

УДК 614.8.027.1:621.653(621.311.23)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИН ВИРОБНИЧОГО РИЗИКУ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПЛУНЖЕРНИХ ПАР І МОДЕЛЕЙ ВІДНОВЛЕННЯ ЇХ ПОВЕРХОНЬ ТЕРТЯ

КАСЬЯНОВ М.А.<sup>1\*</sup>, *д.т.н., проф.*,  
ХАЛМУРАДОВ Б.Д.<sup>2</sup>, *к.м.н., доц.*,  
ГУНЧЕНКО О.М.<sup>3</sup>, *к.т.н., доц.*,  
ЗАНЬКО С.М.<sup>2</sup>, *ас.*

<sup>1\*</sup> Кафедра охорони праці і навколишнього середовища, Київський Національний університет будівництва і архітектури, Повітрофлотський проспект, 31, 03680, Київ, Україна, тел. +38(044)2449614, e-mail: kaflab241ecolog@gmail.com

<sup>2</sup> Кафедра безпеки життєдіяльності, Національний авіаційний університет, пр. Космонавта Комарова 1, 03680, Київ, Україна, тел. +38(044)4067891, e-mail: batyrk@yandex.ua

<sup>3</sup> Кафедра безпеки життєдіяльності та охорони праці, Державний університет телекомунікацій, вул. Солом'янська, 7, 03680, Київ, Україна, тел.:+38(044)2492543, e-mail: oks-gunchenko@yandex.ru

**Анотація.** *Мета.* Метою статті є дослідження причин, які впливають на показники виробничого ризику при експлуатації плунжерних пар (ПП) в паливних насосах високого тиску (ПНВТ) дизельних двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ); і вдосконалення існуючих моделей відновлення поверхонь тертя. *Методика.* Моделювання роботи вузла тертя для визначення напрацювання на відмову і на показники виробничого ризику вимагає максимальної відповідності до проектних параметрів експлуатації всього механізму і є основою методичної частини дослідження, у якому використовувалися методи системного та техніко-економічного аналізу травматизму і узагальнення наукових результатів, системного і багатofакторного регресійно-кореляційного аналізу, прогнозування, експертних оцінок. *Результати.* Встановлено, що: транспортна галузь за показниками травматизму відноситься до однієї з небезпечних, оскільки у останні роки вона поділяє четверте-п'яте місця з машинобудуванням після соціально-культурної сфери, вугільної промисловості і агропромислового комплексу; існує 13 основних причин автомобільних аварій з нещасними випадками, до «технічних» з цих причин відноситься і відмова дизельного ДВЗ, що пов'язане передусім з відмовою ПНВТ, причиною якої може бути зношення ПП; існуючі технологічні процеси відновлення плунжерних пар ПНВТ не забезпечують необхідну їх довговічність, причиною цього є те, що при їх проектуванні у повній мірі не враховуються технічні особливості методів нанесення покриттів і зміцнення, а також техніко-економічні показники і умови експлуатації ПП; обґрунтовано модель відновлення поверхні тертя нанесенням на таку поверхню матеріалу трибоелектрохімічним осадженням, яке проходить за рахунок вмісту іонів відповідного металу в розчині електроліту та направленої дії магнітного поля, чим забезпечується можливість за безрозбірною технологією значно зменшити час на відновлення прецизійних пар тертя, збільшити їх напрацювання на відмову і стабілізувати показники виробничого ризику. *Наукова новизна і практична значимість.* Узагальнено основні технічні причини відмов при роботі дизельних ДВЗ, оснащених ПНВТ з плунжерними парами, що може призвести до виникнення небезпечної ситуації на дорозі; обґрунтовано концептуальні підходи до відновлення показників довговічності і ремонту плунжерних пар ПНВТ, які дозволяють коректно прогнозувати їх напрацювання на відмову, а відповідно, і показники виробничого ризику при їх експлуатації в транспортних засобах; встановлено, що при безрозбірному відновленні пар тертя розташування робочих поверхонь на полюсі N постійного магніту зміщує механізм тертя в сторону відновлення у феромагнітних матеріалів, а процес намагнічування у мастильному середовищі часток зношеного матеріалу супроводжується їх утриманням у зоні тертя з подальшим налипанням на найбільш енергетично нестабільні зони тертя, що дозволяє, в умовах часу зміни стомлюючої міцності матеріалу, стабілізувати показники виробничого ризику при експлуатації ПП в дизельних ДВЗ.

**Ключові слова:** дослідження, плунжерна пара, паливний насос, дизельний двигун внутрішнього згоряння, травматизм, виробничий ризик.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РИСКОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЛУНЖЕРНЫХ ПАР И МОДЕЛЕЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ

КАСЬЯНОВ М.А.<sup>1\*</sup>, *д.т.н., проф.*,  
ХАЛМУРАДОВ Б.Д.<sup>2</sup>, *к.м.н., доц.*,  
ГУНЧЕНКО О.М.<sup>3</sup>, *к.т.н., доц.*,  
ЗАНЬКО С.М.<sup>2</sup>, *ас.*

<sup>1\*</sup> Кафедра охраны труда и окружающей среды, Киевский Национальный университет строительства и архитектуры, Воздухофлотский проспект, 31, 03680, Киев, Украина, тел. +38(044)2449614, e-mail: kaflab241ecolog@gmail.com

<sup>2</sup> Кафедра безопасности жизнедеятельности, Национальный авиационный университет, пр. Космонавта Комарова, 1, 03680, Киев, Украина, тел. +38(044)4067891, e-mail:

<sup>3</sup> Кафедра безопасности жизнедеятельности и охраны труда, Государственный университет телекоммуникаций, ул. Соломенская, 7, 03680, Киев, Украина, тел.:+38(044)2492543, e-mail: oks-gunchenko@yandex.ru

**Аннотация. Цель.** Целью статьи являются исследования: причин, которые влияют на показатели производственного риска при эксплуатации плунжерных пар (ПП) в топливных насосах высокого давления (ТНВД) дизельных двигателей внутреннего сгорания (ДВС); и усовершенствование существующих моделей восстановления поверхностей трения. **Методика.** Моделирование работы узла трения для определения наработки на отказ и на показатели производственного риска требует максимального соответствия проектным параметрам эксплуатации всего механизма и является основой методической части исследования, в котором использовались методы системного и технико-экономического анализа травматизма и обобщение научных результатов, системного и многофакторного регрессионно-корреляционного анализа, прогнозирование, экспертных оценок. **Результаты.** Установлено, что: транспортная отрасль по показателям травматизма принадлежит к одной из опасных, поскольку в последние годы она разделяет четвертое-пятое места с машиностроением после социально-культурной сферы, угольной промышленности и агропромышленного комплекса; существует 13 основных причин автомобильных аварий с несчастными случаями, к «техническим» по этим причинам относится и отказ дизельного ДВС, что связано прежде всего с отказом ТНВД, причиной которого может быть износ ПП; существующие технологические процессы восстановления плунжерных пар ТНВД не обеспечивают необходимую их долговечность, причиной этого является то, что при их проектировании в полной мере не учитываются технические особенности методов нанесения покрытий и укрепление, а также технико-экономические показатели и условия эксплуатации ПП; обоснована модель восстановления поверхности трения нанесением на такую поверхность материала трибозлектрохимическим осаждением, которое проходит за счёт содержания ионов соответствующего металла в растворе электролита и направленного действия магнитного поля, чем обеспечивается возможность по безразборной технологии значительно уменьшить время на восстановление прецизионных пар трения, увеличить их наработку на отказ и стабилизировать показатели производственного риска. **Научная новизна и практическая значимость.** Обобщены основные технические причины отказов при работе дизельных ДВС, оснащенных ТНВД с плунжерными парами, которая может привести к возникновению опасной ситуации на дороге; обоснованы концептуальные подходы к восстановлению показателей долговечности и ремонта плунжерных пар ТНВД, которые разрешают корректно прогнозировать их наработку на отказ, а соответственно, и показатели производственного риска при их эксплуатации в транспортных средствах; установлено, что при безразборном восстановлении пар трения расположение рабочих поверхностей на полюсе N постоянного магнита смещает механизм трения в сторону восстановления у ферромагнитных материалов, а процесс намагничивания в смазочной среде частиц изношенного материала сопровождается их удержанием в зоне трения с дальнейшим налипанием на наиболее энергетически нестабильные зоны трения, которое позволяет, в условиях времени изменения усталостной прочности материала, стабилизировать показатели производственного риска при эксплуатации ПП в дизельных ДВС.

**Ключевые слова:** исследование, плунжерная пара, топливный насос, дизельный двигатель внутреннего сгорания, травматизм, производственный риск.

