

DOI 10.15593/24111678/2021.03.06

УДК 621.9

**В.И. Карагодин, Р.А. Хапугин**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва, Россия

## **ТЕХНОЛОГИЯ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО РЕМОНТА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ МОЛОТОВ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ**

Рассматривается формирование технологических маршрутов централизованного ремонта по техническому состоянию гидравлических молотов на предприятии московской компании «Традиция-К», которая является ведущей в сфере производства гидравлических молотов и производит фирменный ремонт выпускаемого оборудования. Необходимость реализации централизованного ремонта по техническому состоянию вызвана тем, что предприятие выполняет данный ремонт, но несет большие затраты времени и средств на определение технического состояния ремонтируемых изделий. В присутствии заказчика выполняется предварительное освидетельствование объекта ремонта и составляется дефектовочная ведомость. После разборки составные части изделия загружаются в контейнер и направляются на склад ремонтного фонда, где ожидают представителя заказчика для согласования объемов, содержания ремонтных работ, сметы затрат и отпускной цены на услуги предприятия. Разнообразие содержания выполняемых ремонтов вносит неопределенность в планирование загрузки технологического оборудования, исполнителей, материально-техническое обеспечение производства и препятствует повышению серийности производства и использованию прогрессивной промышленной технологии ремонта.

Основное направление совершенствования производства в данном случае – повышение его серийности. Теоретической основой решения этой проблемы является предложенная К.Т. Кошкиным маршрутная технология ремонта деталей. В статье выполнен анализ достоинств этой технологии, а также причин, препятствующих ее применению в рассматриваемом случае. Сделан вывод о целесообразности использования централизованного ремонта по техническому состоянию, в разработке и промышленном применении которого участвовали авторы данной статьи.

Приведены результаты систематизации и обработки информации об установленных дефектах, составе и содержании работ по ремонту гидромолотов, которая была получена за последние три года. Выявлено 73 ремонта гидромолота модели Delta F-5, по которым производился расчет. Анализ корреляционной связи совместно заменяемых деталей показал, что для гидромолотов Delta F-5 тесно связана лишь одна пара деталей: боек и гильза. Взаимосвязь деталей освобождает от необходимости дефектовать обе детали и позволяет объединять работы по их замене в одну. Полученные результаты ограничили подобные возможности и не позволили заметно сократить исследуемую совокупность ремонтных работ. Последующие исследования позволили объединить 73 ремонта в пять технологических маршрутов. Основным результатом решения поставленной задачи – достижение возможности принципиального изменения технологии и организации производства, что выражается в повышении его серийности и сопровождается возрастанием производительности труда и качества ремонта.

**Ключевые слова:** сборка, ремонт, технологический маршрут, гидромолот, агрегат, сочетание дефектов, дефектация.

**V.I. Karagodin, R.A. Khapugin**

Moscow automobile and road state technical University, Moscow, Russian Federation

## **TECHNOLOGY OF CENTRALIZED REPAIR OF HYDRAULIC HAMMERS ACCORDING TO TECHNICAL CONDITION**

The article is devoted to the formation of technological routes for centralized repair according to the technical condition (CRTC) of hydraulic hammers at the enterprise of the Moscow company "Tradition-K", which is a leading company in the field of production of hydraulic hammers and carries out branded repairs of manufactured equipment. The need to implement the CRTC is due to the fact that the enterprise carries out repairs according to the technical condition, but it incurs a large expenditure of time and money to determine the technical condition of the repaired products. In the presence of the customer, a preliminary inspection of the repair object is performed and a defect report is compiled. After disassembly, the components of the product are loaded into a container and sent to the warehouse of the repair fund, where the customer's representative is expected to agree on the scope, content of repair work, cost estimates and the selling price for the company's services. The variety of the content of the performed repairs introduces uncertainty in the planning of the loading of technological equipment, performers, material and technical support of production and prevents the increase in the serial production and the use of progressive industrial repair technology.

