

Научная статья
УДК 621.001.4

Оценка влияния конструктивно-технологической однородности рабочего оборудования дорожно-строительных машин на технико-экономические показатели их ремонта

Виктор Иванович Карагодин¹, Ван Доан Чан²

^{1,2}Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
Москва, Россия

¹bik250248@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-8220-9928>

²tranvandoan262@gmail.com

Аннотация. В статье на примере технологического процесса ремонта гидравлических молотов рассмотрены вопросы формализации первого этапа технологической подготовки производства – анализа конструктивно-технологической однородности продукции. Предложен коэффициент конструктивно-технологической однородности, раскрыто его смысловое содержание и дана методика расчета. Приводятся экспериментальные данные по технологическим процессам ремонта гидромолотов семидесяти моделей, группировка изделий по конструктивно-технологическим признакам и оценка коэффициентов их конструктивно-технологической однородности. Рассмотрена трансформация технологических процессов ремонта гидромолотов при увеличении объемов производства. Рассчитаны трудоемкости ремонта для производственных программ от действующей до увеличенной в 4 раза. Обосновано снижение трудоемкостей за счет специализации рабочих мест (ограничения количества моделей гидромолотов, ремонтируемых на одном рабочем месте) и применения более производительных средств технологического оснащения. Получены двухфакторные степенные зависимости коэффициентов конструктивно-технологической однородности гидромолотов от их массы и производственной программы ремонта.

Ключевые слова: технологические процессы, унификация, гидравлический молот, ремонт, производительность, производственная программа, оценка однородности продукции, регрессионные зависимости.

Для цитирования: Карагодин В.И., Чан Ван Доан. Оценка влияния конструктивно-технологической однородности рабочего оборудования дорожно-строительных машин на технико-экономические показатели их ремонта // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2025. № 4 (46).

Original article

Assessment of the impact of the structural and technological uniformity of the working equipment of road construction machines on the technical and economic indicators of their repair

Viktor I. Karagodin¹, Tran Van Doan²

^{1,2}Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI),
Moscow, Russia

¹bik250248@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-8220-9928>

²tranvandoan262@gmail.com

Abstract. Using the example of the technological process of repairing hydraulic hammers, the article discusses the issues of formalization of the first stage of technological preparation of production – the analysis of structural and technological uniformity of products. The coefficient of structural and technological uniformity is proposed, its semantic content is revealed and the calculation method is given. Experimental data on the technological processes of repairing hydraulic hammers of seventy models, the grouping of products according to structural and technological features and the assessment of the coefficients of their structural and technological uniformity are presented. The transformation of the technological processes of hydraulic hammer repair with an increase in production volumes is considered. The complexity of repairs for production programs from current to increased by 4 times is calculated. The reduction of labor intensity is justified due to the specialization of workplaces (limiting the number of hydraulic hammer models repaired at one workplace) and the use of more productive technological equipment. Two-factor power-law dependences of the coefficients of structural and technological uniformity of hydraulic hammers on their mass and the repair production program are obtained.

Keywords: technological processes, unification, hydraulic hammer, repair, productivity, production program, product uniformity assessment, regression dependencies.

For citation: Karagodin V.I., Tran Van Doan. Assessment of the impact of the structural and technological uniformity of the working equipment of road construction machines on the technical and economic indicators of their repair. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2025. № 4 (46).

Введение. Основным средством достижения высокой эффективности многономенклатурного производства является унификация технологических процессов [1, 2]. Она способствует увеличению производственной программы за счет включения в нее конструктивно и технологически однородных

изделий. Рассмотрим зависимость трудоемкости ремонта изделий от годовой производственной программы предприятия (рис. 1). Пусть начальная программа предприятия была N_n , а трудоемкость единицы продукции составляла T_n . Программу предприятия удвоили, она достигла N_o , а трудоемкость единицы продукции снизилась до T_o . Но это произойдет в том случае, если вторая половина продукции конструктивно и технологически идентична первой половине. Если добавляемая продукция не имеет ничего общего с первой половиной, то никакого эффекта от увеличения производственной программы не произойдет. Это крайние ситуации, а в действительности какие-то технологические операции по новой продукции будут сходными с уже освоенными операциями, и увеличение объемов производства по этим операциям даст определенный эффект. А по другим операциям эффекта не будет, и трудоемкость единицы продукции в целом будет в пределах от T_o до T_n и составит T_o , что на графике соответствует некоторой программе N_o , лежащей в промежутке между N_n и N_o . Однородность продукции можно оценить коэффициентом конструктивно-технологической однородности, значения которого будут в пределах от нуля (абсолютная неоднородность) до единицы (абсолютная однородность).