## STUDY REASONS PRODUCTION RISK IN THE OPERATION PLUNGER AND MODELS RESTORATION OF SURFACE FRICTION

KASYANOV N. A.<sup>1\*</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,  
KHALMURADOV B.D.<sup>2</sup>, *Cand. Sc.(Med), Assoc.*,  
GUNCHENKO O. N.<sup>3</sup>, *Cand. Sc.(Tech), Assoc.*,  
ZANKO S.M.<sup>2</sup>, *Ass.*

<sup>1\*</sup> Department of labor protection and the environment, Kyiv national University of construction and architecture, vozdukhoflotsky prospect 31, 03680, Kiev, Ukraine tel: +38(044)2449614, e-mail: kaflab241ecolog@gmail.com

<sup>2</sup> Department of life safety, National Aviation University, pr. Komarova 1 03680 Kiev, Ukraine Tel. +38 (044) 406-78-91, e-mail:

<sup>3</sup> Department of life safety and labour protection, State University of telecommunications, vul. Str 7, 03680, Kiev, Ukraine tel:+38 (044) 2492543, e-mail: oks-gunchenko@yandex.ru

**Annotation. Goal.** The aim of the article is research: the causes that affect the performance of the production risk in the operation plunger (OP) in the high pressure fuel pump (fuel pump) diesel internal combustion engines (ICE), and the improvement of existing models of restoration of friction surfaces. **Methods.** Simulation of friction unit works to determine the MTBF and production risk indicators requires maximum compliance of all design parameters of operation of the mechanism is the basis of the methodological part of the study, which used methods of system and technical and economic analysis of injury and generalization of scientific results, the systemic and multifactor regression-correlation analysis, forecasting, expert assessments. **Results.** It was found that: the transport sector in terms of injuries belongs to one of the most dangerous, because in recent years it shared the fourth and fifth places with machinery after the socio-cultural sphere, the coal industry and the agro-industrial complex; There are 13 major causes of car crashes accidents to «technical» reasons for these concerns and the failure of the diesel internal combustion engine, which is primarily due to pump failure, the cause of which can be wear PP; existing processes restore plunger pump does not provide the necessary durability, the reason for this is that in their design does not fully take into account the technical characteristics of coating methods and strengthening, as well as technical and economic parameters and operating conditions of the PP; justified recovery model friction surfaces by applying to such

surface material triboelektrohimičeskim deposition, which takes place at the expense of the content of the corresponding metal ions in the electrolyte solution and the direction of the magnetic field than is possible on the CIP technologies significantly reduce the time to restore the precision pairs of friction, increase their uptime and stabilize the performance of the production risk. **The scientific novelty and practical significance.** Summarized the main technical reasons for failure when using diesel internal combustion engine equipped with a fuel injection pump plunger pairs, which may cause a dangerous situation on the road; grounded conceptual approaches to the restoration and maintenance of durability indicators plunger injection pump, which allowed them to correctly predict MTBF, and accordingly, and operational risk indicators in their use in vehicles; found that by CIP recovery steam friction arrangement of work surfaces at the pole N of the permanent magnet biases the friction mechanism towards recovery in ferromagnetic materials, the magnetization process in the lubricating medium worn material particles accompanied by their retention in the friction zone to a further build-up at the energetically most unstable friction zone which allows, in a time fatigue strength material changes to stabilize the production values at risk PP operating in diesel internal combustion engines.

**Keywords:** research, plunger pair, fuel pump, a diesel internal combustion engine, injuries, production risk.

### Вступ

В Україні регулювання питань охорони праці і виробничого ризику здійснюються законодавчими актами і нормативними документами головними з яких є Конституція України, закони «Про охорону праці», «Основи законодавства України про охорону здоров'я», «Про основи національної безпеки», «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування».

За 2015 р. в Україні на виробництві було травмовано 4260 осіб (375 смертельно), що у порівнянні з 2014 р. менше, відповідно на 2058 і 173 особи (табл. 1 і 2) [12,17], але при аналізі цих показників необхідно враховувати зниження економічної діяльності у цей період.

Аналіз табл. 1 показує, що кількісні показники виробничого травматизму у транспортній галузі ставлять її практично в один ряд з машинобудуванням і металургією після соціально-культурної сфери, вугільної промисловості і агропромислового комплексу.

Але, якщо взяти до уваги, що у названих галузях у достатньо великій мірі використовуються різного призначення транспортні засоби, наприклад промислові роботи і роботизовані комплекси – у машинобудуванні, металургії, деревообробній промисловості і т. ін., а у агропромисловому комплексі – цілий набір не лише загальновідомих моделей вантажних автомобілів і тракторів, а і спеціалізованої транспортної техніки для обробки землі, посівів, збирання врожаю, поливу і т.д., то можна безпомилково стверджувати, що доля травм, пов'язаних з її використанням у цих галузях є досить значною [16,27]. У агропромисловому комплексі вона навіть досягає 60% від загальної кількості всіх травм [8]. Беззаперечно, що такі травми є суттєвою складовою у загальному стані виробничого травматизму, у т.ч. і по областях (табл. 2) [12].

Враховуючи ту обставину, що майже 30% усієї валової продукції до середини 2014 р. давали підприємства різних галузей, які зараз знаходяться у зоні АТО і не працюють, то можна зробити висновок про те, що показники виробничого травматизму за останні роки у цілому майже не змінилися.

Відносно АР Крим можна зауважити тільки те, що наведені у зазначеному джерелі [13] за 2014 р. показники (відповідно 51 і 3) не можливо прийняти до уваги з-за тієї ж причини і з-за відсутності даних про

стан їх виробництва, починаючи з другого кварталу 2014 р. Але є і інші дані щодо показників травматизму, так на сайті Харківської ОДА станом на 1 жовтня 2015 р. повідомлялось [14], що за 8 місяців того року у порівнянні з відповідним періодом 2014 р. загальний виробничий травматизм у області знизився на 31%, а смертельний – більш ніж у три рази.

Таблиця 1

Стан виробничого травматизму за 12 місяців 2015 та 2014 р. по галузях нагляду (осіб) /  
*State of occupational injuries for 12 months of 2015 and 2014 by sector oversight (s)*

Галузь нагляду	12 місяців 2015 рік		12 місяців 2014 рік		Різниця, + -	
	Всього	В т.ч. "с"м"	Всього	В т.ч. "с"м"	Всього	В т.ч. "с"м"
Вугільна	752	19	2034	99	-1282	-80
Гірничорудна та нерудна	207	16	220	12	-13	4
Нафтогазовидобувна та геологорозвідка	11	4	19	2	-8	2
Енергетика	113	18	135	26	-22	-8
Будівництво	206	35	263	48	-57	-13
Котлонагляд, підйомні споруди	10	1	20	6	-10	-5
Машинобудування	311	21	507	23	-196	-2
Металургійна	268	14	340	25	-72	-11
Хімічна	137	16	132	15	5	1
Транспорт	396	54	423	71	-27	-17
Зв'язок	60	8	74	8	-14	0
Газова промисловість	48	2	51	8	-3	-6
Житлокомунгосп	141	14	171	9	-30	5
Агропромисловий комплекс	602	84	691	95	-89	-11
Деревообробна промисловість	83	5	76	9	7	-4
Легка та текстильна промисловість	17	0	25	0	-8	0
Соціально-культурна сфера та торгівля	898	64	1137	92	-239	-28
Разом	4260	375	6318	548	-2058	-173

При цьому не вказуються показники економічної діяльності і загальна кількість працівників, що є завадою для коректної оцінки і висновків щодо

визначення напрямів розробки заходів для зниження кількості нещасних випадків і професійних захворювань.

Таблиця 2

Стан виробничого травматизму за 12 місяців 2015 та 2014 р. по областях (осіб) /  
State of occupational injuries for 12 months of 2015 and 2014 by area (s)

Області	12 місяців 2015 рік		12 місяців 2014 рік		Різниця, +-	
	Всього	В т.ч. "СМ"	Всього	В т.ч. "СМ"	Всього	В т.ч. "СМ"
Україна	4260	375	6318	548	-2058	-173
АР Крим	0	0	51	3	-51	-3
м. Севастополь	0	0	18	0	-18	0
Вінницька	177	15	216	17	-39	-2
Волинська	178	13	137	7	41	6
Дніпропетровськ	608	47	767	57	-159	-10
Донецька	672	36	1850	125	-1178	-89
Житомирська	102	8	115	15	-13	-7
Закарпатська	37	4	44	9	-7	-5
Запорізька	285	12	304	14	-19	-2
Івано-Франківська	90	10	79	12	11	-2
Київська	167	23	154	26	13	-3
м. Київ	315	29	334	34	-19	-5
Кіровоградська	51	8	73	5	-22	3
Луганська	108	9	578	48	-470	-39
Львівська	224	22	241	22	-17	0
Миколаївська	66	4	79	7	-13	-3
Одеська	125	18	117	18	8	0
Полтавська	206	19	217	19	-11	0
Рівненська	90	4	116	7	-26	-3
Сумська	117	11	121	13	-4	-2
Тернопільська	59	10	80	11	-21	-1
Харківська	143	20	208	32	-65	-12
Херсонська	73	9	83	11	-10	-2
Хмельницька	100	16	122	10	-22	6
Черкаська	116	8	73	9	43	-1
Чернівецька	30	8	41	5	-11	3
Чернігівська	121	12	100	12	21	0

Актуальність проблеми оцінки виробничих ризиків обумовлюється тим, що у розвинутих країнах починаючи з кінця 80-х років ХХ століття безпека населення від техногенних джерел здійснюється на основі концепції прийнятної ризику, яка вимагає кількісного визначення ризику і його порівняння з достатнім, тобто прийнятним у даний час, рівнем.

Оцінка і управління виробничими ризиками є економічно необхідним засобом зниження втрат і підвищення ефективності розвитку. Це пов'язане з ускладненням і ростом енергоємності функціонування складових сучасного суспільства, що відповідно веде до збільшення ризиків.