The main direction of improving production in this case is increasing its serial production. The theoretical basis for solving this problem is the routing technology of parts repair proposed by Koshkin K.T.. The article analyzes the advantages of this technology, as well as the reasons that prevent its use in the case under consideration. The conclusion is made about the expediency of using CRTС, in the development and industrial application of which the authors of this article participated.

The results of systematization and processing of information on the identified defects, the composition and content of work on the repair of hydraulic hammers, which was obtained over the past three years, are presented. 73 repairs of the Delta F-5 hydraulic hammer were identified, for which the calculation was made. The analysis of the correlation between the jointly replaced parts showed that for the Delta F-5 hydraulic hammers only one pair of parts is closely connected: the firing pin and the sleeve. The interconnection of parts frees from the need to defect both parts and allows combining the work on their replacement into one work. The obtained results limited such possibilities and did not allow to significantly reducing the studied set of repair works. Subsequent studies made it possible to combine 73 repairs into 5 technological routes. The main result of solving this problem is the achievement of the possibility of fundamental changes in technology and the organization of production, which is expressed in an increase in its serial production and is accompanied by an increase in labor productivity and the quality of repairs.

**Keywords:** assembly, repair, technological route, hydraulic hammer, unit, combination of defects, defection.

## Введение

Гидравлический молот (гидромолот) – сменное рабочее оборудование, монтируемое на гидравлических экскаваторах, погрузчиках, манипуляторах либо снабженное гидрофицированной установкой для самостоятельного использования при разрушении прочных материалов (горных пород, мерзлого грунта, асфальтобетона). Усилие удара рабочего органа (бойка) гидромолота обеспечивается жидкостью гидросистемы, находящейся под высоким давлением. Потребность строительства в таком оборудовании огромна. Ведущим предприятием по производству гидравлических молотов является московская компания «Традиция-К». Она же производит фирменный ремонт выпускаемого оборудования.

Выполняемый ремонт является ремонтом по техническому состоянию. При приемке гидравлического молота в ремонт в присутствии заказчика выполняется освидетельствование его технического состояния и составляется дефектовочная ведомость. Фактическое техническое состояние уточняется в процессе разборки, после чего составные части изделия загружаются в контейнер и направляются на склад ремонтного фонда. Там они ожидают представителя заказчика для согласования объемов, содержания ремонтных работ, сметы затрат и отпускной цены на услуги предприятия (рис. 1). Площадь склада ремонтного фонда – 84 м<sup>2</sup>. Если исходить из стоимости аренды 1 м<sup>2</sup> производственных помещений в Москве, то среднегодовые потери предприятия от нерационального использования этой площади – более 1 млн руб. в год. Время ожидания представителя заказчика – от 1 до 20 дней, в среднем 3 дня. На это время увеличивается длительность производственного цикла. Разнообразие содержания выполняемых ремонтов вносит неопределенность в планирование загрузки технологического оборудования, исполнителей, материально-техническое обеспечение производства и препятствует повышению серийности производства и использованию прогрессивной индустриальной технологии ремонта.

## 1. Организация и технология ЦРТС

Известно, что основной проблемой ремонтного производства является неопределенность технического состояния поступающих в ремонт изделий. Это приводит к тому, что изделия, изготовленные по унифицированным (типовым и групповым) технологиям, обычно ремонтируют по единичным технологиям, выявляя и устраняя совокупности дефектов, индивидуальные для каждого изделия. Вынужденные потери в технологическом совершенстве производства вызывают весьма ощутимые экономические потери.

Исследователи постоянно искали пути повышения серийности при ремонте изделий. Можно смело сказать, что революцией в решении этой проблемы стала предложенная К.Т. Кошкиным более 60 лет назад маршрутная технология ремонта деталей [1]. Он установил, что на деталях, эксплуатировавшихся в сходных условиях, могут возникать достаточно близкие по содержанию сочетания дефектов и предложил восстанавливать такие детали по технологическим маршрутам, различающимся сочетаниями устраняемых дефектов. Количество и содер-

жание технологических маршрутов устанавливалось на основе исследования сочетаний дефектов у репрезентативной выборки деталей, поступающих в ремонт. Предусматривалось, что у партии изделий, направленных по одному технологическому маршруту, устраняются все дефекты, предусмотренные маршрутом, независимо от наличия того или иного дефекта у конкретной детали. Это сопровождается некоторым увеличением объемов восстановительных работ ввиду неполного соответствия, с одной стороны, фактических сочетаний дефектов деталей, направленных по соответствующему технологическому маршруту, и с другой стороны, сочетания дефектов, устранение которых предусмотрено данным маршрутом.



