

**В.В. КУРИЛЯК**, аспірант каф. метрології, стандартизації, сертифікації Київського національного університету технологій та дизайну;  
**Г.І. ХІМІЧЕВА**, д.т.н., професор каф. метрології, стандартизації, сертифікації Київського національного університету технологій та дизайну

### КВАЛІМЕТРИЧНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ ФАКТОРІВ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ЕКСПЛУАТАЦІЮ ЗУБЧАТИХ КОЛІС СУДНОВИХ РЕДУКТОРІВ

У статті розглянутий кваліметричний підхід до дослідження факторів, які впливають на експлуатаційний ресурс зубчатих коліс суднових редукторів, вузлів та агрегатів. Поставлена задача систематизації дефектів, виявлених в процесі ремонтування зубчатих передач. Проаналізовані технічні причини, які призводять до появи характерних дефектів з ціллю визначення раціонально-ефективного застосування різного типу зміцнюючих засобів. Також запропонована методика видалення конденсату з зони роботи редуктора за допомогою технічного силікагелю.

**Ключові слова:** довговічність, ресурс, зубчаті колеса, дефекти, аналіз, систематизація інформації, конденсат, осушення, силікагель.

**Вступ.** Забезпечення якості і безпечності роботи судових редукторів є важливою задачею сучасного машинобудування та ремонту, оскільки передаточний механізм від головного двигуна на гребний гвинт забезпечує зниження кількості обертів, які передаються на рушій. В залежності від обертів головних двигунів існують зубчаті і електричні передачі. На сьогоднішній день перевага надається зубчатій передачі (редуктору), тому що механізм з безпосередньою передачею найбільш економічний і у нього відсутні втрати в найвищій передачі. Такого типу механізм має високий ККД, надійний в роботі і разом з тим економічний.

**Актуальність задачі.** Встановлення і продовження ресурсних показників зубчатих коліс, підшипникових вузлів, валопроводної системи є актуальною проблемою для конструкторів, технологів, виробників, експлуататорів та ремонтників. В центрі науково-практичної задачі поставлено дослідження причинно-наслідкових зв'язків результатів експлуатації виробів і технологій виробництва та ремонту.

По-перше повинні аналізуватися статистичні дані по видам дефектів зубчатих коліс судових редукторів, виявлених при експлуатації чи при певних видах ремонту. Так як значна кількість дефектів деталей виявляється і досліджується тільки при ремонті на заводі, що обумовлено саме несправністю модуля чи агрегата суднового редуктора в експлуатації.

По-друге досліджуються і аналізуються причини заміни вузла чи агрегата до виробітку ними встановленого міжремонтного або призначеного ресурсу. Отже, для вивчення причин появи відмов і розробки конструкторсько-технологічних заходів по їх попередженню велике значення має збір та аналіз інформації про дефекти виявлені при ремонті агрегатів та вузлів редуктора. Такого типу аналіз допоможе підвищити ресурс суднового редуктора, а це в свою чергу забезпечує економічність, конкурентоспроможність і безпечність у перевезенні мореплавних засобів.

**Аналіз літератури та останніх досліджень.** Огляд різного типу літературних даних показує, що в останній час частково намітилася тенденція до до-

© В.В. Куриляк, Г.І. Хімичева, 2015

сліджень, пов'язаних з підвищенням довговічності майже всіх деталей як при виготовленні так і при ремонті. Це спонукає звернутися до економічних аспектів довговічності виробів, що в свою чергу призвело до такого поняття як оптимальна довговічність. Забезпечення якої комплексно вирішується як при виготовленні так і при ремонті, однією організацією виконавцем [1].

Прагнення до підвищення довговічності судових передаточних механізмів за рахунок подальшого підвищення вимог до точності геометричних параметрів поєднання деталей мало афективно, так як призводить до суттєвого зросту технологічних труднощів і витрат на виготовлення. Застосування нових високоміцних матеріалів для виготовлення відповідальних деталей для судових механізмів хоча й сприяє зросту статичної міцності, але в той же час супроводжується суттєвим зростом технологічної собівартості виробів. Найбільш ефективно у наш час підвищення експлуатаційних властивостей деталей за рахунок технологічних методів [2].

Найбільш небезпечним чинником, який призводить до зниження ресурсу роботи суднового редуктора є потрапляння води та чужорідних частинок у мастильний матеріал. Для вирішення цієї проблеми встановлюються різного типу фільтри. Але конденсат який утворюється під час роботи редуктора майже неможливо вловити сучасними фільтрами. І його присутність в мастильному матеріалі не тільки підсилює зношення деталей редуктора, але й призводить до його пошкодження [3].