Тому їх оцінка у системі управління охороною праці (СУОП) повинна бути не лише якісною, а і кількісною характеристикою, яка визначається за допомогою відомих сучасних прямих і непрямих методів таких, як на основі: матриці «ймовірність-збиток»; вербальних функцій; системи Елмері; оцінка ступеня виконання вимог безпеки; ранжування рівня вимог – індекс ОВР, тобто **обов'язкові** і **важливі** вимоги, а також **рекомендації** щодо організації робочого місця, трудового процесу і т.ін.

### Методика

Головна вимога до використання того чи іншого методу полягає у тому, щоб можна було з прийнятною для практики точністю оцінити імовірність виникнення небезпечної, критичної або аварійної ситуації, які можуть призвести до нещасного випадку, у т.ч. і при використанні у технічних системах пар тертя.

При вирішенні поставленої у дослідженні задачі використовувалися методи аналізу і узагальнення наукових результатів, аналізу травматизму, системного і багатофакторного регресійно-кореляційного аналізу, прогнозування, експертних оцінок та техніко-економічного аналізу.

### Мета дослідження

Результати виконаного аналізу вказують на те, що в Україні у останні роки суттєво збільшився внесок транспортної галузі у загальні показники виробничого травматизму, що суттєво впливає на соціально-економічні збитки держави і призводить до загибелі людей. Тому дослідження причин і джерел виникнення небезпечних, критичних і аварійних ситуацій при експлуатації транспортних засобів, а також пошук і обґрунтування нових методів і засобів зниження виробничого ризику і підвищення надійності технічних систем і об'єктів, які в них використовуються, сприятиме поліпшенню стану охорони праці у цій галузі. А отже метою статті є дослідження:

– причин, які впливають на показники виробничого ризику при використанні плунжерних пар (ПП) у паливних насосах високого тиску (ПНВТ) дизельних двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ), оскільки вони широко використовуються у якості силових агрегатів транспортної техніки різного призначення;

- і вдосконалення існуючих моделей відновлення поверхонь тертя у процесі експлуатації.

### Результати дослідження

Відомо, що причини і можливість виникнення виробничої травми у результаті нещасного випадку (НВ) залежать від характеру і умов сучасної праці, особливостей технологічного процесу, обладнання, параметрів ергономічних показників робочого місця (РМ), а також психофізіологічних характеристик людини-оператора. Але із різноманітних причин у наш час виділяються три основні їх класи – організаційні, технічні та психофізіологічні, які дають можливість

системно їх розглядати і аналізувати [3,6,12,13,16,18, 24,27].

На рівень перших з вказаних впливає якість організації праці на всій протяжності технологічного процесу від прохідної підприємства до робочого місця, включаючи дотримання правил використання транспортних засобів, обладнання, інструментів, території, відсутність чи наявність засобів колективного і індивідуального захисту, порушення або недоліки в організації РМ. До першого класу відноситься також невиконання або недотримання різних правил і норм не лише при здійсненні основних виробничих завдань, а і при складуванні та зберіганні матеріалів, пристроїв, готової продукції, а також недоліки у організації праці і відпочинку, надзорі за їх дотриманням, та у навчанні працівників, їх атестації безпечним методам роботи і т. ін.

Технічні причини відрізняються не лише станом, недосконалістю і невідповідністю сучасним вимогам існуючих технологічних процесів, обладнання, інструменту, засобів захисту, споруд і приміщень, міцності і витривалості елементів і вузлів, показників їх напрацювання на відмову (табл. 3), а і порушеннями санітарно-гігієнічних вимог, що призводить до виникнення на робочому місці або у всьому виробничому приміщенні підвищених рівнів шуму, вібрації, концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони, несприятливого освітлення, ненормованих метеорологічних умов праці та ін.

Таблиця 3

Показники безвідмовності гідравлічного обладнання /  
*Indicators of reliability of hydraulic equipment*

№	Найменування обладнання	Інтенсивність відмов	Значення, 1/год.
1.	Насоси гідравлічні	під час роботи	0,0004
2.	Клапани гідравлічні з приводом від електродвигуна	при відкритті; при утриманні у відкритому положенні	0,0001 0,0005
3.	Клапани гідравлічні з приводом від соленоїду	при відкритті; при утриманні у відкритому положенні	0,0004 0,0002
4.	Трубопроводи гідравлічні	при навантаженні	$1 \times 10^{-9}$
5.	Циліндри гідравлічні	при навантаженні	0,00009
6.	Зворотні клапани	при роботі	0,00003
7.	Датчики тиску	при вимірюванні	0,00005
8.	Манометри	під навантаженням	0,00005
9.	Витратовимірювач гідравлічний	при роботі	0,0003
10.	Посудини високого тиску	руйнування	0,00005

При використанні даних табл. 3 необхідно вводити поправочні коефіцієнти, що враховують зниження безвідмовності у залежності від особливостей розташування технологічного обладнання і умов його експлуатації для:

а) транспорту: морського – 1,2; залізничного – 1,3; автомобільного – 1,4;

б) географічних умов: тропіки – 2,1; субтропіки – 1,6; Арктика – 2.

До психофізіологічних причин, які в Україні складають 16,4% від загальної кількості, належать фізичні і нервово-психічні перенавантаження людини-оператора, які призводять до його помилок з-за монотонності праці, втоми, перевтоми та стресових причин [2,3,21]. Вони виникають також внаслідок невідповідності ергономічних показників обладнання і умов праці фізіологічним, психічним особливостям працівника та порушення мотиваційної складової його дій, пов'язаних з безпекою [6].

Зрозуміло, що наведена вище класифікація НВ має недоліки і деяку умовність, але вона є загально прийнятною, оскільки забезпечує можливість для їх структурування та визначення необхідних методів і засобів щодо запобігання їх виникнення у майбутньому. Але, на наш погляд, є некоректним віднесення до «технічних» причин НВ помилок людини-оператора з-за недоведеного до автоматизму його уміння і навичок у експлуатації обладнання, оскільки і добре тренований працівник робить помилки внаслідок, наприклад, монотонності стресу, втоми [1,2,3,21]. Остання виникає з-за фізичного чи психічного перенавантаження, у тому числі пов'язаного з великою кількістю повторів одноманітних рухів та дій у процесі роботи [5,6], тобто – з-за психофізіологічних причин.

Є дослідження, наприклад [16], у яких вказується на чотири класи виробничого травматизму, – технічні, організаційні, економічні, санітарно-гігієнічні. Зокрема, до економічних причин віднесено низьку заробітну плату, затримку її виплати, нерівномірність виробничої діяльності, готовність виконувати понад планову роботу, праця за сумісництвом і т. ін. Але все перераховане має організаційні або психофізіологічні корені, оскільки перші з них характеризуються організаційними причинами, а другі – переважною працівника, яка виникає внаслідок психофізіологічних причин.

Аналіз НВ і профзахворювань у пострадянських країнах, зокрема у Росії [4], показує, що основними причинами аварійності і травматизму на виробництві є: людський чинник – 50,1%; обладнання – 18,1%; монотонність виконання робіт – 7,8%; умови зовнішнього середовища – 16,6%; інші – 7,4%. Причому, збільшилась кількість аварій і НВ внаслідок неправильних дій персоналу, пов'язаних з недостатнім його професіоналізмом і невмінням приймати оптимальні рішення у складній обстановці в умовах дефіциту часу. Крім того, у Росії на виробництві щомісяця гине 650 людей, 1000 виходить на інвалідність, а 20% від загального числа працює в умовах, що не відповідають санітарно-гігієнічним нормам.

У [21] зазначено, що для успішної профілактики виробничого травматизму і професійної захворюваності прийнято поділяти їх причини на

наступні 5 основних груп: організаційні; технічні; санітарно-гігієнічні; економічні; психофізіологічні.

А у [25] виділено такі причини промислового і сільськогосподарського виробничого травматизму: організаційні; матеріально-технічні, які пов'язані з використанням несправного обладнання, інструменту, машин і механізмів, а також недосконалістю їх конструкцій; санітарно-гігієнічні; особисті, пов'язані з психофізіологічним і фізичним станом людини (недостатня кваліфікація, хронічні захворювання, психічна або фізична перевтома, зловживання алкоголем і т. ін.)

Технічні причини травматизму у [20,26] віднесено до розповсюджених на підприємствах України і охарактеризовано як залежні від рівня організації праці на виробництві. Між цим серед інших названо недосконалі технологічні процеси, конструктивні недоліки обладнання, інструментів і приладдя, а також – недостатня якість і надійність машин та наявність обладнання, яке відпрацювало нормативний строк експлуатації. Частка таких причин, за даними [17], складає 17,9% від загальних показників виробничого травматизму, що дещо менше ніж, вказано у [4], для Росії, від технологічних і причин, пов'язаних з відмовою обладнання, відповідно.

Також необхідно прийняти до відома, що нещасний випадок, у результаті якого працівник отримав травму, може статися внаслідок декількох причин, що обумовлюється взаємозв'язком визначених випадковостей і закономірностей у ході розвитку попередніх подій. Крім того наявним є і явище так званої біфуркації розвитку негативних наслідків сумісної або комплексної дії шкідливих і небезпечних виробничих чинників (ШНВЧ) [28].