Рис. 1. Существующая и предлагаемая схемы материальных потоков на предприятии

Эти дополнительные затраты, вызванные выполнением «лишних» работ по устранению отсутствующих дефектов, компенсируются снижением затрат на управление и обслуживание производства, серийность которого повышается, а вместе с ней повышаются технический и организационный уровни. Определение величины этих затрат представляет собой сложную задачу, так как наряду с объективными факторами в сфере управления и обслуживания производства действует множество субъективных факторов. Эта задача до настоящего времени не имеет решения, доведенного до конкретной общепризнанной методики. В свою очередь это препятствует объективной экономической оценке маршрутной технологии.

Максимальное количество технологических маршрутов равно количеству возможных сочетаний дефектов на детали. Минимальное количество технологических маршрутов – один. Этого можно достичь, если наплавить все изношенные поверхности и тем самым превратить изношенную деталь в заготовку. На рис. 2, а, видно, что при уменьшении количества технологических маршрутов затраты 2 на управление и обслуживание производства снижаются. Однако при этом прогрессивно растут затраты 1 на выполнение «лишних» работ по устранению отсутствующих дефектов. Действительно, даже незначительный дефект, например забитость резьбы, устраняемая ее прогонкой, требует затрат рабочего времени. А если устранение дефекта требует затрат не только рабочего времени, но и материалов, электроэнергии и других ресурсов, то становится ясным, что при уменьшении количества технологических маршрутов суммарные затраты 4 вряд ли уменьшатся. Это ставит под сомнение экономическую целесообразность маршрутной технологии восстановления деталей. Данное обстоятельство было нами неоднократно проверено, на основании чего сделан вывод, что использование в 60-е гг. XX в. этой технологии московскими авторемонтными заводами было обусловлено не только эконо-

мическими критериями, но и другими обстоятельствами. Со временем эти обстоятельства теряли силу, на первый план выходила экономика, и маршрутная технология восстановления деталей постепенно предавалась забвению.

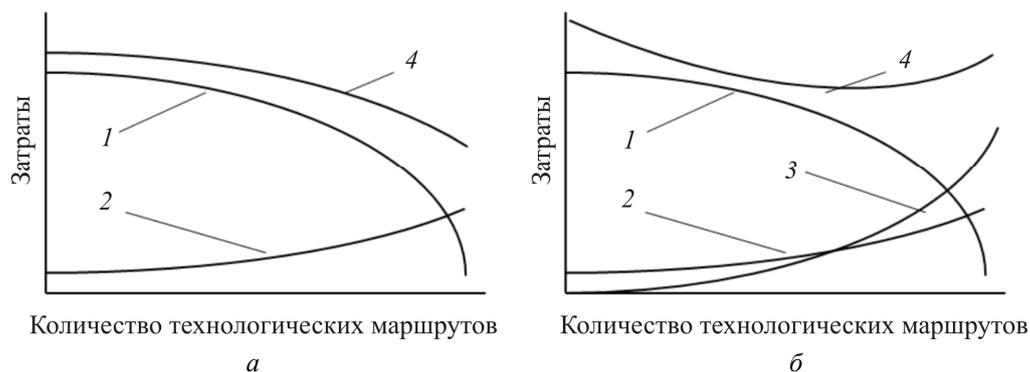


Рис. 2. Зависимости затрат на ремонт и их составляющих от количества технологических маршрутов: *а* – при ремонте деталей; *б* – при ремонте агрегатов; 1 – затраты на выполнение «лишних» работ по устранению отсутствующих дефектов; 2 – затраты на управление и обслуживание производства; 3 – потери от ошибочного назначения маршрутов; 4 – суммарные затраты

Однако идеи маршрутной технологии не были забыты и нашли свое применение при унификации технологических процессов ремонта не деталей, а агрегатов [2, 3]. Задача выявления типовых сочетаний работ заключалась в разбиении исходной совокупности реальных сочетаний работ, выполняемых в отдельных случаях ремонта, на ограниченное число однородных групп. Эта задача была поставлена как задача классификации ремонтных работ, базирующаяся на принципах многомерной классификации. Для ее решения был использован алгоритм многомерной таксономии.