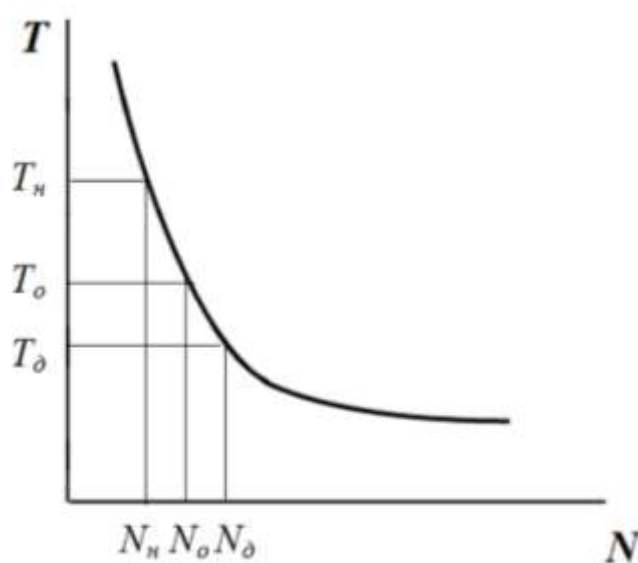


Рис. 1. Зависимость трудоемкости ремонта изделий от годовой производственной программы предприятия

Постановка задачи. Коэффициент конструктивно-технологической однородности изделия j по отношению к изделию-эталону s определяют по формуле [3]:

$$k_{sj} = \sum_{i=1}^N \frac{\delta_{is} \delta_{ij} T_{ij}}{\delta_{is} \delta_{ij} T_{is} + (1 - \delta_{is}) \delta_{ij} T_{ij}},$$

где N – общее количество технологических операций;

T_{ij} – трудоемкость i -й операции ремонта j -го изделия, чел.-ч;

T_{is} – трудоемкость i -й операции ремонта s -го изделия-эталона, являющегося основным в программе предприятия чел.-ч;

$$\delta_{is} = \begin{cases} 1, & \text{если при ремонте } s\text{-го изделия - эталона } i\text{-я операция выполняется;} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если при ремонте } j\text{-го изделия } i\text{-я операция выполняется;} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Для расчета коэффициента конструктивно-технологической однородности необходимо дать инженеру-технологу инструмент, с помощью которого он смог бы оценить целесообразность включения нового изделия в действующий технологический процесс, пользуясь только доступными данными: техническими характеристиками изделия (масса, объем, развиваемые усилия на рабочем органе и др.) и технологическими параметрами (максимальная точность, минимальная шероховатость деталей, способы сборки, порядок испытаний и другие параметры, определяющие возможность ремонта рассматриваемого изделия на имеющихся средствах технологического оснащения) [4, 5]. Необходимо определить зависимости коэффициентов конструктивно-технологической однородности изделий от известных влияющих факторов.

Экспериментальные исследования. Производство и ремонт гидромолотов компании «Традиция» является многономенклатурным: всего 70 моделей собственного производства и различных фирм. Наиболее массовой является модель F-5 (рис. 2), которая была принята в качестве изделия-эталона. Для нее было определено количество технологических операций (табл. 1).

