РАЗДЕЛ II. МАШИНОСТРОЕНИЕ

Зайцев А.В.

Модели показателей эксплуатации выправочно-подбивочно-рихтовочных машин непрерывно-циклического действия

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения»
(Россия, Новосибирск)

doi:10.18411/sciencepublic-12-08-2020-04

idsp: sciencepublic-12-08-2020-04

Аннотация

Разработаны модели комплексных организационно-технологических показателей эксплуатации выправочно-подбивочно-рихтовочных машин непрерывно-циклического действия Duomatic 09-32 CSM на основе анализа натурных испытаний в реальных условиях эксплуатации при проведении различных видов ремонтов и текущего содержания железнодорожного пути, а также представлены основные характеристики эксплуатации Duomatic 09-32 CSM.

Ключевые слова: показатели эксплуатации, надежность, путевая выправочно-подбивочно-рихтовочная машина.

1. Введение.

В современных условиях становятся востребованными новые методы, технологии и модели, которые могут способствовать снижению себестоимости строительной продукции и повышению рентабельности работы организаций. Одним из основных факторов повышения эффективности при строительстве, ремонте и текущем содержании пути является формирование технологических комплексов машин.

Создание информационных баз фактических натурных испытаний, технических и экономических показателей машин, комплектов и систем в реальных условиях эксплуатации способствует оптимизации путевых работ с заданной надежностью при строительстве, ремонте и текущем содержании железнодорожного пути [1-4].

В настоящее время созданная база данных по результатам натурных испытаний выправочно-подбивочных машин непрерывно-циклического действия позволяет оптимизировать показатели надежности работы парков, комплектов и отдельных машин. Основными комплексными показателями работы выправочно-подбивочной машины непрерывно-циклического действия являются: время работы, ч; время технологических перерывов, ч; время простоев, ч; коэффициент использования по времени; коэффициент готовности; коэффициент технического использования; коэффициент технического использования; коэффициент эффективности, полученные при ежемесячном анализе по результатам обработки их натурных испытаний [5-7].

Конструктивная схема машины Duomatic 09-32 CSM представлена на рисунке 1, основные технические характеристики, виды, периодичность и продолжительность технических обслуживаний, выполняемых при сезонной эксплуатации машины в таблицах 1, 2. Для данных машин характерна сезонная эксплуатация в соответствии с годовым объемом работ [8].

1-полуприцепная платформа; 2, 5-кабины машиниста и оператора; 3-нивелировочная контрольно-измерительная система; 4-корпус с силовым агрегатом, трансмиссией, гидropередачей, тормозной системой; 6-автосцепки; 7, 12, 16, 18, 20-передняя, измерительная, контрольно-измерительная, контрольная и задняя тележки контрольно-измерительной системы; 8-каток мерный с датчиком пути; 9, 17-тяговая и бегунковая ходовые тележки; 10-спутник; 11-устройство подъемно-рихтовочное; 13-блок подбивочный; 14-уплотнители балласта у торцов шпал; 15, 19-приводные колесные пары спутника и платформы

Рис. 1. Конструктивная схема и фотография выправочно – подбивочно – рихтовочной машины непрерывно-циклического действия Duomatic 09-32 CSM [8]

Таблица 1

Основные технические характеристики машины Duomatic 09-32 CSM [8]

Название параметра	Значение
Ширина колеи, мм	1520
Производительность Π , км/ч	2,3...2,6
Годовой объём работ Q , км/год	360
Годовой фонд времени работы машины T_r , ч/год	576

Таблица 2

Виды, периодичность и продолжительность технических обслуживаний, выполняемых при сезонной эксплуатации машины Duomatic 09-32 CSM [8]

Вид технического обслуживания	Периодичность технического обслуживания	Продолжительность технического обслуживания t_i , ч
Ежедневное техническое обслуживание (ЕО)	Ежедневно независимо от наработки	$t_{EO}=0,5$
Первое техническое обслуживание (ТО-1)	15 км подбитого пути	$t_{TO-1}=4$
Второе техническое обслуживание (ТО-2)	60 км подбитого пути	$t_{TO-2}=14$
Сезонное техническое обслуживание (СО)	Перед началом сезона работ и после его окончания	$t_{CO}=13$

2. Постановка задачи

Для анализа работы машины Duomatic 09-32 CSM собрана информация о её

работе в реальных производственных условиях (время работы, технологических перерывов и простоев машин, коэффициент использования по времени коэффициент готовности, коэффициент технического использования, коэффициент технического использования, коэффициент эффективности). При этом для случайных величин была проведена логическая и математическая обработка статистической информации. Показатели работы машины приведены в таблице 3.