После разработки технологических и организационных принципов маршрутной технологии агрегатов новый вид ремонта получил название централизованного ремонта по техническому состоянию (ЦРТС) [4]. Технологический маршрут ремонта детали назначался по результатам получения информации о ее техническом состоянии посредством дефектации. Для получения информации о техническом состоянии агрегатов необходимо диагностирование, которое получило название предремонтного диагностирования. ЦРТС был реализован в ОАО «КамАЗ» для автомобильных двигателей и показал хорошие результаты [5]. Практика реализации нового вида ремонта выявила, что предремонтное диагностирование предпочтительно проводить перед отправкой агрегата в ремонт до его снятия с автомобиля, а не при его приемке в ремонт на испытательном стенде. Отличием предремонтного диагностирования от других видов диагностирования является сокращение объема контрольно-диагностических операций, так как в этом случае не требуется локализации всех дефектов агрегата, а достаточно установить наличие или отсутствие только тех дефектов, которые определяют распределение агрегатов по технологическим маршрутам. Агрегаты в соответствии с назначенными им технологическими маршрутами направляются на специализированные рабочие места, причем на одном рабочем месте могут выполняться один или несколько технологических маршрутов.

Маршрутная технология ремонта агрегатов имеет принципиальное отличие от маршрутной технологии ремонта деталей. При дефектации деталей ошибки измерений и, соответственно, ошибки назначения технологических маршрутов пренебрежимо малы. Вероятности ошибок предремонтного диагностирования технического состояния двигателей нельзя назвать большими. Для отдельных диагностических параметров их величина не превышает 0,1. Но велика их цена. Это ошибка в назначении маршрута, которая либо своевременно обнаруживается, что приводит к необходимости корректировки маршрута в ходе ремонта, либо обнаруживается при приемочных испытаниях, что требует повторного ремонта. Потери 3 от ошибочного на-

значения маршрутов (рис. 2, б) оказывают принципиальное влияние на кривую суммарных затрат. При учете этих потерь кривая имеет минимум, соответствующий оптимальному количеству маршрутов.

## 2. Анализ и систематизация дефектов гидравлических молотов

Информация об установленных дефектах, составе и содержании ремонтных работ была получена за последние три года. Было зафиксировано 692 ремонта агрегатов, при которых выполнялись 52 наименования ремонтных работ в различных сочетаниях. Было выявлено 73 ремонта гидромолота модели Delta F-5, по которым производился расчет. Объединение выполнялось с учетом признаков, сформулированных в [6].

Признак функциональной взаимосвязи предполагает, что при конструктивной взаимосвязи деталей ремонтные воздействия на одну деталь требуют одновременного воздействия на другую [7, 8]. Например, на цилиндре гидромолота образовались задиры. Для устранения этого дефекта и восстановления геометрии цилиндра необходимо его шлифовать под ремонтный размер и азотировать. Для сохранения требуемой посадки под ремонтный размер цилиндра изготавливается новый боек, размер которого обеспечивает необходимый зазор между его поршневой частью и зеркалом цилиндра. Такая технология ремонта также потребует замены функционально связанных с отремонтированными деталями крепежных и уплотняющих деталей [9, 10].