По фізико-хімічним показникам (в'язкості та температурі спалаху, кислотному числу і вмісту механічних домішок, води та палива) визначається необхідність заміни мастила в редукторі. Ці показники називаються бракувальними. Для кожного редуктора вони мають своє конкретне та строго індивідуальне значення. Орієнтовно мастило замінюють, якщо в результаті аналізу було встановлено, що в'язкість і температура спалаху знизилась на 20%, кислотне число перевищує 2,5мг на 1г мастила. А загальний вміст механічних домішок не більше 3%. Аварійними вважаються показники з вмістом води в мастил до 0,5% і палива до 3%. Отже, існує нагальна необхідність видалення із мастильного матеріалу конденсату води, палива та кислот які випаровуються і додатково погіршують мастильні якості масла та викликають корозію деталей редуктора [4].

Таким чином можна сказати, що питання про підвищення довговічності зубчатих коліс актуально і представляє собою інтерес для майбутніх досліджень.

**Ціль статті.** Підвищення якості зубчатих коліс суднових редукторів за рахунок систематизації та аналізу інформації про дефекти, які відкриваються під час ремонту цих механізмів. Дослідження причинно-наслідкових зв'язків результатів експлуатації редукторних агрегатів і технологій їх виробництва. А також запропонування методики усунення конденсату із зони роботи валопровідного відсіку з цілю якого є захист мастильного матеріалу редуктора від конденсату, внаслідок чого продовжується експлуатаційний термін зубчатих коліс.

**Постановка задачі.** Отже завданням дослідження стає виявлення, систематизація та аналіз дефектів зубчатих коліс суднових редукторів на усіх етапах виготовлення, випробовування, експлуатації до дефекції і ремонту. А також розробка методики по видаленню конденсату із зони роботи суднового редуктора із подальшим запобіганням його потрапляння в мастильний матеріал зубчатих коліс.

Результати даних досліджень будуть слугувати кінцево-вихідними даними для розглядання питання про закономірність підвищення ефективності

зміцнюючих технологій виготовлення та ремонту зубчатих коліс суднових редукторів.

**Матеріали досліджень.** Під час наукових досліджень були визначені та систематизовані наступні види дефектів зубчатих коліс судового передаточного редуктора. На працездатність зубчатих передач впливають, як зовнішні фактори, які залежать від крутних моментів і характеру обертання зубчатих коліс, так і від внутрішніх, які залежать від технічного стану редуктора. Взаємодія зовнішніх і внутрішніх факторів створює різноманіття можливих пошкоджень редуктора. Не дивлячись на незмінність в процесі експлуатації передаточного відношення зубчатої передачі, дані фактори змінюються, призводячи до переважання певного виду зносу і пошкодження. При визначенні причин пошкодження необхідно розглянути зубчате колесо, як деталь, яка має посадочну поверхню, несучі елементи і контактну взаємодіючу поверхню.

Аналіз пошкоджень зубчатих коліс показує, що передчасний вихід із ладу зумовлений головним чином процесами в поверхневих шарах зубів. Теоретичне дослідження і виробничий досвід привели до розуміння того, що працездатність зубчатих передач залежить від поверхневого шару деталей, котрий формується при їх виготовленні [5].

Руйнування зубчатих коліс, один із небезпечних і значних дефектів, які призводять до несправності і відмови вузлів та агрегатів судових енергетичних установок. У ряді випадків поява тріщин і полумок зубчатих коліс пов'язана з місцевим підвищенням напруги в так названих зонах концентраторних напружень. Неправильний вибір допусків і посадок і є причиною місцевих концентрацій напружень. Причиною руйнування в більшості випадків є невірні вибрані методи обробки деталі. Так, наприклад при появі припикання відбувається структурно фазова зміна поверхневого шару матеріалу деталі, і в наслідок цього опір сталості деталі знижується на 20-25%. Руйнуються зубчаті колеса внаслідок місцевого ослаблення міцності деталей із-за недостатньо продуманого способу виробничого контролю [5].

Втомне (осповидне) зношування, яке виникає при терті кочення, є наслідком втомленості поверхневих шарів металів, а також виступів мікронерівностей, при повторному навантаженні одних і тих же мікро об'ємів поверхневого шару. Яке з часом призводить до накопичення пошкоджень і в результаті виражається в стомлюючому викришуванні поверхонь зубів, тобто до руйнування. Основною причиною в наслідок якої активно проявляється втомне викришування поверхневого шару зубів є не забезпечення належної якості поверхневого шару деталі: шорсткості, хвилястості, фізико-механічних властивостей, мікроструктури металу і залишкових напружень [6].