Таблица 3

Показатели эксплуатации машин выправочно-подбивочной машины непрерывно-циклического действия Duomatic 09-32 CSM

Показатель	Обозначение	Поле
Марка машины	Марка	<i>Marka</i>
Заводской номер машины	N_z	N_z
Месяц	Месяц	<i>Mes</i>
Календарный фонд времени	T_{ϕ}	T_f
Время работы, ч	T_p	T_r
Продолжительность технологических перерывов, ч	$T_{\text{тп}}$	$T_{\text{тп}}$
Продолжительность простоев, ч	$T_{\text{п}}$	T_p
Коэффициент использования по времени	K_v	K_v
Коэффициент готовности	K_{Γ}	K_g
Коэффициент технического использования	$K_{\text{ти}}$	K_{ti}
Коэффициент эффективности	$K_{\text{э}}$	K_e

После создания баз данных показателей эксплуатации выправочно-подбивочной машины непрерывно-циклического действия Duomatic 09-32 CSM по результатам натурных испытаний за последние десять лет проведена обработка выборок и установлено, что все они подчиняются закону нормального распределения т. к. вычисленные значения критерия Пирсона для этих показателей меньше соответствующих табличных значений (таблицы 4, 5) [9-10].

Таблица 4

Параметры выборки времени работы, технологических перерывов, простоев и коэффициентов использования по времени выправочно-подбивочной машины непрерывно-циклического действия Duomatic 09-32 CSM

Показатель	Величина			
Фактор	T_p	$T_{\text{тп}}$	$T_{\text{п}}$	K_v
Количество опытов	648	648	648	648
Количество связей	3	3	3	3
Уровень значимости	0,05	0,05	0,05	0,05
Минимальное значение фактора	77	6,2	13,2	0,3105
Максимальное значение фактора	117	12,3	51,1	0,3931
Выборочное среднее значение фактора	96,2	9,02	32,6	0,3923
Среднее линейное отклонение фактора	5,715	0,9651	4,873	0,0238
Среднее квадратическое отклонение фактора	7,124	1,252	6,095	0,0296
Стандартное отклонение фактора	7,129	1,253	6,100	0,0296
Средняя квадратическая ошибка фактора	0,280	0,049	0,240	0,00116
Ошибка, % от среднего значения фактора	0,291	0,545	0,735	0,296
Эмпирическая дисперсия выборки	50,83	1,57	37,21	0,00088
Вариации отклонения от среднего значения	32,67	0,931	23,74	0,00056
Риск отклонения от среднего значения	5,72	0,965	8,873	0,024
Коэффициент вариации	0,074	0,138	0,187	0,075
Вычисленное значение критерия Пирсона	3,89	7,63	7,05	7,84
Табличное значение критерия Пирсона	8,13	8,13	8,13	8,13
Количество интервалов	10	10	10	10

Таблица 5

Параметры выборки коэффициентов использования по времени, коэффициентов готовности, коэффициентов технического использования и коэффициентов эффективности выправочно-подбивочной машины непрерывно-циклического действия
Duomatic 09-32 CSM

Показатель	Величина		
Фактор	K_r	$K_{тн}$	K_z
Количество опытов	648	648	648
Количество связей	3	3	3
Уровень значимости	0,05	0,05	0,05
Минимальное значение фактора	0,6148	0,4435	0,6752
Максимальное значение фактора	0,7917	0,6792	1,0000
Выборочное среднее значение фактора	0,6987	0,5620	0,9098
Среднее линейное отклонение фактора	0,0278	0,0323	0,0576
Среднее квадратическое отклонение фактора	0,0345	0,0408	0,0686
Стандартное отклонение фактора	0,0345	0,0409	0,0686
Средняя квадратическая ошибка фактора	0,00136	0,00161	0,00270
Ошибка, % от среднего значения фактора	0,1939	0,2856	0,2963
Эмпирическая дисперсия выборки	0,00119	0,00167	0,00471
Вариации отклонения от среднего значения	0,000773	0,001045	0,003315
Риск отклонения от среднего значения	0,0278	0,0323	0,0576
Коэффициент вариации	0,0493	0,0726	0,0754
Вычисленное значение критерия Пирсона	2,83	2,88	1,78
Табличное значение критерия Пирсона	8,13	8,13	8,13
Количество интервалов	10	10	10

Следующим этапом исследования является построение регрессионных уравнений (многофакторных математических моделей).

Регрессионный анализ–статистический метод исследования влияния одной или нескольких независимых переменных $X_1, X_2, \dots, X_n$ на зависимую переменную Y . Независимые переменные иначе называют регрессорами или предикторами, а зависимые переменные–критериальными.