Корреляционная связь ремонтных работ отражает потребность в их совместном выполнении и позволяет при возникновении необходимости в выполнении одной из взаимосвязанных работ прогнозировать необходимость выполнения другой или других работ. Анализ корреляционной связи совместно заменяемых деталей показал, что для гидромолотов Delta F-5 тесно связана лишь одна пара деталей: боек и гильза. Взаимосвязь деталей освобождает от необходимости дефектовать обе детали и позволяет объединять работы по их замене в одну. Полученные результаты ограничили подобные возможности и не позволили заметно сократить исследуемую совокупность ремонтных работ [11].

Технологичность объекта производства ремонтных работ отражает последовательность выполнения разборочно-сборочных работ и доступность сборочных единиц и деталей. Например, для того чтобы извлечь боек из ударного блока, необходимо предварительно снять уплотнительные и защитные кольца, втулку с уплотнительным и защитным кольцом, проставку с кольцом и крышку блока. С целью учета признака технологичности объекта производства ремонтных работ были разработаны технологические схемы сборки гидромолота [5, 6], указывающие последовательность выполнения сборочных операций, а на их основе составлены матрицы, отражающие содержание выполненных ремонтов (рис. 3).

Строками матрицы являются выполненные ремонты, а столбцами – разборочно-сборочные работы. На пересечении строки и столбца проставлены единицы, если при выполнении рассматриваемого ремонта соответствующая работа выполнялась. Предварительный анализ показал, что некоторые выполненные ремонты близки по содержанию, что дает возможность перехода от единичных технологий к унифицированным – типовым и групповым.

## 3. Система диагностирования и назначения технологических маршрутов

Диагностирование гидравлических молотов является сложной задачей по двум причинам. Во-первых, эта задача не часто привлекала внимание исследователей и не имеет большого количества опробованных решений. Во-вторых, гидравлический молот в силу назначения и особенностей конструкции трудно диагностировать. Имеющиеся немногочисленные методы не имеют оценки точности и достоверности диагностирования [12, 13].

Гидравлический молот устанавливается на стенде, определяются места наружных утечек масла, проверяется движение бойка. При необходимости измеряется величина давления масла в напорной линии питания. После этого делаются предположения о причинах отказа, выполня-

ется разборка гидравлического молота и дефектация деталей. Количественные связи между значениями диагностических и структурных параметров не установлены. Это потребовало анализа причинно-следственных связей в механизме.

№ молота	№ работы																	Трудо- емкость чел-ч									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	19		20	55	56	57	100	107	108		
1		1		1	1	1	1	1	1											1	1	1	1			12,5	
2				1		1							1	1		1			1	1	1	1				16,2	
3				1	1	1							1							1		1				6,5	
4					1	1							1			1				1						4,3	
5	1		1	1	1	1				1	1	1	1			1			1	1		1	1	1		23	
6						1							1			1			1	1						10,3	
7	1			1	1	1							1			1			1	1		1				16,3	
8					1	1							1	1				1	1	1	1					15	
9				1	1	1				1	1	1	1			1			1	1	1	1	1	1	1	7,7	
10	1			1												1			1	1		1				19,7	
11	1			1	1	1	1	1	1				1						1	1		1				31,5	
12				1	1	1							1	1			1	1	1	1	1	1	1			11,8	
13						1																				4,3	
14																							1			8,5	
15				1	1	1							1			1			1	1		1				17,25	
16	1			1	1	1							1	1		1		1	1	1		1				10,5	
17				1		1																1					8,8
18																			1				1				7,5
19				1		1				1	1	1	1			1	1	1	1	1		1	1	1	1	7,7	
20		1		1	1	1		1							1					1	1	1				13,8	
21	1			1	1					1	1	1	1	1		1			1		1		1	1	1	17,5	
22				1	1	1							1	1		1	1	1		1	1	1	1			19,2	
23					1	1										1				1	1						4,3

Рис. 3. Матрица ремонтов гидромолота Delta F-5 (фрагмент)

В процессе эксплуатации молота увеличивается зазор между инструментом и втулками, нарушается соосность бойка и инструмента. Из-за этого боёк взаимодействует с торцом инструмента только краем, а не всем торцом. При этом на боек и инструмент действуют дополнительные радиальные силы и изгибающие моменты. Их величина зависит от зазора между инструментом и втулками, предельная величина которого обычно регламентируется в руководстве по эксплуатации гидравлического молота.