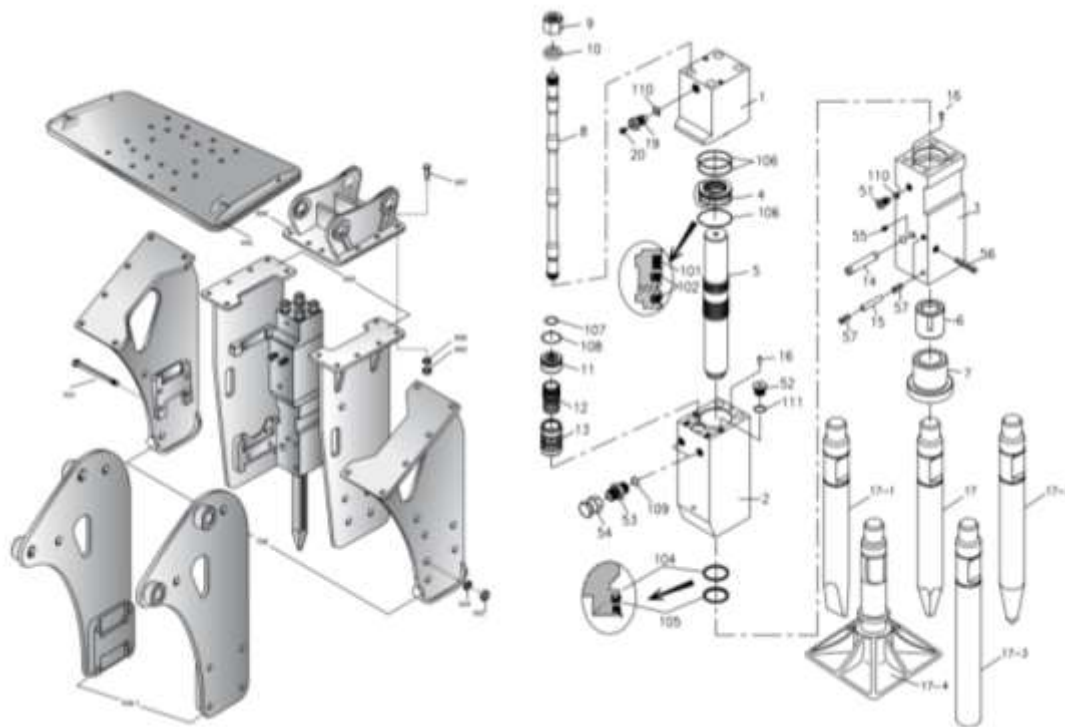


Рис. 2. Гидравлический молот модели F-5

Общее число разборочных и сборочных операций по основным конструктивно-размерным группам гидромолотов, на которые разделены ремонтируемые 70 моделей оборудования, сведено в табл. 2.

Таблица 1

Количество разборочных операций гидромолота F-5

№ операции	Содержание операции	№ детали на рис. 2
1	Снять подвеску	906
2	Снять щеки гидромолота	700
3	Выпустить газ из пневмокамеры	
4	Снять палец инструмента	14
5	Извлечь инструмент (пики, клины) из буксы	17
6	Снять пневмокамеру	1
7	Снять боек	5
8	Снять гильзу	4
9	Слить остатки масла из цилиндра, буксы	
10	Снять буксу	3
11	Снять комплект уплотнения	104, 105, 106
12	Снять распределитель	12
13	Снять пресс-масленку	55
14	Снять нижнюю втулку	7
15	Снять верхнюю втулку	6

Действующий вариант технологического процесса ремонта предусматривает разборку и сборку всех гидромолотов на трех рабочих местах без закрепления отдельных моделей за рабочими местами. Такая технология свойственна единичному типу производства [6] и имеет наиболее низкую производительность труда: коэффициент закрепления операций (КЗО) в рассматриваемой ситуации равен 244.

Таблица 2

Количество разборочных и сборочных операций по моделям гидромолотов

Конструктивно-размерные группы	Модель-представитель	Количество операций
Малые поршневые	F-5	30
Средние поршневые	F-15	30
Большие поршневые	F-35	30
Малые мембранные	INDECO HP-200	30
Средние мембранные	Rammer E-66	32
Большие мембранные	HM 450	32
Малые поршневые без шпилек	Impulse 120	30
Средние поршневые без шпилек	Impulse 300	30
Всего		244

Нами предложен второй вариант технологического процесса: на 1-м рабочем месте осуществлять разборку и сборку только гидромолота F-35, способного достаточно загрузить специализированное рабочее место, на остальных двух рабочих местах выполнять работы по всем остальным моделям. В этом случае КЗО на 1-м рабочем месте равен 30, КЗО на 2-м и 3-м рабочих местах – это $244 - 30 = 214$.

Таким образом, на 1-м рабочем месте произошел переход к мелкосерийному типу производства, для которого КЗО составляет 20 – 40 [7]. Соответственно должна повыситься производительность труда. Зависимость производительности труда от КЗО установлена с помощью «Методических указаний по оценке степени и уровня автоматизации производства» Госстроя СССР, которые ставят производительность труда в зависимость от технического уровня средств технологического оснащения, оцениваемого их звенностью Z. Звенность средств технологического оснащения, используемых при ремонте гидромолотов, и достигаемое с их помощью снижение трудоемкости ремонта (СТР, чел.-ч) представлены в табл. 3.

