительности и снижению материальных затрат.

Библиографический список

1. Волков С. А., Евтюков С. А. Строительные машины: учебник для строит. вузов / под общ. ред. С. А. Волкова. СПб.: ДНК, 2008. 704 с.
2. Пермяков В. Б., Иванов В. И., Мельник С. В. и др. Транспортно-технологические машины и комплексы (производственная и техническая эксплуатация): учеб. пособие / под ред. В. Б. Пермякова. Омск: Изд-во СибАДИ, 2007. 440 с.
3. Куракина Е. В. Эффективность использования наземных транспортно-технологических машин // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 3 (56). С. 203–208.
4. Евтюков С. А., Райчык Я., Рысс-Березарк С. А. Строительно-дорожные машины: учеб. пособие / под ред. С. А. Евтюкова. СПб.: СПбГАСУ, 2001. 167 с.
5. Куракина Е. В., Евтюков С. С. Инженерно-техническая экспертиза наземных транспортных средств: учеб. пособие. СПб.: СПбГАСУ, 2016. 82 с.
6. Евтюков С. С., Чудаков А. В., Куракина Е. В. Наземные транспортно-технологические машины: учебник / под общ. ред. С. А. Евтюкова. СПб.: ООО ИД «Петрополис», 2016. 504 с.
7. Евтюков С. А., Шапунов М. М. Пневматический транспорт в строительстве: учебник / под общ. ред. С. А. Евтюкова. СПб.: ООО ИД «Петрополис», 2012. 306 с.
8. Шиманова А. А. (Кузнецова), Евтюков С. А. Повышение эффективности работы пневматических транспортных установок за счет увеличения надежности основных узлов // Budownictwo

o zoptymalizowanym potencjale energetycznym, Czestochowa, 2009. С. 115–122.

9. Шиманова А. А. (Кузнецова), Евтюков С. А. Перспективы развития пневматических транспортных систем в современном строительстве // Актуальные проблемы современного строительства: 63-я науч.-техн. конф. молодых ученых. СПб.: СПбГАСУ, 2010. С. 195–199.

10. Шиманова А. А. (Кузнецова), Евтюков С. А. Обзор существующих способов повышения эффективности работы пневмотранспортных установок за счет оптимизации основных узлов // 67-я Междунар. науч.-практ. конф. профессоров, преподавателей, науч. работников, инженеров и аспирантов. СПб.: СПбГАСУ, 2010. С. 195–199.

11. Kurakina E., Evtyukov S. Methodology for the reconstruction and investigation of causes of accidents in the parameters of vehicle condition and road environment // Proceedings of 12th International Conference «Organization and Traffic Safety Management in large cities», 28–30 September 2016, St. Petersburg, Russia. Transportation Research Procedia. 2017.

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

13. Куракина Е. В. Исследование состояния безопасности и качества подсистемы Д // Сб. трудов междунар. науч.-техн. конф. «Строительная наука — 2014: теория, образование, практика, инновации», 2014. С. 232–244.

14. Шиманова А. А., Евтюков С. А. Обоснование параметров процесса пневматического разрыхления слежавшихся сыпучих строительных материалов // Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym, Czestochowa, 2015. С. 67–75.

15. Шестопалов К. К. Строительные и дорожные машины. М.: ИЦ «Академия», 2008. 384 с.

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

References

1. Volkov S. A., Evtyukov S. A. *Stroitel'nye mashiny: uchebnik dlya stroit. vuzov* [Construction machines and facilities]. Ed. by Volkov S. A. St. Petersburg, DNK Publ., 2008, 704 p.

2. Permyakov V. B., et al. *Transportno-tekhnologicheskie mashiny i komplekсы (proizvodstvennaya i tekhnicheskaya ehkspluatatsiya). Ucheb. posobie* [Transport and technological machines and complexes (production and technical operation). Teaching manual]. Ed. by Permyakov V. B. Omsk, SibADI Publ., 2007, 440 p.