В качестве диагностического параметра можно рассматривать непараллельность щёк гидравлического молота, между которыми расположен ударный блок. Это приводит к обрыву шпилек из-за дополнительного напряжения вследствие местного изгибающего момента.

В статье [13] решаются проблемы управления запасами запчастей для технического обслуживания, ремонта и эксплуатации и определяются способы использования технологий индустрии 4.0 для их решения. Аддитивное производство, аналитика больших данных, машинное обучение и новые модели логистики интеллектуальной мобильности – это новые технологии, которые позволяют создавать эффективные решения для инвентаризации различных типов деталей технического обслуживания и ремонта (ТО и Р). Не существует единой универсальной стратегии, которая работала бы для всех деталей из-за их большого разнообразия, включая модели использования, сроки выполнения и стоимость. Путем объединения частей ТО и Р в различные группы создают потенциальную стратегию повышения эффективности управления запасами за счет использования новых технологий для каждой группы деталей ТО и Р.

#### 4. Формирование технологических маршрутов ремонта гидромолотов

При объединении ремонтов в технологические маршруты учитывалась не только близость состава разборочно-сборочных работ, но и трудоёмкость ремонтов, так как трудоёмкость маршрута равна максимальной из трудоёмкостей вошедших в него ремонтов. Рекомендуемый состав технологических маршрутов ремонтов гидромолота Delta F-5 представлен на рис. 4.

№ маршрута	№ работы																	Трудо- емкость чел-ч						
	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	17	19	20	55		56	57	100	107	108	
M1	1	1	1	1	1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23
M2	1		1									1		1			1	1		1				19,7
M3	1		1		1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16
M4		1		1	1	1	1	1				1	1	1			1	1						4,3
M5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	20,3

Рис. 4. Состав технологических маршрутов ремонтов гидромолота Delta F-5

Объединение 73 ремонтов в пять технологических маршрутов сопровождается увеличением трудоемкости на 2,2 %. Это вызвано некоторым увеличением объемов разборочно-сборочных работ ввиду неполного соответствия, с одной стороны, фактических сочетаний дефектов агрегатов, направленных по соответствующему технологическому маршруту, и, с другой стороны, сочетания дефектов, устранение которых предусмотрено данным маршрутом. Однако оно будет компенсироваться сокращением объема контрольно-диагностических операций, так как в этом случае не требуется локализация всех дефектов агрегата, а достаточно установить наличие или отсутствие только тех дефектов, которые определяют распределение агрегатов по технологическим маршрутам. Таким образом, мы пришли к необходимости решения наиболее сложной комплексной задаче формирования технологических маршрутов ремонта, тесно связанной с задачей обоснования системы предремонтного диагностирования [14–16].

Основной результат решения поставленной задачи – достижение возможности принципиального изменения технологии и организация производства, что выражается в повышении его серийности и сопровождается возрастанием производительности труда и качества ремонта.

### Список литературы

1. Кошкин К.Т. Маршрутная технология ремонта деталей автомобиля. – М.: Автотрансиздат, 1960. – 216 с.
2. Карагодин В.И., Малахов А.В. Методика выявления типовых сочетаний работ по обеспечению работоспособности автомобилей // Повышение эффективности и качества ремонта автомобилей и дорожных машин: труды. – М.: МАДИ, 1977. – Вып. 138. – С. 24–32.
3. Formation of reconditioning complexes during on-condition centralized repair of automobile units / V.N. Krasovsky, V.V. Poptsov, V.A. Korchagin, N.I. Krasovskaja // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2017. – Vol. 12, № 13. – P. 4111–4121.
4. Карагодин В.И., Скрипников С.А. Обоснование системы предремонтного диагностирования при централизованном ремонте агрегатов автомобилей по техническому состоянию // Совершенствование технологии и производственных систем ремонта автомобилей: труды. – М.: МАДИ, 1984. – С. 14–22.
5. Карагодин В.И. Централизованный ремонт автомобильных двигателей по техническому состоянию. – М.: Техполиграфцентр, 2010. – 94 с.
6. Карагодин В.И., Карагодин Д.В. Формирование структуры ремонтного цикла автомобилей и их составных частей. – М.: КноРус, 2020. – 128 с.
7. Смирнов Н.Н., Ицкович А.А. Методы обслуживания и ремонта машин по техническому состоянию: учебник. – М.: Знание, 1973. – 312 с.
8. Хазов Б.Ф. Надежность строительных и дорожных машин. – М.: Машиностроение, 1979. – 192 с.
9. Iterative cost assessment of maintenance services / Günther Schuh, Philipp Jussen, Felix Opthostert // Procedia CIRP. – 2019. – Vol. 80. – P. 488–493. DOI: org/10.1016/j.procir.2019.01.067

