

Анализ зависимостей технико-эксплуатационных показателей машин от возраста и способов организации выполнения операций технического обслуживания и ремонта

В.М. Корнеев, канд. техн. наук, профессор
тел. 8 (916) 610-75-81; e-mail: tsmio@rambler.ru
(Российский государственный аграрный университет
– МСХА им. К.А. Тимирязева)

А.А. Ивойлов, аспирант
тел. 8 (926) 694-20-59; e-mail: sashaivoilov@yandex.ru
(Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет - МАДИ)

М.С. Захарова, аспирант
тел. 8 (919) 961-11-36; e-mail: ritik68rus@mail.ru
(Российский государственный аграрный университет
– МСХА им. К.А. Тимирязева)

Д.И. Петровский, канд. техн. наук, доцент
тел: 8 (903) 281-29-30; e-mail: dm_petrovsky@rambler.ru
(Российский государственный аграрный университет
– МСХА им. К.А. Тимирязева)

Аннотация: В статье обсуждаются составляющие календарного времени эксплуатации машин и их связь с показателями технической готовности. Анализируются основные резервы и способы повышения готовности машин. Предложен метод расчета комплексного критерия оценки эффективности технической эксплуатации машин.

Ключевые слова: коэффициент технической готовности, простой техники, наработка, выработка, техническое обслуживание, ремонт.

Введение. Критерий комплексной оценки эффективности технической эксплуатации парков машин должен всесторонне характеризовать эффективность управления процессами ТО и Р, производственными подразделениями, запасами, режимами технических воздействий и ресурсами машин, отражать совокупность факторов, определяющих время простоя в неработоспособном состоянии, являться системообразующим критерием при формировании подсистем системы управления работоспособностью, влиять на технико-эксплуатационные показатели работы машин.

Критерий комплексной оценки эффективности технической эксплуатации парков машин. Календарное время работы парка машин можно представить, как совокупность временных состояний машин, рис. 1.

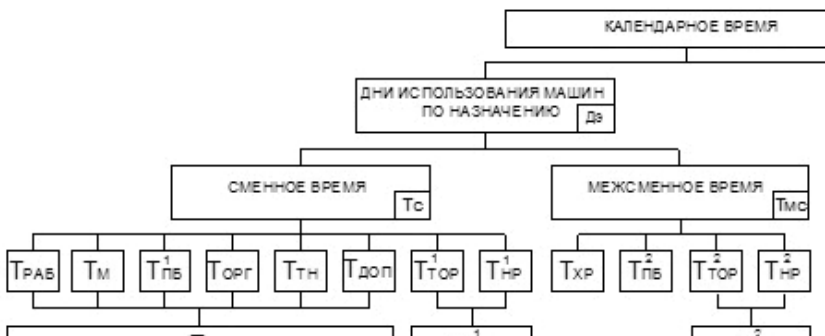


Рис. 1. Составляющие календарного времени эксплуатации машин

\dot{O}_D - время работоспособного состояния машин; \dot{O}_{DAA} - время работы машин за календарный промежуток времени; \dot{O}_I - перерывы в работе машин, связанные с неблагоприятными метеорологическими условиями; \dot{O}_{II} - продолжительность перебазирования (транспортирования) машин; \dot{O}_{IDA} - время простоя машин в работоспособном состоянии по организационным причинам (например: отсутствие фронта работ, несвоевременность обеспечения ТСМ); \dot{O}_Φ - время простоя по технологическим причинам, не связанным с работой машин, включая время подготовки к работе (получение оператором задания, ознакомление с документацией, ЕО, заправка машин топливом и т.д.); \dot{O}_{AII} - время, затрачиваемое оператором на отдых и личные надобности; $\dot{O}_{OIB}^1, \dot{O}_{OIB}^2, \dot{O}_{OIB}^3$ - продолжительность ТО и плановых ремонтов в сменное, межсменное и нерабочее время машин; $\dot{O}_D^1, \dot{O}_D^2, \dot{O}_D^3$ - продолжительность unplanned ремонтов в сменное, межсменное и нерабочее время соответственно; $\dot{O}_\Phi^1, \dot{O}_\Phi^2, \dot{O}_\Phi^3$ - время пребывания машин в неработоспособном состоянии в сменное, межсменное и нерабочее время соответственно; \dot{O}_Θ - время хранения машин.