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

4. Evtyukov S. A., Raychyk Ya., Ryss-Berezark S. A. *Stroitel'no-dorozhnye mashiny. Ucheb. posobie* [Construction and road machines. Teaching manual]. Ed. by Evtyukov S. A. St. Petersburg, SPSUACE Publ., 2001, 167 p.

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

6. Evtyukov S. S., Chudakov A. V., Kurakina E. V. *Nazemnye transportno-tekhnologicheskie mashiny. Uchebnik* [Ground transport technological machines. Textbook]. Ed. by Evtyukov S. A. St. Petersburg, Petropolis Publ., 2016, 504 p.

7. Evtyukov S. A., Shapunov M. M. *Pnevmaticheskiiy transport v stroitel'stve. Uchebnik* [Pneumatic transport in construction. Textbook]. Ed. by Evtyukov S. A. St. Petersburg, Petropolis Publ., 2012, 306 p.

8. Shimanova A. A. (Kuznetsova), Evtyukov S. A. *Povyshenie ehffektivnosti raboty pnevmaticheskikh transportnykh ustanovok za schet uvelicheniya nadezhnosti osnovnykh uzlov* [Improving the overall performance of pneumatic transport installations due to increasing the reliability of the main components]. *Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym, Czestochowa*, 2009, pp. 115–122.

9. Shimanova A. A. (Kuznetsova), Evtyukov S. A. *Perspektivy razvitiya pnevmaticheskikh transportnykh sistem v sovremennom stroitel'stve* [The prospects of development of pneumatic transport systems in modern construction]. *Trudy 63-ya nauch.-tekhn. konf. molodykh uchenykh «Aktual'nye problemy sovremennogo stroitel'stva»* [Proc. of the 63rd sci. – tech. conf. of young scientists "Urgent problems of modern construction"]. St. Petersburg, SPSUACE Publ., 2010, pp. 195–199.

10. Shimanova A. A. (Kuznetsova), Evtyukov S. A. *Obzor sushchestvuyushchikh sposobov povysheniya ehffektivnosti raboty pnevmotransportnykh ustanovok za schet optimizatsii osnovnykh uzlov* [Review of the existing ways of improving the overall performance of pneumatic transport installations due to increasing the reliability of the main components]. *Trudy 67-y nauch.-tekhn. konf. molodykh uchenykh «Aktual'nye problemy sovremennogo stroitel'stva»* [Proc. of the 63rd sci.-tech. conf. of professors, teachers, sci. workers, engineers and graduate students "Urgent problems of modern construction"]. St. Petersburg, SPSUACE Publ., 2010, pp. 195–199.

11. 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 12th International Conference «Organization and Traffic Safety Management in large cities», 28–30 September 2016, St. Petersburg, Russia. *Transportation Research Procedia*, 2017.
12. Kurakina E. V. *Diagnostichestskoe issledovanie ehlementov avtomobil'nykh dorog na uchastkakh DTP nerazrushayushchim kontrolom* [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.
13. Kurakina E. V. *Issledovanie sostoyaniya bezopasnosti i kachestva podsistemy D* [Investigation of security status and quality of the D sub-system]. *Trudy mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. «Stroitel'naya nauka — 2014: teoriya, obrazovanie, praktika, innovatsii»* [Proc. of the Int. sci.-tech. conf. "Construction science — 2014: theory, education, practice, innovations"]. Archangelsk, 2014, pp. 232–244.
14. Shimanova A. A., Evtyukov S. A. *Obosnovanie parametrov protsessa pnevmaticheskogo razrykhleniya slezhavshikh sypuchikh stroitel'nykh materialov* [Substantiation of parameters of the pneumatic loosening of deteriorated in storage construction materials]. *Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym*, Czestochowa, 2015, pp. 67–75.
15. Shestopalov K. K. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny* [Construction and road machines]. Moscow, Akademiya Publ., 2008, 384 p.
16. Beletskiy B. F., Bulgakova I. G. *Stroitel'nye mashiny i oborudovanie. Ucheb. posobie* [Construction machines and facilities. Teaching manual]. 3-rd edition, revised. St. Petersburg, Lan Publ., 2012, 608 p.