Оскільки плунжерні пари широко використовуються у техніці, зокрема у дизельних двигунах внутрішнього згоряння, то виникає необхідність у дослідженні впливу конструкторських і технологічних характеристик ПП на можливу втрату ДВЗ потужності або відмову (до 70 %) у роботі. Тобто, визначенні «частки» причин, пов'язаних з ПП, у ризику виникнення аварійних ситуацій при експлуатації таких двигунів.

У результаті дослідження встановлено, що існує 13 основних причин автомобільних аварій, які призводять до НВ у т. ч. зі смертельними наслідками. До них відносяться як «технічні», так і «людські», а точніше – психофізіологічні:

- слабкі навички водіння;
- дії пасажирів, які відволікають водія;
- перевищення швидкості на недозволених або небезпечних ділянках;
- перевтома водія;
- сон за кермом;
- алкогольне або наркотичне сп'яніння;
- раптова втрата свідомості або смерть за кермом;
- порушення психічної рівноваги внаслідок стресу;
- втрата видимості (туман, дощ, снігопад, їзда вночі і все перераховане при несправних фарах);

– загоряння двигуна внаслідок короткого замикання у електричній системі автомобіля, загоряння і вибух бензобаку, загоряння колеса з-за виходу з ладу підшипника;

– відрив колеса чи кардана на великій швидкості руху;

– відмова двигуна на небезпечній ділянці дороги або при здійсненні маневру з обгону, особливо тягачів з багатомірними причепами;

– відмова гальмівної системи на повороті, слизькій дорозі, на крутому спуску або при екстремому гальмуванні.

При цьому можливим є створення таких аварійних ситуацій як:

– зіткнення з перешкодою;

– перевертання автомобіля;

– падіння в кювет, яр, ущелину, річку, водойму.

Усі вони є небезпечними і дають мало можливостей для людини залишитися живою та неушкодженою, особливо при падінні з великої висоти і скочуванні з крутого схилу.

Американські вчені впродовж трьох років проводили дослідження для виявлення основних причин автокатастроф за участю 3500 волонтерів. Останні дозволили обладнати свої автомобілі багаточисельними приладами і камерами для фіксації швидкості транспортного засобу, його місця знаходження, рухів керма і траєкторії погляду водіїв. Останні за час спостережень стали учасниками півтори тисячі дорожньо-транспортних пригод (ДТП), причому у 88% випадків – з їх вини. З них у 15% ДТП водіїв відволікали пасажири, а у 6,4% - розмови по мобільному телефону без спеціальної гарнітури [4].

При експлуатації дизельних легкових пасажирських і легковантажних автомобілів часто причиною дорожньо-транспортної пригоди може бути те, що під час руху дизель раптово глохне і не запускається. Це пов'язане передусім з відмовою паливного насоса високого тиску (ПНВТ), причиною якої, крім зношення плунжерної пари, може бути електромагнітний клапан для вмикання і вимикання подачі палива [9,15], а саме – відсутність електричної напруги на його центральному електроді внаслідок зісакування клеми проводу який подає напругу на клапан, або його обриву. Низький тиск компресора, менш ніж 2 МПа, і низька пускова частота обертання колінчатого валу, велике зношення поршнів, зношення або залягання мастилозійомних і компресійних кілець, прогар клапанів чи прокладок між головкою і блоком циліндрів, порушення положення кулачкового валу ПНВТ, збільшений опір випускної системи дизеля, який виникає при ремонті глушника або при наявності фільтра сажоуловлювача, чи стороннього предмету у випускному патрубку за глушником шуму – це основні причини того, що такий ДВЗ відмовляє у роботі і не запускається.

Зношення вісі важелів регулятора і втрата пружності гумового ущільнюючого кільця (для ПНВТ «R BOSCH», «NIPPON DENSO» і т.ін.) призводять до витікання палива через верхню частину ПНВТ.

Про граничне зношення плунжерної пари ПНВТ дизеля свідчить така несправність, коли непрогрітий дизель запускається, а прогрітий до нормальної температури – не запускається. Це може призвести до створення аварійної ситуації внаслідок відмови дизеля у роботі і неможливості запустити його у дію при обгоні автомобілем багатомірних тягачів з причепами.

Порушення щільності прокладки між головою і блоком циліндрів, виробка та тріщини у гільзах і головці блоку, зношення підшипників ковзання, шийок колінчастого валу, призводять до вигону дизелем охолоджуючої рідини із розширюючого бачка системи охолодження, перегріву і заклинюванню двигуна.

Аналіз показує, що поряд з плунжерними парами на відмову у роботі дизельних двигунів впливає:

- негерметичність паливопроводів;
- забрудненість паливного фільтра;
- зношення або порушення регулювання положення паливного насоса високого тиску;
- несправність форсунок відсічного електроклапана, який перекидає подачу палива до плунжерної пари ПНВТ;
- розрив або зіскок ремня приводу ПНВТ;
- зношення ціпка кулачкового валу;
- порушення регулювання роботи приводу ПНВТ;
- несправність свічок розжарювання;
- вихід з ладу електронного блоку управління;
- нещільний притиск, окислення контактів або слабкий заряд акумуляторної батареї;
- зношеність стартера, що призводить до занижених пускових обертів.

Останні можуть статися і з-за попадання води у дизельне паливо оскільки, при наявності перерв у роботі дизеля, його плунжерну пару може заклинити через її корозію.

Негерметичність паливопроводів призводить до того, що дизель працює нестійко, з перебоями, не розвиває повної потужності з-за витікання палива і підсосу повітря. Палива буде недостатньо і при експлуатації забрудненого або відпрацюваного встановлений строк паливного фільтра, який, крім зазначеного, може призвести і до поломки ПНВТ.

Несправність форсунок, насамперед їх розпилювачів, також веде до порушення у роботі дизеля і перевитратам палива, він стає «безсилим», втрачає потужність, «троїть» і глохне.

Зношення і порушення регулювань ПНВТ, які призводять до втрати потужності і нестійкої роботи дизеля, пов'язані, у першу чергу, із станом плунжерної пари, що потребує його перевірки на спеціальному стенді з наступним ремонтом.

Забруднення повітряного фільтра також призводить до падіння потужності дизеля і перевитрати палива, оскільки настає «кисневий голод», при якому робоча суміш неповністю згорає.

Несправний електронний блок управління, який керує роботою свічок розжарювання, може скоротити ресурс їх роботи з 80 тис. км на значно менший, не відмикаючи їх від роботи своєчасно [9].

Плунжерні пари використовуються як силові елементи в насосах, гідромоторах, двигунах внутрішнього згорання і т. ін. У зв'язку із збільшенням потужності магістральних тепловозів у їх дизелях насосні елементи з'єднуються в один блок з загальним приводом, що у комплекті з форсунками є його паливною апаратурою. Всі рухомі деталі, у тому числі плунжер, штовхач з роликками і регулювальним гвинтом, притискаються зусиллям пружини при допомозі тарілок, що обхвачують головку плунжера, до профілю кулачкового валу приводу. При його обертанні відбувається зворотно-поступальний рух плунжерної пари під дією кулачка вверх і пружини – вниз. Постійний контакт ролика штовхача з профілем кулачка забезпечується пружиною, зусилля якої перевищує сили інерції рухомих деталей.

Таким чином, плунжер з втулкою створює собою насос золотникового типу, який має лінійний закон змінення довжини подачі. Оскільки вони є прецизійною парою і невзаємозамінні, їх виготовляють з великою точністю і ретельним припасуванням, а встановлюють на насос і замінюють їх тільки в укомплектованих парах.

Призначенням, зокрема паливної апаратури ДВЗ, є послідовна подача палива у визначені моменти часу в циліндри двигуна. Причому кількість палива повинна бути дозованою для повного і якісного його згорання у залежності від потужності ДВЗ і частоти обертів колінчастого валу, що задаються у конкретний момент роботи.

Згідно з [20], до основних несправностей, наприклад, паливного насосу ДВЗ тепловозів належать:

- тріщини корпусу;
- втрата пружності і тріщини у витках пружини;
- сколювання і викришування торцевих кромки деталей і нахиленої кромки плунжерної пари;
- зношення плунжерної пари і нагнітального клапану;
- тріщини та злам плунжера або втулки; пошкодження плунжера або втулки корозією і кавітацією;
- зависання (заклинювання) плунжера у втулці;
- зношення пазів плунжера під втулкою;
- зношення зубчастої рейки і зубців поворотного пристрою;
- пропуск палива між деталями, які сполучаються;
- зношення різьби, зрив і забиття на різьбі.

З наведеного, а також з [7], видно, що найбільша частка причин несправностей паливних насосів дизельних ДВЗ пов'язана з наявністю плунжерних пар, які відносяться до прецизійних деталей. Втрата ними у процесі експлуатації конструктивних і технологічних особливостей і властивостей може, у найкращому випадку, призвести до зниження потужності двигуна, у найгіршому – до його поломки. Але наслідками і першого і другого, особливо при роботі автомобільного ДВЗ на максимальних потужностях, наприклад, при обгоні або подоланні підйомів, може стати виникнення небезпечної,

критичної або аварійної ситуації, у результаті якої є ризик зіткнення транспортних засобів між собою або з будівельними конструкціями споруд різного призначення (мостів, естакад, житлових будинків т. ін.). Усі такі ситуації дуже часто супроводжуються людськими жертвами.