Время работы машин за календарный промежуток времени:

$$\dot{O}_{DAA} = (\ddot{A}_e - \ddot{A}_a) t_c n_c - (\dot{O}_I + \dot{O}_{II}^1 + \dot{O}_{IDA} + \dot{O}_\Phi + \dot{O}_{AII} + \dot{O}_{OIB}^1 + \dot{O}_D^1), \quad (1)$$

где t_c - продолжительность смены;

n_c - число смен работы машин в сутки.

Как видно из рис. 1, машины могут находиться в ТО и Р в сменное, межсменное и нерабочее время.

Коэффициент технической готовности $\hat{E}_{\hat{a}}$ [6], учитывает итоговое время простоя машин в неработоспособном состоянии и поэтому является критерием комплексной оценки эффективности технической эксплуатации машин.

Эффективность $\hat{E}_{\hat{a}}$ как показателя оценки технической готовности парка машин отражена в следующем выражении:

$$\hat{E}_{\hat{e}} = \hat{E}_{\hat{\Phi}} \cdot (1 - \hat{E}_{\hat{II}}) \dots \dots \dots (2)$$

где $\hat{E}_{\hat{e}}$ - коэффициент использования машин, определяющий долю времени работы парка машин \dot{O}_{DAA} относительно календарной продолжительности эксплуатации $\ddot{A}_{\hat{e}}$;

$\hat{E}_{\dot{H}i}$ - коэффициент нерабочих дней, определяющий долю календарного времени, в течение которого машина, находящаяся в работоспособном состоянии, не используется по назначению.

Коэффициент технической готовности i -ой машины – частный показатель, определяющий долю сменного времени, в течение которого машина находится в работоспособном состоянии и может быть использована по назначению.

$$\hat{E}_{\dot{a},i} = \sum_{j=1}^N \frac{t_{PA,j}}{t_{PA,j} + t_{B,j}^1}, \dots \quad (3)$$

N - число технических воздействий за определенный интервал времени;

где:

$t_{DA,j}$ - время работы i -ой машины между двумя последовательными j -ими техническими воздействиями (например: между ТО-2 и unplanned repair);

$t_{a,j}^1$ – итоговое время простоя i -ой машины в j -ом техническом воздействии в сменное время:

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N t_{DA,j} = T_{DA} \dots \quad (4)$$

Коэффициент технической готовности парка (группы) машин – обобщенный показатель:

$$\hat{E}_{\dot{a}} = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N t_{PA,j}}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (t_{PA,j} + t_{B,j}^1)} \dots \quad (5)$$

где M - число машин в парке (группе).

Представленная зависимость справедлива, прежде всего, для групп однотипных машин и специализированных парков.

Организация ТО и Р в межсменное и нерабочее время снижает величину $t_{a,j}^1$, и тем самым повышает уровень технической готовности.

Итоговое время простоя машин в ТО и плановых ремонтах в сменное время:

$$\dot{O}_{\dot{a}}^1 = \dot{O}_{\dot{a}} \cdot \hat{E}_{\dot{a}} \dots \quad (6)$$

где $\hat{E}_{\dot{a}}$ – коэффициент, учитывающий долю времени ТО и плановых ремонтов, приходящихся на сменное время.

Итоговое время простоя машин в unplanned repairs в сменное время:

$$\dot{O}_B^1 = \dot{O}_B \cdot \hat{E}_B, \dots\dots\dots (7)$$

где \hat{E}_B – коэффициент, учитывающий долю времени неплановых ремонтов, приходящихся на сменное время.