С ростом программы и уровня специализации рабочих мест появляется целесообразность и необходимость заменить на отдельных операциях средства технологического оснащения на более производительные [8]. Состав средств технологического оснащения и снижение трудоемкости ремонта в чел.-ч указаны в табл. 3. Доля трудоемкости при рекомендуемой технологии от трудоемкости по существующей технологии составила: для модели F-5 – 0,766, для модели F-15 – 0,883, для модели F-35 – 0,918, для модели INDECO HP-200 – 0,832, Rammer E-66 и HM 450 – 0,951, Impulse 120 – 0,838, Impulse 300 – 0,890.

Таблица 3

Снижение трудоемкости по вариантам

Наименование средств технологического оснащения	Варианты рабочих мест						
	Универсальное	Специализированное для гидромолотов:					
		поршневых		мембранных, кроме Impulse		мембранных Impulse	
	Звеньность	Звеньность	СТР, чел.-ч	Звеньность	СТР, чел.-ч	Звеньность	СТР, чел.-ч
1	2	3	4	5	6	7	8
Основные операции							
Гаечный ключ	0	0	0	0	0	0	0
Набор шестигранников	0	0	0	0	0	0	0
Отвертки	0	0	0	0	0	0	0
Молоток	0	0	0	0	0	0	0
Динамометрический ключ	1	–	–	–	–	1	0
Электронный динамометрический ключ	–	2	0,125	2	0,125	–	–
Съемник	1	1	0	1	0	1	0
Электродрель	2	2	0	2	0	2	0
Болгарка	2	2	0	2	0	2	0
Гайковерт пневматический	2	–	–	–	–	–	–
Манипулятор с пневматическим гайковертом	–	3	0,3	3	0,3	3	0,3
Краскопульт пневматический	2	2	0	2	0	2	0
Прессы гидравлические	3	–	–	3	0	3	0
Гидравлический разгонщик фланцев	–	3	0,15	–	–	–	–
Автоматические мойки деталей (без конвейеров)	3,5	3,5	0	3,5	0	3,5	0
Вспомогательные операции							
Тиски	0	–	–	–	–	–	–
Универсальный стенд	–	3	0,45	3	0,45	3	0,45

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8
Газосварочный аппарат	2	–	–	–	–	2	0
Система нагрева для снятия гайки шпильки	–	3	0,15	3	0,15	–	–
Подвесной кран	3	3	0	3	0	3	0
Автопогрузчик	3	3	0	3	0	3	0
Гидравлическая тележка	2	–	–	–	–	–	–
Штабелер	–	3,5	0,238	3,5	0,238	3,5	0,238
Кондуктор для сборки щек	–	3	0,225	–	–	3	0,225
Всего			1,638		1,263		1,213

Исследование зависимости коэффициентов от влияющих факторов.

Была выдвинута рабочая гипотеза, что с увеличением производственной программы происходит последовательное выделение определенных моделей гидромолотов на специализированные рабочие места, в результате чего трудоемкости их ремонта и коэффициенты конструктивно-технологической однородности снижаются. Гипотеза проверялась в предположении, что соотношение отдельных моделей гидромолотов остается стабильным при любой программе. Результаты расчетов сведены в табл. 4.

Коэффициенты конструктивно-технологической однородности гидромолотов с молотом F-5 для действующего варианта технологического процесса приведены в табл. 5. Следующим этапом исследований был поиск зависимостей коэффициентов от производственной программы и конструктивных факторов. Были рассмотрены следующие конструктивные факторы: X_1 – масса экскаватора, т; X_2 – диаметр рабочего инструмента, мм; X_3 – масса молота, кг; X_4 – рабочее давление, МПа; X_5 – скорость потока масла, л/мин; X_6 – частота ударов, мин⁻¹; X_7 – энергия удара, Дж. Статистический анализ показал тесную корреляционную связь конструктивных факторов. Во избежание мультиколлинеарности из группы тесно коррелированных факторов следует оставить лишь один, наиболее характерный, легко и точно измеряемый [9]. В качестве такого фактора выбрана масса молота.