При використанні дизельних ДВЗ, не дивлячись на високоточне виготовлення і налаштування на чітко визначену взаємозалежність роботи деталей паливної апаратури, відбувається зношення її деталей і розрегулювання, що призводить до порушення показників згоряння палива та погіршення як експлуатаційних вузлів, так і економічних (зокрема, зростання витрат палива) характеристик ДВЗ [9]. Технічне обслуговування і, особливо, ремонт паливної апаратури для приведення її параметрів до регламентованих, норм є трудомісткою процедурою і потребує участі висококваліфікованого персоналу. Вона включає не тільки огляд, а і зняття, промивання, дефектування, ремонт, обкатку, регулювання та, при заміні деяких деталей, випробування не тільки їх, а і вузлів використання, на гідравлічну щільність на стенді. Причому, необхідно замінювати деталі плунжерних пар, які мають сколювання і викришування торцевої і нахиленої кромки головки плунжера, одностороннє і місцеве натирання поверхонь, деформацію або розклепування торця плунжера, корозію чи злам його і втулки, сліди задирання, тріщини у тілі втулки.

Необхідно відзначити, що небезпеки, пов'язані з наявністю дефектних або зношених плунжерних пар у різних вузлах і механізмах полягають не тільки у погіршенні їхніх характеристиках або відмові у процесі їх експлуатації, а і у наявності чи можливості до прояву при їх обслугованні, ремонті і випробуваннях, шкідливих та небезпечних виробничих чинників.

До таких необхідно віднести не тільки ті з них, які пов'язані з можливістю отримання механічної, електричної, хімічної травми [21], а і ті, що призводять як до виникнення короткочасного або довгострокового погіршення стану здоров'я, чи функціонального стану окремих органів або людського організму в цілому, так і до професійного захворювання. Такими є активні ШНВЧ, що пов'язані з наявністю відкритих елементів і вузлів механізмів, які обертаються або рухаються, вага людського тіла, піднятого на висоту 0,5 м. і вище і т. ін., а також фізичні, термічні, електромагнітні, психофізіологічні, біологічні ШНВЧ, тощо.

Другу групу складають пасивно-активні чинники, що обумовлюються слизькими, нахиленими або виступаючими елементами поверхонь машин і механізмів.

До третьої групи відносяться пасивні ШНВЧ, які пов'язані з невеликою, одночасною але послідовною дією різних процесів і енергій на конструктивні елементи машин і споруд, наприклад, корозії або накипу, тощо. Її наслідки проявляються у вигляді руйнування різних деталей, механізмів, транспортних

засобів, будівельних конструкцій і ін., у результаті чого виникають небезпечні, критичні або аварійні ситуації, відповідно НС, КС, і АС.

У наш час відомими є декілька методів і технологій відновлення та ремонту плунжерних пар, які базуються, як на механічній обробці їх поверхонь тертя, наприклад, шліфуванням, так і на нанесенні композиційного покриття, зокрема, хромуванням [26] або наплавленням [28].

Але з точки зору оптимізації процесу відновлення за правилом «ціна-якість» для забезпечення заданої довговічності або напрацювання на відмову, тобто зменшення ризику виникнення травмонебезпечної ситуації при використанні транспортних засобів з механізмами типу гідроциліндри, паливні насоси, тощо, основним вузлом яких є плунжерні пари, необхідно використовувати системне проектування. Зокрема, за теорією управління плунжерна пара у системі «технологія–плунжерна пара–експлуатація» являє собою об'єкт стану з такими блоками, як вхідні параметри, процеси і вихідні параметри. Але на відміну від методології Х. Чіхоса і В. Пекошевські відносно процесів, що відбуваються у трибосистемі, необхідно більш повно визначити вихідні фактори [11,18,26,29]. На це було звернено увагу і у дослідженнях Леонтьєва А.Л. [10], у результаті яких отримано залежність впливу режиму гальванічного хромування при відновленні плунжерних пар дизелів, що працюють на важких сортах палива, на мікротвердість і триботехнічні властивості покриття в умовах тертя при наявності абразиву у паливі.

Тому виникає необхідність у більш повному визначенні вхідних факторів, розділених виходячи з аналізу на три групи – технологічні, експлуатаційні і перешкоди.

У наш час відсутній нормативний метод випробування машинобудівної продукції для досягнення необхідних експлуатаційних властивостей стосовно до зовнішніх і внутрішніх циліндричних, а також торцевих (пласких) поверхонь циліндричних зразків в умовах постійних і жорстко регламентованих режимів тертя [19]. Це призвело до появи експериментальних методик, за допомогою яких отримуються непорівнянні результати, які не дозволяють коректно прогнозувати напрацювання пар тертя на відмову, а відповідно, і на визначення показників виробничого ризику у процесі використання, що є актуальним питанням при проектуванні прецизійних деталей і вузлів у транспортних засобах.

Воно також пов'язане з екологічною безпекою, оскільки, за даними [10] після переведення судових дизелів на важкі сорти палива, довговічність плунжерних пар їх паливних насосів високого тиску не відповідає необхідному рівню безвідмовності дизеля. Причиною цього є інтенсивне зношування плунжерів і втулок насосів, що призводить до збільшення зазорів між ними і втраті гідравлічної щільності. Внаслідок цього 70%...90% судових дизелів мають знижену потужність при підвищенні



питомого розходу палива, наслідком чого є його перевитрати. Це, у свою чергу знижує техніко-економічні показники і умови експлуатації плунжерних пар, ПНВТ дизельних ДВЗ суден і сприяє посиленому забрудненню навколишнього середовища.

Відомі і використовуються програми та методики дослідження показників довговічності нових і відновлених деталей з наявністю пар тертя, наприклад, шийки колінчастого валу і поверхні підшипника ковзання [10,26,28]. Вони засновані на регресійному аналізі та плануванні експерименту, визначенні геометричних параметрів шийок, трибохімічних і механічних властивостей основних матеріалів та покриттів на мікро- і нанорівні, складу та топографії поверхонь тертя сталевих зразків і різних покриттів, а також – на рентгенофазному аналізі останніх.

Зокрема, у [26] надано результати досліджень триботехнічних властивостей покриття, отриманих на універсальній машині тертя моделі УМТВК виробництва АО «АвтоВАЗ» за схемою «ролик-колодка» при постійній швидкості ковзання 0,71 м/с.

Зразки виготовлялися із сталі 45 у формі роликів діаметром  $d = 45$  мм і шириною  $B = 10$  мм, а оскільки на досліджуваних судових середньоборотних дизелях шийки колінчастих валів мають твердість у інтервалі 164НВ...58HRC, то одну частину зразків не піддавали додатковій термообробці, їх твердість була у діапазоні 190...225 НВ. Другу піддавали закалці з послідовним відпусканням для отримання твердості величиною  $44 \pm 1$  і  $62 \pm 1$  HRC, а перед дослідженням зразки полірували до  $R_a = 0,32$  мкм.

У якості нерухомого зразка використовувалися колодки, вирізані із різного типу вкладишів середньоборотних дизелів, а змащення пар тертя здійснювали крапельним способом – 5...6 крапель робочого дизельного мастила марки М-14-Д2 (щл 30) за ГОСТ 12337-84. З метою навантаження та інтенсифікації процесу зношування кожні 5 хвилин здійснювали зупинку і пуск машини, змінюючи навантаження від 40 Н до 400 Н. У процесі дослідження вимірювалась інтенсивність (величина) зношування, коефіцієнт тертя і температура у зоні контакту, а термін часу процесу тертя кожної пари складав 4 години. У дослідженні використовувалися також:

- ультрамікротестер, для динамічних випробувань твердості матеріалів ДИН -211S фірми Shitadzu (Японія), а саме – для визначення механічних властивостей покриттів на нанорівні (твердості, модуля пружності і пружного відновлення) за методом наноіндентування у відповідності до ISO 14577-4;

- скануючий зондовий атомно-силовий мікроскоп S-PM-960 тієї ж фірми з високою просторовою роздільною здатністю, для визначення морфології покриттів;

- зверхвисоковакуумний фотоелектронний спектрометр Omicron (Німеччина), для дослідження хімічних сполук, що утворюються при модифікації поверхні мінеральними і органо-мінеральними матеріалами;

- рентгенівський дифрактометр Advance-D8 фірми Bruker (Німеччина), для структурного, якісного і кількісного аналізу кристалічних фаз і фазової ідентифікації покриттів.

Такі методи і обладнання для дослідження дозволили розробити блок-схему проектування технології зміцнення шийок колінчастих валів нанесенням композиційного покриття. Вона, крім таких етапів, як визначення критеріальних параметрів, вибір способів механічної обробки шийок і матеріалу для їх модифікації, а також процесу зміцнення та його оптимізації, включає попередній вибір технології покриття на основі результатів прогнозування ресурсу зміцненого колінчастого валу і аналізу вартості відновлення із зміцненням, а також – прийняття рішення і його реалізацію.

У [10] також підтверджено, що існуючі технологічні процеси відновлення плунжерних пар паливних насосів високого тиску не забезпечують необхідну їх довговічність. Причиною є те, що при проектуванні ПП у повній мірі не враховуються технічні особливості методів нанесення покриттів і зміцнення, а також техніко-економічні показники і умови експлуатації.