Итоговое время пребывания машин в неработоспособном состоянии в сменное время:

$$\dot{O}_A^1 = \dot{O}_A \cdot \hat{E}_A, \dots\dots\dots (8)$$

где \hat{E}_A – коэффициент, учитывающий долю времени технических воздействий, приходящуюся на сменное время.

$$\hat{E}_A = \hat{E}_{\dot{O}iB} \cdot \frac{\dot{O}_{\dot{O}iB}}{\dot{O}_A} + \hat{E}_B \cdot \frac{\dot{O}_B}{\dot{O}_A} \dots\dots\dots (9)$$

Повышение \hat{E}_A увеличивает продолжительность простоя машин в ТО и Р в сменное время, тем самым снижает уровень технической готовности парка машин.

Процессы обеспечения работоспособности отражаются в $\hat{E}_{\dot{O}i}$ временными показателями простоев машин в ТО и Р. Основным с точки зрения сокращения простоев машин является время организационного резерва – отклонение от нормативного времени выполнения работ (т.е. сверхнормативное время), которое достигает 50% итогового времени пребывания машин в неработоспособном состоянии [1] и возникает как результат отсутствия запасных частей, недостаточного количества постов ТО и Р, несвоевременной выдачи заданий, отказов оборудования и ряда других факторов.

Общее время пребывания машин в неработоспособном состоянии можно представить в виде суммы нормативного времени и времени орга-

низационного резерва T_B :

$$\dot{O}_A = \dot{O}_i + T_B \dots\dots\dots (10)$$

В зарубежной литературе [7] предлагается выделить из времени организационного резерва время ожидания снабжения запасными частями

$T_{i\zeta \times}$ как самую ёмкую составляющую сверхнормативных простоев машин:

$$\dot{O}_B = T_{i\zeta \times} + \dot{O}_I \dots\dots\dots (11)$$

где \dot{O}_I - время сверхнормативных простоев, возникающих по прочим причинам.

Время организационного резерва при выполнении j- го воздействия:

$$t_{B,j} = \left(t_{iE,j} + t_{\dot{O},j} \sum \right) - t_{i,j} = t_{\dot{A},j} - t_{i,j}, \dots\dots\dots (12)$$

где $t_{iE,j}$, $t_{\dot{O},j} \sum$ - время ожидания и фактическая суммарная продолжи-

тельность j-го технического воздействия соответственно; $t_{i,j}$ - нормативное время.

Учет времени организационного резерва предлагается оценивать коэффициентом использования организационных резервов, который может быть определён как вероятность того, что итоговое фактическое время простоя машин в ТО и Р не превысит нормативное:

$$\hat{E}_{\hat{D}} = \frac{T_i}{T_i + \dot{O}_{\hat{D}}} = \frac{\dot{O}_i}{\dot{O}_{\hat{D}}}, \dots\dots\dots(13)$$

где $\dot{O}_{\hat{D}}$ - суммарное время организационного резерва;

$$\dot{O}_i - \text{нормативное время ТО и Р,} \quad \dot{O}_{\hat{D}} = \sum_{j=1}^N t_{\hat{D},j}$$

На основе $\hat{E}_{\hat{D}}$ оцениваются непроизводительные потери времени процессов подготовительного производства, ТО и Р машин на предприятии и местах использования, восстановления сборочных единиц и деталей, обеспечения производства ресурсами, а также в соответствующих подразделениях и системе управления в целом.

Коэффициент использования организационных резервов системы управления:

$$\hat{E}_{\hat{D}} = \frac{\sum_{m=1}^S \sum_{k=1}^{\hat{n}_m} \sum_{j=1}^N t_{i,jk}}{\sum_{m=1}^S \sum_{k=1}^{\hat{n}_m} \sum_{j=1}^N (t_i + t_{\hat{D}})_{jk}} = \frac{T_i}{T_i + \dot{O}_{\hat{D}}}, \dots\dots\dots(14)$$

где S - число подсистем;

\hat{n}_m - число процессов, формирующих m -ю подсистему.

С учётом сделанных предпосылок:

$$\hat{E}_{\hat{a}} = \frac{\dot{O}_{\hat{D}\hat{a}}}{\dot{O}_{\hat{D}\hat{a}} + \frac{\dot{O}_i \cdot \hat{E}_{\hat{D}}}{\hat{E}_{\hat{D}}}} \dots\dots\dots(15)$$

На основе зависимостей (14) и (15) появляется возможность управлять временем пребывания машин в различных технических воздействиях за счет оценки эффективности производственных подразделений системы,

и, более того, отдельных процессов и операций. Учет коэффициента $\hat{E}_{\hat{a}}$ позволяет на основе отношения $\dot{O}_i / \hat{E}_{\hat{D}}$ характеризовать работу системы управления в межсменное и нерабочее время.