Таблица 4

Снижение трудоемкости работ в зависимости от специализации рабочих мест

Про- грам- ма	Кол- во раб. мест	Коэффициенты закрепления операций / Коэффициенты снижения трудоемкости по рабочим местам									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
350	z _{факт}	$\frac{244}{1,00}$	$\frac{244}{1,00}$	$\frac{244}{1,00}$	–	–	–	–	–	–	–
400	z _{рек}	$\frac{30}{0,918}$	$\frac{244}{1,00}$	$\frac{244}{1,00}$	–	–	–	–	–	–	–
470	4	$\frac{30}{0,918}$	$\frac{32}{0,951}$	$\frac{182}{1,00}$	$\frac{244}{1,00}$	–	–	–	–	–	–
530	5	$\frac{30}{0,918}$	$\frac{32}{0,951}$	$\frac{30}{0,883}$	$\frac{152}{1,00}$	$\frac{244}{1,00}$	–	–	–	–	–
600	6	$\frac{30}{0,918}$	$\frac{32}{0,951}$	$\frac{30}{0,883}$	$\frac{32}{0,951}$	$\frac{120}{1,00}$	$\frac{244}{1,00}$	–	–	–	–
770	7	$\frac{30}{0,918}$	$\frac{32}{0,951}$	$\frac{30}{0,883}$	$\frac{32}{0,951}$	$\frac{30}{0,890}$	$\frac{90}{1,00}$	$\frac{244}{1,00}$	–	–	–
960	8	$\frac{30}{0,918}$	$\frac{32}{0,951}$	$\frac{30}{0,883}$	$\frac{32}{0,951}$	$\frac{30}{0,890}$	$\frac{30}{0,766}$	$\frac{60}{1,00}$	$\frac{244}{1,00}$	–	–
1170	9	$\frac{30}{0,918}$	$\frac{32}{0,951}$	$\frac{30}{0,883}$	$\frac{32}{0,951}$	$\frac{30}{0,890}$	$\frac{30}{0,766}$	$\frac{30}{0,838}$	$\frac{30}{1,00}$	$\frac{244}{1,00}$	–
1400	10	$\frac{30}{0,918}$	$\frac{32}{0,951}$	$\frac{30}{0,883}$	$\frac{32}{0,951}$	$\frac{30}{0,890}$	$\frac{30}{0,766}$	$\frac{30}{0,838}$	$\frac{30}{0,832}$	$\frac{30}{1,00}$	$\frac{244}{1,00}$
Специализи- руемая модель		F-35	Ram- mer E-66	F-15	HM 750	Impulse 300	F-5	Impulse 120	INDEC O HP- 200	–	–

Таблица 5

Коэффициенты конструктивно-технологической однородности гидромолотов

Конструктивно-размерные группы	Модель гидромолота	Коэффициент однородности
Малые поршневые	F-5	1,00
Средние поршневые	F-15	0,79
Большие поршневые	F-35	0,74
Малые мембранные	INDECO HP-200	0,69
Средние мембранные	Rammer E-66	0,45
Большие мембранные	HM 450	0,43
Малые поршневые без шпилек	Impulse 120	0,69
Средние поршневые без шпилек	Impulse 300	0,64

По данным таблиц 4 и 5 построены зависимости коэффициента конструктивно-технологической однородности k_{sj} от программы производства N и массы гидромолота m . Такая зависимость для поршневых гидромолотов имеет вид $k_{sj} = 2,387 \cdot N^{-0,02} \cdot m^{-0,14}$. Она изображена в виде контурной тепловой карты (рис. 3).

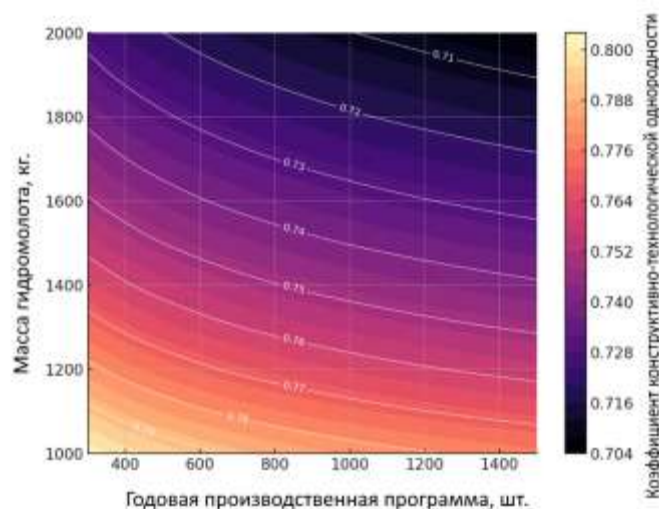


Рис. 3. Контурная тепловая карта зависимости коэффициента конструктивно-технологической однородности поршневых гидромолотов от программы производства и массы гидромолота