Дослідження трибохімічних, а також механічних (на мікро- і нанорівні і т.ін.) властивостей покриттів при відновленні пар тертя у [10] виконувались на тій же універсальній машині тертя моделі УМТВК, що і у [26], але по іншій схемі – «ролик-ролик». Причому, використовувалися ті ж прилади і обладнання, але зразки виготовлялися із сталі ХВГ і частину з них піддавали хромовому покриттю товщиною 12...15 мкм. І, на відміну від [26], у якості нерухомого зразка було використано ролик із тієї ж сталі, що і у зразках з твердістю 60...61 HRC. Усі зразки перед дослідженням кожної ПП, упродовж 4 годин, полірували алмазною пастою до  $F_a \leq 0,063$  мкм. Причому, навантаження змінювалося від 100 до 500 Н, а випробування виконували з штучним забруднювачем, концентрація якого у паливі, як і у мастилі складала 1%. У якості забруднювача використовували кварцевий пил дисперсністю 1...5 мкм, а у якості мастила – дизельне паливо марки Л – 0,5 за ГОСТ 305-82. Такий підхід, поряд з виконаними теоретичними дослідженнями, дав змогу розробити технологію нанесення покриттів поверхонь пар тертя методом гальванічного хромування і вибрати оптимальні параметри модифікування гальванічного хрому фрикційним методом. Зокрема, такі, як приведені зусилля притискання індикатора до зміцнюваної поверхні  $P_n$ , час зміцнення  $t$  і лінійна швидкість зміцнюваної поверхні, яка була постійною  $\gamma = 0,71$  м/с. Це забезпечило досягнення товщини хрому на зразках до 12...15 мкм, яка є необхідною для відновлення плунжерних пар ПНВТ судових дизелів, які працюють на важких сортах палива.

У дослідженнях [10,26] також встановлено, що для забезпечення імовірності безвідмовної роботи  $P(t) = 0,9$  для ПП малооборотних судових дизелів у

14 тис. год., необхідно зменшити у 2,1 рази швидкість зношування поверхонь тертя плунжерних пар. Головним показником зношення є зазор у ПП (табл. 4).

Таблиця 4

Оптимальні розміри зазорів плунжерних пар при роботі дизелів на важкому паливі /  
*The optimum size of the gaps plunger when running on heavy fuel diesel*

№ з/п	Параметр, розмірність	Оптимальні розміри				
		15 - 20	20 - 25	25 - 35	35 - 45	> 45
1.	Номінальний діаметр плунжера, мм	15 - 20	20 - 25	25 - 35	35 - 45	> 45
2.	Мінімальний зазор, мкм	4	6	8	10	12
3.	Величина оптимальної гідроцильності, с	25-45	25-45	25-45	20-45	20-45
4.	Величина найменшої допустимої гідроцильності, с	20	20	20	15	15

Ясно, що упродовж експлуатації дизелів зазори ПП зростають, що призводить до зниження їх гідроцильності і довговічності. При суттєвому перевищенні зазорів цей процес є різким і швидким.

Аналіз відомих способів і моделей відновлення поверхонь тертя деталей показав, по-перше, їх недоліки, а по-друге, необхідність їх здійснення у процесі експлуатації.

Зокрема, у способі [23] відродження машин, згідно з яким на поверхні тертя кожної деталі наносять пластичний матеріал з наповнювачем у вигляді абразивних часток. В процесі експлуатації машин здійснюють автоматичне керування довговічністю деталей шляхом розміщення в машині електроізолюваної від деталі вставки, а також – підключення деталей машин і вставки до джерела напруги таким чином, що деталі є катодом, а вставка анодом і подають електропровідну рідину. Недоліком такої моделі є необхідність нанесення наповнювача на кожну деталь, що треться, а це ускладнює технологічний процес і збільшує працезатрати.

Розроблені також способи підвищення ресурсу пари тертя, при яких її поверхні, що є катодом, розташовують з можливістю взаємодії зі змащувальною рідиною. Таким же чином розташовують і вставку, яка є анодом і виконується із матеріалу, електродний потенціал якого по абсолютній величині менший, ніж електродний потенціал матеріалів поверхонь пар тертя. В якості змащувальної рідини застосовують електропровідну рідину. В процесі зношування виникає трибоеклектрохімічне відновлення, тобто регенерація поверхонь тертя. Ці способи застосовують для підвищення ресурсу пар тертя в експлуатації. Їх недоліком є недостатня швидкість відновлення поверхонь тертя.

У моделі відновлення поверхонь тертя, що пропонується, обґрунтовано необхідність нанесення

на таку поверхню матеріалу трибоеклектрохімічним осадженням з такими ж, як і у попередньо розглянутому способі катодом, анодом та співвідношенням абсолютної величини їх електродного потенціалу. Але у ньому поверхні пар тертя розташовують в електропровідній рідині з можливістю взаємодії з змащувальною рідиною, згідно з винаходом [22] на частинки матеріалу, яким відновлюють поверхню тертя діють магнітними силовими лініями постійного магніту. Останній розміщують під поверхнею тертя таким чином, щоб його магнітні силові лінії перетинали поверхню тертя перпендикулярно. У такій моделі відновлення поверхні тертя проходить за рахунок вмісту іонів відповідного металу в розчині електроліту та направленої дії магнітного поля, чим забезпечується можливість, за безрозбірною технологією, значно зменшити час на відновлення прецизійних пар тертя.

Моделювання реального вузла тертя вимагає максимальної близькості до проектних параметрів експлуатації всього механізму і є основою методичної частини дослідження.

Для дослідження закономірностей і механізмів, що протікають в трибологічній системі на поверхнях тертя, розроблена логічна модель, що зв'язує сумарний вплив вхідних параметрів на характеристики вузла тертя. Ці параметри мають різне походження, що ускладнює умови дослідження, тому для покрокового механізму обстеження їх впливів на перетворення вузла тертя проведено їх членування по енергетичній спрямованості на три основні групи.

Структура логічної моделі вміщує детерміновані процеси фізичних явищ кожної з груп, а сукупність параметрів, що впливають на процес тертя з технологічного боку, пов'язана як з матеріалом, що використовується, так і з енергетичними затратами. Технологічні параметри можна представити у вигляді двох блоків, з яких один характеризується впливом магнітного поля на зону тертя; інший є донором матеріалу легування поверхні тертя, який працює за електрохімічними законами.

Таким чином, спільний вплив спрямованих параметрів магнітного та електричного полів посилить можливості перенесення і прецизійного відновлення поверхні тертя. Енергетичні вхідні дані системи дозволяють проводити відновлення в процесі експлуатації. Підведення зовнішньої енергетичної складової здійснюється з двох блоків: магнітного і електричного, які можуть працювати як спільно так і кожен окремо. Сукупність зовнішніх енергетичних складових є основою вхідною, яка змінює стан трибосистеми, що сприяє управлінню потоком ентропії.

Таке відновлення поверхонь тертя, наприклад, плунжерних пар паливних насосів високого тиску дизельних ДВЗ, дозволяє збільшити їх напрацювання на відмову і удосконалити математичну модель зміни показників виробничого ризику при експлуатації прецизійних механізмів силових агрегатів

транспортних засобів з безрозбірним їх відновленням під дією постійного магнітного поля.

### **Наукова новизна і практична значимість**

– узагальнено основні технічні причини відмов при роботі дизельних ДВЗ, оснащених паливними насосами високого тиску з плунжерними парами, що може призвести до виникнення небезпечної ситуації на складній ділянці дороги, при несприятливих метеорологічних умовах або при здійсненні маневру з обгону тягачів з багатомірними причепами чи великогабаритним вантажем;

– обґрунтовано концептуальні підходи до відновлення показників довговічності і ремонту плунжерних пар паливних насосів високого тиску, які дозволяють коректно прогнозувати напрацювання пар тертя на відмову, а відповідно, і на визначення показників виробничого ризику у процесі використання, що є актуальним питанням при проектуванні прецизійних деталей і вузлів у транспортних засобах;

– вперше встановлено, що при безрозбірному відновленні пар тертя розташування робочих поверхонь на полюсі N постійного магніту зміщує механізм тертя у сторону відновлення у феромагнітних матеріалів, а процес намагнічування у мастильному середовищі часток зношеного матеріалу супроводжується їх утриманням у зоні тертя з подальшим налипанням на найбільш енергетично нестабільні зони тертя, що дозволяє, в умовах часу зміни стомлюючої міцності матеріалу стабілізувати показники виробничого ризику при експлуатації прецизійних механізмів силових агрегатів транспортних засобів.

### **Висновки**

У результаті виконаного дослідження встановлено, що:

– транспортна галузь за показниками травматизму, у т. ч. і смертельного, відноситься до однієї з небезпечних, оскільки у останні роки вона поділяє четверте-п'яте місця з машинобудуванням після соціально-культурної сфери, вугільної промисловості і агропромислового комплексу;

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES**

1. Ахметов, В.М. Динамика профессиональной заболеваемости в нефтяной, нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности за 40 лет / В.М. Ахметов // Медицина труда и промэкология. – Москва, 2002, № 5. – С.913.

Ahmetov, V.M. Dinamika professional'noj zaboлеваemosti v neftjanoj, neftepererabatyvajushhej i neftehimicheskoj promyshlennosti za 40 let / V.M. Ahmetov // Medicina truda i promjekologija. – Moskva, 2002, № 5. – S.913.