Теоретически при $\hat{E}_{\hat{a}} = 0$ коэффициент технической готовности равен единице. Необходимыми при этом являются следующие условия: требования на ТО и Р поступают в нерабочее время машин, продолжительность технических воздействий не превышает время работы системы в межсменное время. Очевидно, что на практике соблюдение этих условий возможно лишь в рамках небольшого интервала времени. Однако

рассмотрение такого «крайнего» случая характеризует взаимосвязь $\hat{E}_{\hat{D}}$ и $\hat{E}_{\hat{a}}$ [3], рис. 2.

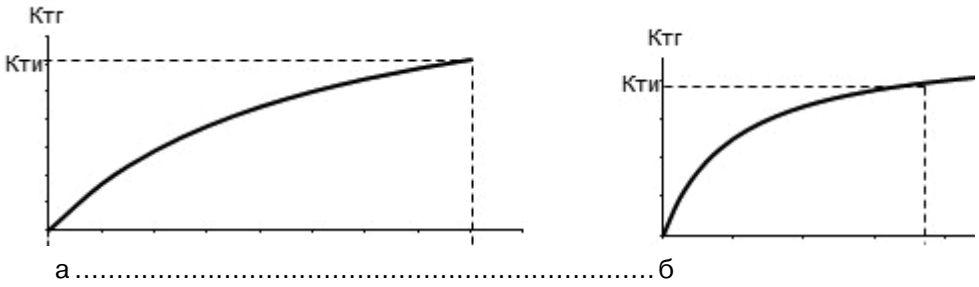


Рис. 2. Зависимость технической готовности машин от коэффициента

использования организационных резервов при а) $\hat{E}_{\hat{a}} = 1$; б) $\hat{E}_{\hat{a}} < 1$

Сокращение непроизводительных потерь времени придает системе управления большую гибкость, адаптивность к требованиям производственной эксплуатации, в том числе за счет уменьшения $\hat{E}_{\hat{a}}$.

Известно, что:

$$\dot{O}_j = \dot{O}_{\hat{O}i\hat{e}Di} + \dot{O}_{iDi}, \quad (16)$$

где $\dot{O}_{\hat{O}i\hat{e}Di} = \hat{A}_j + \dot{O}_{D\hat{A}\hat{A}}$ - нормативная продолжительность плановых ТО и Р;

\hat{A}_j - удельный простой машин в плановых ТО и Р;

\dot{O}_{iDi} - нормативная продолжительность непланового ремонта.

С учётом (16), уравнение (15) принимает расчётный вид и позволяет определить производственную программу ТО и Р парка машин, а также управлять этими процессами:

$$\hat{E}_{\hat{a}} = \frac{\dot{O}_{D\hat{A}\hat{A}}}{\dot{O}_{D\hat{A}\hat{A}} + \frac{(\hat{A}_j \cdot \dot{O}_{D\hat{A}\hat{A}} + \dot{O}_{iDi}) \cdot \hat{E}_{\hat{\theta}}}{\hat{E}_{\hat{D}}}} \quad \dots \quad (17)$$

Для системы управления работоспособностью результат функци-

онирования – уровень готовности парка машин $\hat{E}_{\hat{a}}$, который является источником повышения производительности техники, т.е. эффективность производственной эксплуатации зависит от надежности машин и системы управления их работоспособностью.