Цель регрессионного анализа:

- определение степени детерминированности вариации критериальной (зависимой) переменной предикторами (независимыми переменными);
- предсказание значения зависимой переменной с помощью независимой(-ых);
- определение вклада отдельных независимых переменных в вариацию зависимой.

Шаговый регрессионный метод начинается с построения простой корреляционной матрицы и включения в регрессионное уравнение переменной, наиболее коррелируемой с откликом, для включения в уравнение выбирается переменная с наибольшим квадратом частного коэффициента корреляции и так далее.

Для проверки введенных на раннем шаге переменных, на предмет их взаимосвязи с другими переменными, на каждом шаге вычисляется частный F -критерий для каждой переменной уравнения и сравнивается с заранее избранной процентной точкой соответствующего F -распределения. Это позволяет оценить вклад переменной в предположении, что она введена в модель последней, независимо от момента ее фактического введения. Переменная, дающая незначительный вклад, исключается из модели. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не будут рассмотрены все переменные.

3. Результаты расчетов

Для сравнения влияния факторов и установления относительной важности каждого из них (значимости переменной) было использовано нормирование коэффициентов регрессии [11, 12]:

$$b_i = a_i \frac{S_{xi}}{S_{yi}}, \quad (1)$$

где b_i -коэффициент уравнения регрессии после нормирования; a_i -коэффициент уравнения регрессий до нормирования; S_{xi} -средняя квадратичная ошибка переменной X_i ; S_{yi} -средняя квадратичная ошибка отклика Y_i .

В таблице 6 приведено регрессионное уравнение (многофакторная модель) коэффициента использования по времени (K_v) в зависимости от времени работы (T_p), продолжительности технологических перерывов ($T_{тп}$) и продолжительности простоев ($T_{п}$). Также в таблице 6 приведена значимость факторов модели в процентах, определенная по формуле 1.

Таблица 6

Многофакторная модель коэффициента использования по времени машины Duomatic 09-32 CSM

Модель коэффициента использования по времени	Значимость переменной, %
$K_v = + 0,0033$	
$+ 0,0040445 T_p$	99,97
$- 0,0000108 T_{тп}$	0,02
$+ 0,0000008 T_{п}$	0,01

В таблице 7 приведена значимость факторов модели календарного фонда времени работы машины ($T_{ф}$) в зависимости от времени перебазирования машины и отсутствия фронта работ ($T_{пб}$), времени работы (T_p), продолжительности технологических перерывов ($T_{тп}$) и продолжительности простоев ($T_{п}$)

Таблица 7

Многофакторная модель календарный фонд времени работы машины Duomatic 09-32 CSM

Многофакторная математическая модель	Значимость переменной
	%
$T_{ф} = + 0,0$	
$+ T_{пб}$	44,37
$+ T_p$	40,05
$+ T_{п}$	11,95
$+ T_{тп}$	3,63

В таблице 8 приведены характеристики моделей коэффициента использования по времени и календарного фонда времени работы машины Duomatic 09-32 CSM.

Таблица 8

Характеристика многофакторной математической модели коэффициента использования по времени и календарного фонда времени работы машины Duomatic 09-32 CSM.

Показатель	K_v	K_v
Доля объясненной вариации, %	95,89	100,00000
Коэффициент множественной корреляции	0,9792	1,00000
Средний отклик	0,4006	245,33333
Стандартная ошибка в % от среднего отклика	1,56	0,00
Стандартная ошибка	0,00623	0,00000
Общий F - критерий регрессии	10051,4	3907387707
Табличное значение общего F - критерия	3,82	3,82

В таблице 9 приведены модели и их характеристики для коэффициентов использования по времени в зависимости от коэффициентов готовности, коэффициентов технического использования и коэффициентов эффективности. В таблице 10 для этих моделей приведены доверительные интервалы с уровнем риска 5 % [13-15].