2. Белов, П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере / П.Г. Белов. – Москва: Изд. центр Академии ГЗ МЧС РФ, 2003. – 512 с.

– існує 13 основних причин автомобільних аварій, які призводять до НВ, у т. ч. зі смертельними наслідками, до «технічних» з яких, поряд з іншими, відноситься і відмова двигуна, що пов'язане передусім з відмовою паливного насоса високого тиску дизельного ДВЗ, причиною якої може бути зношення плунжерної пари;

– технічне обслуговування і, особливо, ремонт паливної апаратури, у т. ч. і плунжерних пар, для приведення її параметрів до регламентованих норм є трудомістким та багатовартісним процесом і потребує участі висококваліфікованого персоналу;

– у наш час відомими є декілька методів і технологій відновлення та ремонту плунжерних пар, які базуються, як на механічній обробці їх поверхонь тертя, наприклад, шліфуванням, так і на нанесенні композиційного покриття, зокрема, хромуванням або наплавленням;

– з точки зору оптимізації процесу відновлення за правилом «ціна-якість» для забезпечення заданої довговічності або напрацювання на відмову, тобто зменшення ризику виникнення травмонебезпечної ситуації при використанні транспортних засобів з механізмами типу гідроциліндри, паливні насоси, тощо, основним вузлом яких є плунжерні пари, необхідно використовувати системне проектування;

– існуючі технологічні процеси відновлення плунжерних пар ПНВТ не забезпечують необхідну їх довговічність, причиною цього є те, що при їх проектуванні у повній мірі не враховуються технічні особливості методів нанесення покриттів і зміцнення, а також техніко-економічні показники і умови експлуатації ПП;

– обґрунтовано модель відновлення поверхні тертя нанесенням на таку поверхню матеріалу трибоелектрохімічним осадженням, яке проходить за рахунок вмісту іонів відповідного металу в розчині електроліту та направленої дії магнітного поля, чим забезпечується можливість, за безрозбірною технологією, значно зменшити час на відновлення прецизійних пар тертя, збільшити їх напрацювання на відмову при експлуатації в силових агрегатах транспортних засобів і стабілізувати показники виробничого ризику.

Belov, P.G. Sistemnyj analiz i modelirovanie opasnyh processov v tehnosfere / P.G. Belov. – Moskva: Izd. centr Akademii GZ MChS RF, 2003. – 512 s.

3. Гунченко, О.М. Вдосконалення системи управління охороною праці на машинобудівних підприємствах: автореф. дис. канд. ... техн. наук: 05.26.01 / Гунченко Оксана Миколаївна. – СЧУ ім. В. Даля – Луганськ, 2007. – 20 с.

Gunchenko, O.M. Udoskonalennja systemy upravlinnja ohoronoju praci na mashynobudivnyh pidpryjemstvah: avtoref. dys. ... kand. teh. nauk: 05.26.01 / Gunchenko Oksana Mykolai'vna; SNU im. V. Dalja. - Lugans'k, 2007. – 20 s.

4. Давыдова, А. Учёные выяснили основную причину ДТП [Elektronnij resurs] / А. Давыдова. – Режим доступу: [www.innov.ru/neus/fun/uchenye-vyyasnili-osnovnu/](http://www.innov.ru/neus/fun/uchenye-vyyasnili-osnovnu/). - Назва з екрана. – Перевірено 19.07.16.

Davydova, A. Uchjonye vyjasnili osnovnuju prichinu DTP [Elektronnij resurs] / A. Davydova. – Rezhim dostupu:

www.innov.ru/neus/fun/uchenye-vyyasnili-osnovnu/. - Nazva z ekrana. - Perevireno 19.07.16.

5. Жидецкий, В.Ц. Основы охраны труда. Учебник / В.Ц. Жидецкий, В.С. Джигирей, А.В. Мельников. Изд. 2-е доп. - Львов: Афиша, 2000. - 351 с.

Zhideckij, V.C. Osnovy ohrany truda. Uchebnik / V.C. Zhideckij, V.S. Dzhigirej, A.V. Mel'nikov. Izd. 2-e dop. - L'vov: Afisha, 2000. - 351 s.

6. Касьянов, М.А. Дослідження виробничого ризику у ковальсько-пресових цехах / М.А. Касьянов, Д.О. Вишневський, І.В. Савченко, О.М. Гунченко: Монографія. - Луганськ: Ноулідж, 2014. - 224 с.

Kas'janov, M.A. Doslidzhennja vyrobnychogo ryzyku u koval's'ko-presovyh cehah / M.A. Kas'janov, D.O. Vyshnevsk'ij, I.V. Savchenko, O.M. Gunchenko: Monografija. - Lugansk: Noulidzh, 2014. - 224 s.

7. Коньков, А.Ю. Диагностика износа плунжерной пары насоса высокого давления на рабочих режимах дизеля [Электронный ресурс] / А.Ю. Коньков, М.В. Яранцев. - Режим доступа: [https://docviewer.yandex.ua/?url=http%3A%2F%2Fpnu.edu.ru%2Fmedia%2Fjournal%2Farticles-2014%2FTGU\\_5\\_44.pdf&name=TGU\\_5\\_44.pdf&lang=ru&c=578defc5a5c3](https://docviewer.yandex.ua/?url=http%3A%2F%2Fpnu.edu.ru%2Fmedia%2Fjournal%2Farticles-2014%2FTGU_5_44.pdf&name=TGU_5_44.pdf&lang=ru&c=578defc5a5c3). - Назва з екрана. - Перевірено 19.07.16.

Kon'kov, A.Ju. Diagnostika iznosa plunzhernoj pary nasosa vysokogo davlenija na rabochih rezhimah dizelja [Elektronnij resurs] / A.Ju. Kon'kov, M.V. Jarancev. - Rezhim dostupu: [https://docviewer.yandex.ua/?url=http%3A%2F%2Fpnu.edu.ru%2Fmedia%2Fjournal%2Farticles-2014%2FTGU\\_5\\_44.pdf&name=TGU\\_5\\_44.pdf&lang=ru&c=578defc5a5c3](https://docviewer.yandex.ua/?url=http%3A%2F%2Fpnu.edu.ru%2Fmedia%2Fjournal%2Farticles-2014%2FTGU_5_44.pdf&name=TGU_5_44.pdf&lang=ru&c=578defc5a5c3). - Nazva z ekrana. - Perevireno 19.07.16.

8. Костенко, О.М. Удосконалення методів і засобів з комплексного аналізу, прогнозу та попередження виробничого травматизму у сільськогосподарському виробництві: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Костенко Олена Михайлівна. - ННДІОП. - Київ, 2002. - 23 с.

Kostenko, O.M. Udoskonalennja metodiv i zasobiv z kompleksnogo analizu, prognozu ta poperedzhennja virobnychogo travmatizmu u sil's'kogospodars'komu virobničtvi: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: 05.26.01 / Kostenko Olena Mihajlivna. - NNDIOP. - Kijiv, 2002. - 23 s.

9. Крохоткин, Ю.М. Дизельные двигатели иномарок. Отказы и неудовлетворительная работа. Причины и способы устранения / Ю.М. Крохоткин. - Москва: Легион-Автодата, 2000. - 76 с.

Krohokin, Ju.M. Dizel'nye dvigateli inomarov. Otkazy i neudovletvoritel'naja rabota. Prichiny i sposoby ustranennija / Ju.M. Krohokin. - Moskva: Legion-Avtodata, 2000. - 76 s.

10. Леонтьев, А.Л. Повышение долговечности плунжерных пар топливных насосов высокого давления судовых дизелей нанесением износостойких покрытий: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.08.04 / Леонтьев Андрей Львович. - Морской гос. ун-т им. адм. Г.И. Невельского. - Владивосток, 2012. - 22 с.

Leont'ev, A.L. Povyshenie dolgovечnosti plunzhernyh par toplivnyh nasosov vysokogo davlenija sudovyh dizel'ej naneseniem iznosostojkih pokrytij: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: 05.08.04 / Leont'ev Andrej L'vovich. - Morskoj gos. un-t im. adm. G. I. Nevel'skogo. Vladivostok, 2012. - 22 s.

11. Леонтьев, Л.Б. Системный анализ технологии формирования износостойких покрытий на поверхностях трения деталей / Л.Б. Леонтьев, А.Л. Леонтьев, В.Н. Макаров // Фундаментальные исследования. Технические науки. - 2014, № 12. - С. 729-734.

Leont'ev, L.B. Sistemnyj analiz tehnologii formirovanija iznosostojkih pokrytij na poverhnostjah trenija detalej / L. B.

Leont'ev, A. L. Leont'ev, V. N. Makarov // Fundamental'nye issledovanija. Tehniceskie nauki. - 2014, № 12. - С. 729-734.

12. Малихин, О.В. Виробничий травматизм в Україні у I півріччі 2015 року: особливості і тенденції / О.В. Малихин, Т.М. Таїрова, І.В. Левченко // Інформ. бюлетень з охорони паці. - Київ: ННДІПБОП, № 3, 2015. - С.17-29.

Malihin, O.V. Virobnichij travmatizm v Ukraїni u I pivrichchi 2015 roku: osoblivosti i tendencii / O. V. Malihin, T. M. Tairova, I. V. Levchenko // Inform. bjuleten' z ohoroni paci. - Kijiv: NNDIPBOP, № 3, 2015. - S.17-29.