Наработка машин за календарный период эксплуатации:

$$\dot{O}_{D\hat{A}\hat{A}} = (\hat{A}_{\hat{E}} \cdot \hat{E}_{\hat{E}}) n_C t_C = \hat{A}_{\hat{E}} (1 - \hat{E}_{\hat{H}}) \hat{E}_{\hat{\theta}} \cdot n_C t_C \quad \dots \quad (18)$$

Выработка и, соответственно, доход от эксплуатации техники прямо пропорциональны наработке. Например, выработка землеройных машин циклического действия определяется:

$$Q = \frac{3600 \cdot q}{\dot{O}_{\dot{o}}} \cdot \hat{E}_{\dot{o}} \cdot \hat{E}_{\dot{b}} \cdot T_{\dot{D}\dot{A}\dot{A}} \quad (19)$$

где q - объем ковша, м³;

$T_{\dot{o}}$ - время цикла, с;

$\hat{E}_{\dot{o}}$ - коэффициент условий работы (учитывает коэффициенты наполнения ковша, разрыхления рабочей среды и др.);

$\hat{E}_{\dot{b}}$ - коэффициент чистой работы (определяет, какую часть $\dot{O}_{\dot{D}\dot{A}\dot{A}}$ машина выполняет землеройно-транспортную функцию).

Подставим значение $\dot{O}_{\dot{D}\dot{A}\dot{A}}$ в выражение (19):

$$Q = \dot{A}_{\dot{E}} (1 - \hat{E}_{\dot{H}}) \hat{E}_{\dot{o}} \cdot \frac{3600 \cdot q}{\dot{O}_{\dot{o}}} \cdot \hat{E}_{\dot{o}} \cdot \hat{E}_{\dot{b}} \cdot n_C t_C \quad (20)$$

Это выражение отражает зависимость между выработкой землеройных машин циклического действия, показателями эксплуатационных свойств и эффективностью системы управления сервисом и работоспособностью, является наиболее емким, в полной мере характеризует процессы эксплуатации техники.

Определение технико-эксплуатационных показателей эффективности работы машин. Определение и анализ зависимостей технико-эксплуатационных показателей машин от возраста и способов организации выполнения операций ТО и Р выполнялись на построенной имитационной модели эксплуатационного предприятия [2]. Разработанная модель является универсальным инструментом исследования средних и крупных эксплуатационных и сервисных предприятий. Она позволила получить в ограниченный промежуток времени достоверные, научно-обоснованные данные о функционировании и загруженности подсистем предприятия, а также распределении его ресурсов.

Выполненный на имитационной модели симуляционный эксперимент с учётом оптимальных параметров функционирования предприятия позволил определить:

- зависимость годового времени работы машин парка от срока их эксплуатации, рис. 3;
- зависимость КТГ от наработки машин с начала эксплуатации с учётом использования организационных резервов предприятия, рис. 4;
- зависимость выработки машин от их возраста с учётом уровня организационных резервов предприятия, рис. 5.

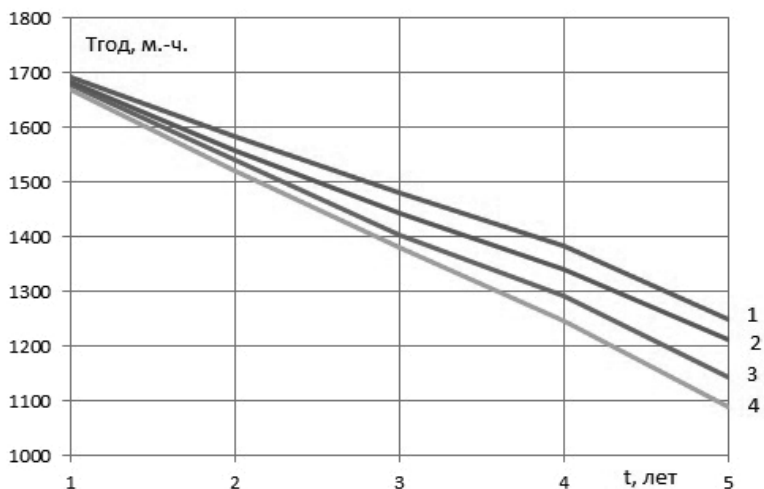


Рис. 3. Зависимость годового времени работы от срока эксплуатации:

1 – экскаватора одноковшового на пневмоколёсном ходу, 3-й размерной группы; 2 – самосвала на шасси грузового автомобиля грузоподъёмностью до 8 т; 3 – экскаватора одноковшового на гусеничном ходу, 4-й размерной группы; 4 – бульдозера на базе гусеничного трактора тягового класса 3

Из рис. 3 видно, что старение машин приводит к сокращению времени их эксплуатации по назначению. Это происходит в результате увеличения числа отказов деталей и приводит к увеличению времени нахождения машин в ремонте.