10. Gary Linnéusson, Amos H.C.Ng, Tehseen Aslam. Relating strategic time horizons and proactiveness in equipment maintenance: a simulation-based optimization study // *Procedia CIRP*. – 2018. – Vol. 72. – P. 1293–1298. DOI: org/10.1016/j.procir.2018.03.219
11. Гаврилов К.Л. Дорожно-строительные машины: устройство, ремонт, техническое обслуживание: учебное пособие. – М.: Клинцовская типография, 2011. – 320 с.
12. Bram de Jonge, Edgars Jakobsons. Optimizing block-based maintenance under random machine usage // *European Journal of Operational Research*. – 2018. – Vol. 265 (2). – P. 703–709. DOI: 10.1016/j.ejor.2017.07.051
13. Maintenance, repair, and operations parts inventory management in the era of industry 4.0 / Jing Chen, Oleg Gusikhin, William Finkenstaedt, Yu-Ning Liu // *IFAC-PapersOnLine*. – 2019. – Vol. 52, iss. 13. – P. 171–176. DOI: 10.1016/j.ifacol.2019.11.171
14. Синельников А.Ф. Техническое обслуживание и ремонт промышленного оборудования: учебник. – М.: Академия, 2018. – 384 с.
15. Виноградов В.М. Устройство, техническое обслуживание и ремонт автомобилей: учебное пособие. – М.: Инфра-М, 2017. – 352 с.
16. Квагинидзе В.С. Монтаж, демонтаж, ремонт, опробование и техническое обслуживание механической части машин, узлов и механизмов распределительных устройств: учебник. – М.: Академия, 2015. – 384 с.