Таблица 9

Основные характеристики многофакторных моделей для коэффициентов использования по времени в зависимости от коэффициентов готовности, коэффициентов технического использования и коэффициентов эффективности машины Duomatic 09-32 CSM

Показатель	$K_B = 0,1153 + 0,3958K_r$	$K_B = 0,0708 + 0,5925K_{тн}$	$K_B = 0,0630 + 0,3699K_э$
Доля объясненной вариации, %	23,96	55,00	68,40
Коэффициент множественной корреляции	0,4897	0,7417	0,8270
Средний отклик	0,4005	0,4005	0,4005
Стандартная ошибка, % от среднего отклика	6,64	5,13	4,27
Стандартная ошибка	0,0266	0,0205	0,0171
Общий F-критерий регрессии	407,27	1580,64	2794,26
Табличное значение общего F-критерия	3,82	3,82	3,82

Таблица 10

Математические модели и их доверительные интервалы

Модель	Доверительный интервал с уровнем риска 5 %
$K_B = 0,1153 + 0,3958K_r$	$K_B \pm 0,0618\sqrt{1,001 + 0,9292 \cdot (K_r - 0,717)}$
$K_B = 0,0708 + 0,5925K_{тн}$	$K_B \pm 0,0427\sqrt{1,001 + 2,4532 \cdot (K_{тн} - 0,565)}$
$K_B = 0,0630 + 0,3699K_э$	$K_B \pm 0,0347\sqrt{1,001 + 0,3662 \cdot (K_э - 0,888)}$

На рисунках 2-4 приведены модели и доверительные интервалы коэффициента использования по времени в зависимости от коэффициента готовности, коэффициента технического использования и коэффициента эффективности машины Duomatic 09-32 CSM.

Рис. 2. Зависимость между коэффициентом использования по времени и коэффициентом готовности машины Duomatic 09-32 CSM

Рис. 3. Зависимость между коэффициентом использования по времени и коэффициентом технического использования машины Duomatic 09-32 CSM

Рис. 4. Зависимость между коэффициентом использования по времени и коэффициентом эффективности машины Duomatic 09-32 CSM

В таблице 11 приведены модели и их характеристики для времени работы машин в зависимости от коэффициента использования по времени, коэффициентов готовности, коэффициентов технического использования и коэффициентов эффективности. В таблице 12 для этих моделей приведены доверительные интервалы с уровнем риска 5 %.

Таблица 11

Основные характеристики многофакторных моделей

Показатель	$T_p = 3,28$ $+237,09K_B$	$T_p = 27,68$ $+97,903K_T$	$T_p = 21,70$ $+137,56K_{TH}$	$T_p = 19,21$ $+86,57K_3$
Доля объясненной вариации, %	95,89	24,87	50,53	64,76
Коэффициент множественной корреляции	0,9792	0,4988	0,7108	0,8047
Средний отклик	98,255	98,255	98,255	98,255
Стандартная ошибка, % от среднего отклика	1,54	6,53	5,31	4,42
Стандартная ошибка	1,51	6,42	5,22	4,34
Общий F-критерий регрессии	30200,8	427,8	1320,5	2366,9
Табличное значение общего F-критерия	3,82	3,82	3,82	3,82

Таблица 12

Математические модели и их доверительные интервалы

Модель	Доверительный интервал с уровнем риска 5 %
$T_p = 3,28 + 237,09K_B$	$T_p \pm 3,2644\sqrt{1,001 + 4,8782 \cdot (K_B - 0,404)}$
$T_p = 27,68 + 97,903K_T$	$T_p \pm 14,8886\sqrt{1,001 + 0,9292 \cdot (K_T - 0,717)}$
$T_p = 21,70 + 137,56K_{TH}$	$T_p \pm 10,9635\sqrt{1,001 + 2,4532 \cdot (K_{TH} - 0,565)}$
$T_p = 19,21 + 86,57K_3$	$T_p \pm 9,0241\sqrt{1,001 + 0,3662 \cdot (K_3 - 0,888)}$

На рисунках 5-8 проиллюстрированы модели и доверительные интервалы времени работы в зависимости от коэффициента использования по времени, коэффициента готовности, коэффициента технического использования и коэффициента эффективности машины Duomatic 09-32 CSM.

Рис. 5. Зависимость между временем работы машины и коэффициентом использования по времени машины Duomatic 09-32 CSM

Рис. 6. Зависимость между временем работы машины и коэффициентом готовности машины Duomatic 09-32 CSM

Рис. 7. Зависимость между временем работы машины и коэффициентом технического использования машины Duomatic 09-32 CSM

Рис. 8. Зависимость между временем работы машины и коэффициентом эффективности машины Duomatic 09-32 CSM

Вывод. Предложен метод обоснования показателей работы машин типа Duomatic 09-32 CSM, позволяющий прогнозировать основные показатели работы конкретной машины. Этот метод является универсальным и его можно использовать для обоснования показателей работы любых машинных систем, комплектов и отдельных машин, применяемых при проведении ремонтов и текущего содержания железнодорожного пути.