13. Малихин, О.В. Порівняльний аналіз стану виробничого травматизму в Україні за півріччям 2012...2014 рр. / О.В. Малихин, Т.М. Таїрова, І.В. Левченко // Інформ. бюлетень з охорони праці. - Київ: ННДІПБОП, № 1, 2015. - С.52-63.

Malihin, O.V. Porivnjal'nij analiz stanu virob-nichogo travmatizmu v Ukraїni za pivrichchjam 2012...2014 rr. / O.V. Malihin, T. M. Tairova, I. V. Levchenko // Inform. bjuleten' z ohoroni praci. - Kijiv: NNDIPBOP, № 1, 2015. - S.52-63.

14. На підприємствах регіону знижується виробничий травматизм. - [Електронний ресурс]. - Режим доступа: <http://kharkivoda.gov.ua/ews/76a/n409>. - Назва з екрана. - Перевірено 19.07.16.

Na pidpriemstvah regionu znizhuet'sja virobnichij travmatizm. - [Elektronnij resurs]. - Rezhim dostupu: <http://kharkivoda.gov.ua/ews/76a/n409>. - Nazva z ekrana. - Perevireno 19.07.16.

15. Определение неисправностей дизельного двигателя [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [www.dizelist.ru/index.php?id=500](http://www.dizelist.ru/index.php?id=500). - Назва з екрана. - Перевірено 19.07.16.

Opredelenie neispravnostej dizel'nogo dvigatelja [Elektronnij resurs]. - Rezhim dostupu: [www.dizelist.ru/index.php?id=500](http://www.dizelist.ru/index.php?id=500). - Nazva z ekrana. - Perevireno 19.07.16.

16. Основные причины производственного травматизма. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://vse-temu.org/new-osnovye-prichiny-proizvodstvennogo-travmatizma/html>.

Osnovnye prichiny proizvodstvennogo travmatizma. [Elektronnij resurs]. - Rezhim dostupu: <http://vse-temu.org/new-osnovye-prichiny-proizvodstvennogo-travmatizma/html>.

17. Офіційний сайт Державної служби статистики України. - [Електронний ресурс]. - Режим доступа: <http://www.ukrstat.gov.ua>.

Oficijnij sajт Derzhavnoї sluzhbi statistiki Ukraїni. - [Elektronnij resurs]. - Rezhim dostupu: <http://www.ukrstat.gov.ua>.

18. Пекошевски, В. Системный анализ методологии трибологических испытаний конструкционных материалов / В. Пекошевски, М. Шерек, М. Вишневски // Трение и износ. - 1996. - т.17, № 2. - С. 178-186.

Pekoshevski, V. Sistemnyj analiz metodologii tribologicheskij ispytanij konstrukcionnyh materialov / V. Pekoshevski, M. Shherok, M. Vishnevski // Trenie i iznos. - 1996. - t.17, № 2. - S. 178-186.

19. Прудников, М.И. Разработка нормализованного метода и автоматизированной системы испытаний на машинах трения: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.04 / Прудников Максим Иванович. - БГТУ. - Брянск, 2009. - 20 с.

Prudnikov, M. I. Razrabotka normalizovannogo metoda i avtomatizirovannoj sistemy ispytanij na mashinah trenija: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: 05.02.04 / Prudnikov Maksim Ivanovich. - BGTU. - Brjansk, 2009. - 20 s.

20. Рахматуллин, М.Д. Технология ремонта тепловозов / М.Д. Рахматуллин. - М.: Транспорт, 1983. - 319 с.

Rahmatullin, M.D. Tehnologija remonta teplovozov / M.D. Rahmatullin. - M.: Transport, 1983. - 319 s.

21. Русак, О.Н. Справочная книга по охране труда в машиностроении / О.Н. Русак. – Ленинград: Машиностроение, 1989. – 541 с.

Rusak, O.N. Spravochnaja kniga po ohrane truda v mashinostroenii / O. N. Rusak. – Leningrad: Mashinostroenie, 1989. – 541 s.

22. Спосіб відновлення поверхні тертя: патент 36601 Україна, МПК G01N 3/56(2006) / М.М. Свирид, І.А. Кравець, В.Г. Парашанов, С.М. Занько, С.М. Задніпровська; заявники і патентовласники Свирид М.М., Кравець І.А., Парашанов В.Г., Занько С.М., Задніпровська С.М. - № u200809664; заявл. 23.07.2008; опубл. 27.10.2008, Бюл. № 20, - 2 с.

Sposib vidnovlennja poverhni tertja: patent 36601 Ukraina, MPK G01N 3/56(2006) / M.M. Svirid, I.A. Kravec', V.G. Parashhanov, S.M. Zan'ko, S.M. Zadniprovs'ka; zajavniki i patentovlasniki Svirid M.M., Kravec' I.A., Parashhanov V.G., Zan'ko S.M., Zadniprovs'ka S.M. - № u200809664; zajavl. 23.07.2008; opubl. 27.10.2008, Vjul. № 20, - 2 s.

23. Способ возрождения машин: патент 2111477 РФ, МПК G01N 3/56(1993) / И.И. Кравец, С.И. Кравец, С.И. Кравец; заявители и патентообладатели Кравец И.И., Кравец С.И., Кравец С.И. - № 93041279/28; заявл. 17.08.1993; опубл. 20.05.1998. - [Электронный ресурс]. - Режим доступа: ru-patent.info/12/10-14/2111477.html. - Назва з екрана. - Перевірено 19.07.16.

Sposob vozrozhdenija mashin: patent 2111477 RF, MPK G01N 3/56(1993) / I.I. Kravec, S.I. Kravec, S.I. Kravec; zajaviteli i patentoobladateli Kravec I. I., Kravec S. I., Kravec S. I. № 93041279/28; zajavl. 17.08.1993; opubl. 20.05.1998. - [Elektronnij resurs]. - Rezhim dostupu: ru-patent.info/12/10-14/2111477.html. - Nazva z ekrana. - Perevireno 19.07.16.

24. Ступницька, Н.В. Підвищення ефективності планування заходів запобігання виробничому травматизму на підприємствах машинобудування: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Ступницька Наталія Володимирівна. – «Львівська політехніка». – Львів, 1999. – 22 с.

Stupnic'ka, N.V. Pidvishennja efektyvnosti planuvannja zahodiv zapobigannja virobничому travmatizmu na pidpriemstvah mashinobuduvannja: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: 05.26.01 / Stupnic'ka Natalija Volodimirivna. – «L'vivs'ka politehnika». – L'viv, 1999. – 22 s.

25. Травматизм, причины травматизма, производственный травматизм, профилактика травматизма. – [Электронный

ресурс]. – Режим доступа: <http://www.eurolab.ua/encyclopedia/traumatology/48535>. - Назва з екрана. – Перевірено 19.07.16.

Travmatizm, prichiny travmatizma, proizvodstvennyj travmatizm, profilaktika travmatizma. – [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu: <http://www.eurolab.ua/encyclopedia/traumatology/48535>. - Nazva z ekrana. – Perevireno 19.07.16.

26. Токликишвили, А. Г. Совершенствование технологии восстановления шеек коленчатых валов судовых среднеоборотных дизелей формированием износостойких покрытий: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.08.04 / Токликишвили Антонина Григорьевна. - Морской гос. ун-т им. адм. Г. И. Невельского. - Владивосток, 2013, – 20 с.

Toklikishvili, A. G. Sovershenstvovanie tehnologii vosstanovlenija sheek kolenchatyh valov sudovyh sredneoborotnyh dizelej formirovaniem iznosostojkih pokrytij: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: 05.08.04 / Toklikishvili Antonina Grigor'evna. - Morskoj gos. un-t im. adm. G. I. Nevel'skogo. - Vladivostok, 2013, – 20 s.

27. Файнбург, Г.З., Овсянкин А.Д., Потемкин В.И. Основные причины производственного травматизма. / Г.З. Файнбург, А.Д. Овсянкин, В.И. Потемкин [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.diagram.com.ua/info/ohrana/ohrana-truda> (69.gh tm). - Назва з екрана. – Перевірено 19.07.16.

Fajnburg, G.Z., Ovsjankin A.D., Potemkin V.I. Osnovnye prichiny proizvodstvennogo travmatizma. / G.Z. Fajnburg, A.D. Ovsjankin, V.I. Potemkin [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu: <http://www.diagram.com.ua/info/ohrana/ohrana-truda> (69.gh tm). - Nazva z ekrana. – Perevireno 19.07.16.

28. Хмелевская, В.Б. Повышение надёжности судового оборудования технологическими методами: В 3, Т. 3. Восстановление и упрочнение деталей / В.Б. Хмелевская, Л.Б. Леонтьев. – Владивосток: Дальнаука, 2005. - 356 с.

Hmelevskaja, V.B. Povyshenie nadjozhnosti sudovogo oborudovanija tehnologicheskimi metodami: V 3, T. 3. Vosstanovlenie i uprochnenie detalej / V. B. Hmelevskaja, L.B. Leont'ev. – Vladivostok: Dal'nauka, 2005. - 356 s.

29. Чихос, Х. Системный анализ в трибонике / Хорст Чихос. – Москва: Мир, 1982. – 352 с.

Chihos, H. Sistemnyj analiz v tribonike / Horst Chihos. – Moskva: Mir, 1982. – 352 s.

Поступила до редколегії 20.07.2016