#### References

1. Koshkin K.T. *Marshrutnaia tekhnologiia remonta detalei avtomobilia* [Route technology for repairing car parts]. Moscow, Avtotransizdat, 1960, 216 p.
2. Karagodin V.I., Malakhov A.V. Metodika vyivleniia tipovykh sochetanii rabot po obespecheniiu rabotosposobnosti avtomobiley [Methodology for identifying typical combinations of works to ensure the operability of cars]. *Povyshenie effektivnosti i kachestva remonta avtomobiley i dorozhnykh mashin: trudy*. Moscow, Moskovskii avtomobil'no-dorozhnyi institut, 1977, iss. 138, pp. 24–32.
3. Krasovsky V.N., Poptsov V.V., Korchagin V.A., Krasovskaja N.I. Formation of reconditioning complexes during on-condition centralized repair of automobile units. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2017, vol. 12, no. 13, pp. 4111–4121.
4. Karagodin V.I., Skripnikov S.A. Obosnovanie sistemy predremontnogo diagnostirovaniia pri tsentralizovannom remonte agregatov avtomobiley po tekhnicheskomu sostoiianiiu [Justification of the system of pre-repair diagnostics for centralized repair of car units according to technical condition]. *Sovershenstvovanie tekhnologii i proizvodstvennykh sistem remonta avtomobiley: trudy*. Moscow, Moskovskii avtomobil'no-dorozhnyi institut, 1984, pp. 14–22.
5. Karagodin V.I. Tsentralizovannyi remont avtomobilnykh dvigatelei po tekhnicheskomu sostoiianiiu [Centralized repair of automobile engines according to the technical condition]. Moscow, Tekhpolygon, 2010, 94 p.
6. Karagodin V.I., Karagodin D.V. Formirovanie struktury remontnogo tsikla avtomobiley i ikh sostavnykh chastei [Formation of the structure of the repair cycle of cars and their components]. Moscow, KnoRus, 2020, 128 p.
7. Smirnov N.N., Itskovich A.A. Metody obsluzhivaniia i remonta mashin po tekhnicheskomu sostoiianiiu [Methods of maintenance and repair of machines according to technical condition]. Moscow, Znanie, 1973, 312 p.
8. Khazov B.F. Nadezhnost' stroitel'nykh i dorozhnykh mashin [Reliability of construction and road vehicles]. Moscow, Mashinostroenie, 1979, 192 p.
9. Günther Schuh, Philipp Jussen, Felix Optehostert. Iterative cost assessment of maintenance services. *Procedia CIRP*, 2019, vol. 80, pp. 488–493. DOI: org/10.1016/j.procir.2019.01.067
10. Gary Linnéusson, Amos H.C.Ng, Tehseen Aslam. Relating strategic time horizons and proactiveness in equipment maintenance: a simulation-based optimization study. *Procedia CIRP*, 2018, vol. 72, pp. 1293–1298. DOI: org/10.1016/j.procir.2018.03.219
11. Gavrilov K.L. *Dorozhno-stroitelnye mashiny: ustroystvo, remont, tekhnicheskoe obsluzhivanie* [Road construction machines: device, repair, maintenance]. Moscow, Klintovskaia tipografiia, 2011, 320 p.
12. Jonge Bram de, Jakobsons Edgars. Optimizing block-based maintenance under random machine usage. *European Journal of Operational Research*, 2018, vol. 265 (2), pp. 703–709. DOI: 10.1016/j.ejor.2017.07.051
13. Jing Chen, Oleg Gusikhin, William Finkenstaedt, Yu-Ning Liu. Maintenance, repair, and operations parts inventory management in the era of industry 4.0, *IFAC-PapersOnLine*, 2019, vol. 52, iss. 13, pp. 171–176. DOI: 10.1016/j.ifacol.2019.11.171
14. Sinelnikov A.F. *Tekhnicheskoe obsluzhivanie i remont promyshlennogo oborudovaniia* [Maintenance and repair of industrial equipment]. Moscow, Academia, 2018, 384 p.
15. Vinogradov V.M. *Ustroystvo, tekhnicheskoe obsluzhivanie i remont avtomobiley* [The device, maintenance and repair of cars]. Moscow, Infra-M, 2017, 352 p.

16. Kvaginizde V.S. Montazh, demontazh, remont, oprobovanie i tekhnicheskoe obsluzhivanie mekhanicheskoi chasti mashin, uzlov i mekhanizmov raspredelitelnykh ustroystv [Installation, dismantling, repair, testing and maintenance of the mechanical part of machines, components and mechanisms of switchgear]. Moscow, Academia, 2015, 384 p.

Получено 15.07.2021

#### Об авторах

**Карагодин Виктор Иванович** (Москва, Россия) – декан заочного факультета, профессор кафедры «Дорожно-строительные машины», доктор технических наук, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ) (Россия, 125319, г. Москва, Ленинградский пр., 64, e-mail: bik250248@yandex.ru).

**Хапугин Роман Алексеевич** (Москва, Россия) – аспирант, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ) (Россия, 125319, г. Москва, Ленинградский пр., 64, e-mail: roman354245@yandex.ru).

#### About the authors

**Viktor I. Karagodin** (Moscow, Russian Federation) – Dean of the Correspondence Faculty, Professor of the Department of Road Construction Machinery, Doctor of Technical Sciences, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI) (64, Leningradsky Pr., Moscow, 125319, Russian Federation, e-mail: bik250248@yandex.ru).

**Roman A. Khapugin** (Moscow, Russian Federation) – Graduate Student, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI) (64, Leningradsky Pr., Moscow, 125319, Russian Federation, e-mail: roman354245@yandex.ru).