1. Анферов В.Н. Обоснование применения рабочего органа для уплотнения балласта на плече и откосах балластной призмы на машинах ВПР / В.Н. Анферов, А.В. Зайцев // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. -2014. -№ 30. -С. 60-64.
2. Глотов В.А. К обоснованию параметров пневмотранспортной машины для уборки снега с междупутей станций / В.А. Глотов, Н.В. Мокин, А.П. Филатов // Совершенствование средств механизации путевых, строи-тельных и погрузочно-разгрузочных работ. -Новосибирск, -2001. -С. 32–39.

3. Готов В.А. Модели эксплуатации выправочно-подбивочно-рихтовочных машин / В.А. Готов, А.В. Зайцев, С.М. Кузнецов // Научно-исследовательские публикации. Воронеж. – 2014. – № 13 (17). – С. 16-25.
4. Готов В.А. Обоснование применения рабочего органа для уплотнения балласта на плече и откосах балластной призмы на машинах ВПР / В.А. Готов, А.В. Зайцев // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. -2014. -№ 30. -С. 60-64.
5. Готов В.А. Эффективность применения планировщика балласт-ной призмы/В.А. Готов А.В. Зайцев//Экономика ж.д.-2017.-№1.-С. 59-63.
6. Готов В.А. Осаждение снега в емкости уборочной машины // Вопросы создания и модернизации строительных и путевых машин. Сборник научных трудов. – Новосибирск: Изд-во СГАПС. 1994. – С. 12 – 18.
7. Кузнецов С.М. Автоматизация построения моделей для оптимизации организационно-технологических решений / С.М. Кузнецов, Н.В. Холмеева, С.Э. Ольховиков // Научно-исследовательские публикации. Воронеж. – 2014. - № 7 (11). – С. 5-13.
8. Путевые машины: Учебник для вузов ж.-д. транс./С.А. Соломонов, М.В. Попович, В.М. Бугаенко и др. Под ред. С.А. Соломонова.-М.: Желдориздат. 2000-756 с.
9. Кузнецов С.М. Анализ остатков моделей организационно-технологических решений / С.М. Кузнецов, О.В. Соболева, М.П. Шефер // Научно-исследовательские публикации. Воронеж. – 2014. - № 7 (11). – С. 24-32.
10. Кузнецов С.М. Вероятностная модель работы многоступенчатых гидротранспортных систем / С.М. Кузнецов, Е.В. Лизунов, А.В. Щербаков // Изв. вузов. Строительство. -2006. -№ 9. -С. 33 - 41.
11. Кузнецов С.М. Комплексная оценка организационно-технологической надежности работы парка строительных машин / С.М. Кузнецов, К.С. Кузнецова, Н.А. Сироткин // Экономика ж. д. -2007. - № 4. -С. 68 - 76.
12. Кузнецов С.М. Модели надежности эксплуатации выправочно-подбивочно-рихтовочных машин ВПР-02 / С. М. Кузнецов, В.А. Готов, А. В. Зайцев // Трансп. : наука, техника, упр. - 2014. - №4. - С. 58-63.
13. Кузнецов С.М. Надежность выправочно-подбивочно-рихтовочных машин / С.М. Кузнецов, А. В. Зайцев // Путь и путевое хозяйство. - 2014. - № 3. - С. 19 - 22.
14. Кузнецов С.М. Обоснование показателей эксплуатации выправоч-но-подбивочно-рихтовочных машин ВПР-02 и ВПРС-02 / С.М. Кузнецов, А.В. Зайцев // Экономика ж. д. - 2014. -№ 3. -С. 80 - 90.
15. Кузнецов С.М. Оценка технической надежности эксплуатации выправочно-подбивочно-рихтовочных машин ВПР-02 / С. М. Кузнецов, А. В. Зайцев // Трансп.: наука, техника, упр. - 2014. - №2. - С. 45-49.

Нахатакян Д.Ф.

К расчету о распределении контактных напряжений по пятну контакта между цилиндрическими телами в условиях перекоса

*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН
(Россия, Москва)*

doi:10.18411/sciencepublic-12-08-2020-05

idsp: sciencepublic-12-08-2020-05

Аннотация

Предложен метод, с помощью которого решен вопрос о распределении контактных напряжений между цилиндрическими телами при перекосе.

Ключевые слова: контакт цилиндров; контактные давления; перекося осей; пятно контакта.

При расчете элементов механизмов и машин (зубчатые зацепления, роликовые подшипники и т.д.) на прочность и на износ с учетом реальных условий эксплуатации (погрешности монтажа, упругие деформации и т.д.) необходимо знания величин контактных давлений а также их распределение по контактной площадке [1-3], так как при перекосе нагрузка распределяется по площадке контакта неравномерно (рис.1.).