Аналогичная зависимость для мембранных гидромолотов выражается формулой $k_{sj} = 2,277 \cdot N^{-0,05} \cdot m^{-0,18}$ и изображена на рис. 4.

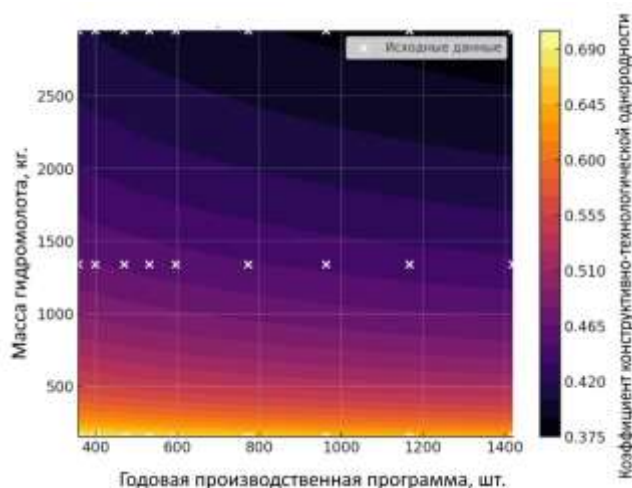


Рис. 4. Контурная тепловая карта зависимости коэффициента конструктивно-технологической однородности мембранных гидромолотов от программы производства и массы гидромолота

Зависимость для поршневых гидромолотов без шпилек выражается формулой $k_{sj} = 1,852 \cdot N^{-0,07} \cdot m^{-0,10}$ и изображена на рис. 5.

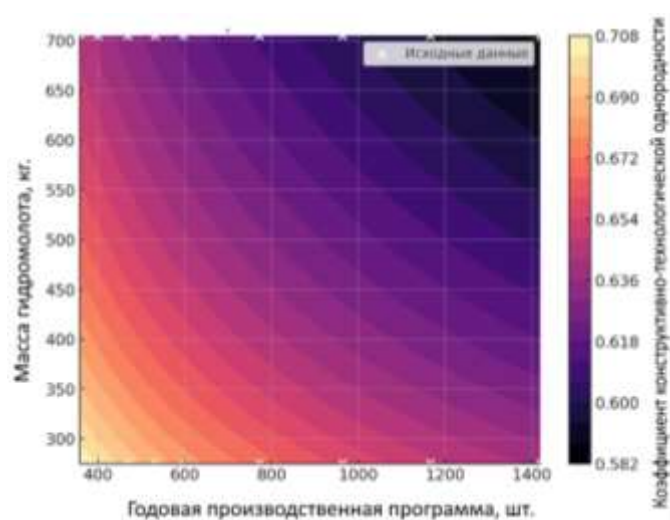


Рис. 5. Контурная тепловая карта зависимости коэффициента конструктивно-технологической однородности поршневых гидромолотов без шпилек от программы производства и массы гидромолота

Выводы

1. Коэффициент конструктивно-технологической однородности изделий позволяет количественно оценить это свойство при разработке унифицированных технологических процессов и повысить обоснованность определения технико-экономических показателей производства.

2. Рассмотрена трансформация технологических процессов ремонта гидромолотов при увеличении объемов производства. Рассчитаны трудоемкости ремонта для производственных программ от действующей до увеличенной в 4 раза.

3. Получены двухфакторные зависимости коэффициентов конструктивно-технологической однородности гидромолотов от их массы и производственной программы ремонта. С помощью этих зависимостей могут быть определены значения коэффициентов для любых производственных программ ремонта гидромолотов любых моделей.