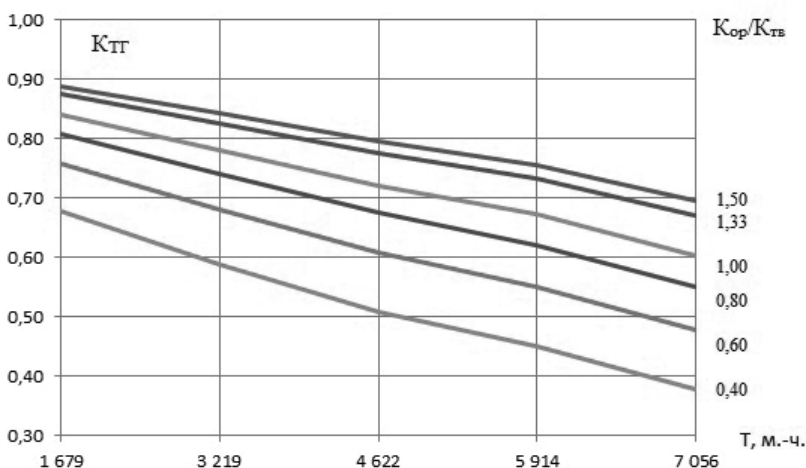


Рис. 4. Зависимость КТГ от наработки экскаватора одноковшового на гусеничном ходу, 4-й размерной группы с учётом эффективности использования времени организационных резервов предприятия

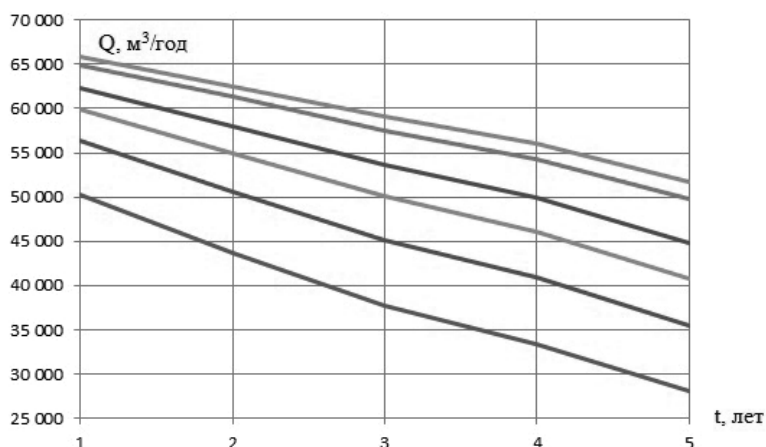


Рис. 5. Зависимость выработки экскаватора одноковшового на гусеничном ходу, 4-й размерной группы от возраста машины с учётом уровня организационных резервов предприятия

Выполнен анализ зависимостей Ктг и выработки экскаватора от наработки машины и эффективности использования организационных резервов предприятия, представленных на рис. 4 и рис. 5. Увеличение параметра потока отказов с течением времени сокращает уровень технической готовности машины, но перераспределение времени выполнения и повышение уровня организованности работ ТО и Р способны значительно повысить готовность парка и производительность машин. Например, в конце пятого года эксплуатации с учётом отношения $Kop/Kтв=0,8$ значение $Kтг=0,55$, а выработка Q составила 40 784 м³/год. Путём сокращения непроизводительных простоев машин в ожидании технологических операций или при переносе части работ ТО и Р на межсменное время можно достичь величины отношения $Kop/Kтв=1,33$. Это позволит увеличить значение $Kтг$ до 0,67 и повысить выработку машины на 8 971 м³/год или на 22 %.

Литература

Дон, Е.А. Совершенствование процессов технического обслуживания и повышения надёжности дорожных и строительных машин в эксплуатации: дис. ... к-та техн. наук. – М., 1982.