Список источников

1. Унификация технологических процессов ремонта автомобильной техники / О. Н. Дидманидзе, Л. Л. Зиманов, В. И. Карагодин, А. А. Солнцев // Транспортное дело России. – 2024. – № 2. – С. 203-206. – EDN XLZCAУ.
2. Гавриленко, Н. Г. Особенности циклического развития автомобилестроения / Н. Г. Гавриленко // Мир транспорта. – 2017. – Т. 15, № 3(70). – С. 6-15. – EDN ZTPRXP.
3. Оценка конструктивно-технологической однородности гидравлических молотов при их ремонте / В. И. Карагодин, Р. А. Хапугин, П. Н. Квасов, В. Д. Чан // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2023. – № 3(37). – EDN ESHKZA.
4. Ягопольский, А. Г. Проблемы инновационного развития машиностроения России / А. Г. Ягопольский, А. А. Домнышев, Е. А. Воронцов // Инновации и инвестиции. – 2019. – № 2. – С. 7-9. – EDN SDFZUF.
5. Кузнецов, П. М. Целеустремленная среда проектно-операционного управления / П. М. Кузнецов, Г. А. Цырков // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2017. – № 4(168). – С. 10-14. – EDN XEEOZY.
6. Проектно-операционное управление в машиностроительном производстве / А. В. Цырков, П. М. Кузнецов, Г. А. Цырков [и др.] // Вестник Мордовского университета. – 2018. – Т. 28, № 4. – С. 511-522. – DOI 10.15507/0236-2910.028.201804.511-522. – EDN YPWUOD.
7. Политковская, И. В. Показатели и модели стратегического управления финансовой деятельностью предприятий транспортной отрасли / И. В. Политковская, С. Н. Исраилова // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2021. – № 12-2(82). – С. 217-220. – DOI 10.24412/2411-0450-2021-12-2-217-220. – EDN TLTQEB.
8. Дмитриев, Б. М. Диагностика технического состояния гибкой производственной системы / Б. М. Дмитриев // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2018. – № 1. – С. 10-14. – EDN YLWYXG.
9. Павлов, А. П. Исследование факторов, влияющих на изменение технического состояния автомобиля в процессе его производства, ремонта и эксплуатации / А. П. Павлов, Н. В. Золотуева // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2016. – № 3(9). – С. 2. – EDN WWOFYR.

References

1. Didmanidze O.N., Zimanov L.L., Karagodin V.I., Solntsev A.A. *Transportnoye delo Rossii*, 2024, no. 2 (171), pp. 203-206.
2. Gavrilenko N.G. *Mir transporta*, 2017, vol. 15, no. 3(70), pp. 6-15.
3. Karagodin V.I., Khapugin R.A., Kvasov P.N., Chan V.D. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*, 2023, no. 3(37).
4. Yagopolsky A. G., Domnyshev A. A., E. A. *Innovatsii i investitsii*, 2019, no. 2, pp. 7-9.
5. Kuznetsov P. M., Tsytkov G. A. *Informatsionnyye tekhnologii v proyektirovanii i proizvodstve*, 2017, no. 4(168), pp. 10-14.

6. Tsyrkov A. V., Kuznetsov P. M., Tsyrkov G. A., Ermokhin E.A., Moskvina V.K. *Vestnik Mordovskogo universiteta*, 2018, vol. 28, no. 4, pp. 511-522, doi 10.15507/0236-2910.028.201804.511-522.
7. Politkovskaya I.V., Israilova S.N. *Ekonomika i biznes: teoriya i praktika*, 2021, no. 12-2(82), pp. 217-220, doi 10.24412/2411-0450-2021-12-2-217-220.
8. Dmitriev B.M. *Remont. Vosstanovleniye. Modernizatsiya*, 2018, no. 1, pp. 10-14.
9. Pavlov A.P., Zolotueva N.V. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*, 2016, no. 3 (9), pp. 2.

Рецензент: В.Д. Александров, д-р техн. наук, проф., МАДИ

Информация об авторах

Карагодин Виктор Иванович, д-р техн. наук, проф., МАДИ.

Чан Ван Доан, аспирант, МАДИ.

Information about the authors

Karagodin Viktor I., Doctor of Sciences (Technical), professor, MADI.

Tran Van Doan, postgraduate, MADI.

Статья поступила в редакцию 16.10.2025; одобрена после рецензирования 21.11.2025; принята к публикации 11.12.2025.

The article was submitted 16.10.2025; approved after reviewing 21.11.2025; accepted for publication 11.12.2025.