Ивойлов А.А. Оптимизация производственных процессов и ресурсов эксплуатационного предприятия в среде имитационного моделирования // Строительные и дорожные машины. Вып. 4, 2015. – С. 28-33.

Керимов, Ф.Ю. Критерий комплексной оценки эффективности технической эксплуатации машин / Ф.Ю. Керимов, И.А. Филимонов, А.А. Ивойлов // Вестник МАДИ (ГТУ). Вып. 2 (13). – М.: МАДИ (ГТУ), 2008. – с. 27-33.

Кузнецов, Е.С. Управление техническими системами: учеб. пособие / Е.С. Кузнецов. – М.: МАДИ, 2003.

Техническая эксплуатация автомобилей: учебник для вузов / [Е.С. Кузнецов, А.П. Болдин, В.М. Власов и др.]. – 4-е изд., перераб. – М.: Наука, 2002.

Эксплуатация подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин: учебник для студ. высш. учеб. заведений / [А.В. Рубайлов, Ф.Ю. Керимов, В.Я. Дворковой и др.]; под ред. Е.С. Локшина. – М.: Издательский центр «Академия», 2007.

Grant Ireson, W. Handbook of reliability engineering and management. Edition 2 / *W. Grant Ireson, Richard Y. Moss:* McGraw-Hill Professional , 1995.

DEPENDENCY ANALYSIS OF TECHNICAL AND OPERATION PERFORMANCE

V.M. Korneev, Candidate of Technical Sciences, professor
tel. 8 (916) 610-75-81; e-mail: tsmio@rambler.ru
(Russian State Agrarian University - Moscow agricultural Academy named after Timiryazev)

A. A. Ivoylov, postgraduate
tel.: 8 (926) 694-20-59; e-mail: sashaivoilov@yandex.ru
(Moscow State Automobile and Road Technical University Technical University)

M. S. Zakharova, postgraduate
tel.: 8 (919) 961-11-36; e-mail: ritik68rus@mail.ru
(Russian State Agrarian University – Moscow agricultural Academy named after Timiryazev)

D.I. Petrovsky, Candidate of Technical Sciences, docent
8 (903) 281-29-30; e-mail: dm_petrovsky@rambler.ru
(Russian State Agrarian University – Moscow agricultural Academy named after Timiryazev)

Annotation. The article discusses the components of a calendar time of operation of machines and their relation to the technical readiness. So the article analyzes the main reserves and ways to increase machine available. We have proposed a method for calculating the complex criteria for evaluating the effectiveness. An example is illustrated depending on the level of development of technical readiness of vehicles with regard to their age.

Keywords: the coefficient of technical readiness, time of organizing reserve, excessive downtime technology, hours, production, maintenance, repair.

Bibliography

1. *Don E.* Improving the process of maintenance and improve the reliability of road and construction machines in operation: thesis of a Cand.Tech.Sci. - Moscow, 1982.
2. *Ivoylov A.A.* Optimization of production processes and resource companies operating in an environment of simulation // Building and road machines, no. 4, 2015 - P. 28-33.
3. *Karimov, F.Yu.* Criterion for assessing the effectiveness of the complex technical operation of machines / F.Yu. Karimov, I.A. Filimonov, A.A. Ivoylov // Herald of MADI (STU). No. 2 (13). - M.: MADI (STU), 2008 - P. 27-33.
4. *Kuznetsov, E.S.* Management of technical systems: tutorial / E.S. Kuznetsov. - M.: MADI, 2003.
5. Technical operation of vehicles: a textbook for high schools / [E.S. Kuznetsov, A.P. Boldin, V.M. Vlasov and others]. - 4th ed., rev. - M.: Nauka, 2002.
6. Operation of lifting and transport, building and road machines: the textbook for students/ [A.V. RUBAYLO, F.U. Kerimov, V.Ya. Dvorkovoy and others]; ed. E.S. Lokshin. - M.: Publishing center "Academy", 2007.
7. *Grant Ireson, W.* Handbook of reliability engineering and management. Edition 2 / *W. Grant Ireson, Richard Y. Moss:* McGraw-Hill Professional , 1995.