Абразивне зношування – це такий вид зношування, при якому окремі частини поверхні за рахунок мікро прорізання матеріалу поверхневого шару зубчатого колеса нерівностями або твердими структурами, що складають матеріал спряженого зубчатого колеса, або мікро подряпання, які з'явилися внаслідок абразивних частинок та знаходяться між поверхнями на яких відбувається тертя. Причиною такого виду зносу є поява твердих частинок в робочому повітрі, паливі, мастильному матеріалі, охолоджуючих рідинах та забруднення окремих порожнин редуктора. Також вагомою причиною абразивного зношування є незадовільна якість обробки робочих поверхонь тертя зубів [7].

Заїдання зубів полягає у тому, що в місцевому молекулярному зчепленні

контактуючих поверхонь зубчатих коліс в умовах руйнування мастильної плівки, яке характеризується місцевим налипанням і відокремленням частинок на поверхні тертя (адгезивний відрив). Зношування такого виду виникає при високому тиску і величезних швидкостях відносно ковзання, як правило має високу інтенсивність. Переважною причиною заїдання зубів може бути витискування, зношування мастильної плівки або пониження в'язкості і захисної здатності мастила від нагріву, тобто в зоні тертя виникає теплове зношування внаслідок неправильної збірки зубчатого зчеплення, вузла. Заїданню найбільш схильні зуби з не загартованими поверхнями із однорідних матеріалів, але це явище спостерігається також у різновидних матеріалів і при загартованих поверхнях.

Фретінг-корозія є різновидом корозійно-механічного зносу. Вона відбувається під дією окиснювальних процесів і абразивного зношування металу зубчатих коліс. Пластично деформований і насичений киснем поверхневий шар зубчатих коліс з присутністю в області тертя продуктів зносу, руйнується під дією багаторазового повторення навантажень. Після чого в процес вступають нові нижні шари металів. В результаті чого на поверхнях взаємного ковзання з'являються язви і продукти корозії в вигляді нальоту, плям і порошку. Причинами корозійно-механічного зносу є: шорсткість поверхні, напрямки нерівностей, хвилястість зумовлені методами та режимами механічної обробки, а також фізичної природи металу. Суттєве значення для протікання процесу фретінг-корозії має окиснення поверхонь, яке виникає внаслідок вібрацій або деформації під навантаженнями.

Механічне пошкодження торців і робочих поверхонь зубів трапляється по наступним причинам, очевидно із яких є порушення технологічного процесу збірки, а саме використання непередбаченого технологічним процесом інструмента та невиконання технологічних вимог і умов збірки. Також попадання в зону контакту зубів або інших поверхонь, по сторонніх металічних і абразивних частинок в процесі збірки або експлуатації. Сторонні механічні і абразивні частинки при потрапінні в зазори пар, які мають тертя і приймають участь в сприйнятті навантажень і можуть в залежності від місцевих умов впресовуватися в поверхні тертя, роздавлюються на більш мілкіші фракції, ковзаючи по поверхні і викликаючи дефекти поверхневого шару зубчатого колеса. Приробіток робочих поверхонь зубів, цапф, шліців є первісним зношуванням, котрий відбувається по фізичним процесам зносу.

В результаті пластичної деформації поверхневих шарів на контактних поверхнях зубів відбувається наклеп. При наклепі зменшується пластичність і ударна в'язкість, підвищується твердість і міцність. Очевидною причиною наклепу на профілі зубів в процесі роботи зубчатих передач є мікротвердість, яка перевищує оптимальну мікротвердість поверхневого шару після виготовлення деталі та призводить до подальшого над наклепу. Також суттєвою причиною може бути і менша ніж оптимальна мікротвердість деталі. В цьому випадку в процесі роботи на зубчатих колесах відбувається інтенсивне зношування, до тих пір доки пластична деформація поверхневого шару не перевищить його мікротвердість до величини оптимальної.

Молекулярно-механічне зношування проявляється як заїдання при високих тисках в зоні, де нема масляної плівки. Спряженні поверхні зубів зчіплюються настільки сильно, що частинки поверхні більш м'якшого зуба приварюються до поверхні зуба з твердішою основою. З'являються нарости, які наносять на робочі поверхні інших зубів маленькі канавки. Заїдання особливо інтенсивно трапляється в вакуумі із-за відсутності окисних плівок, а також часто

трапляється коли робочі поверхні зуба підлягають високому тиску. Заїдання виключають шляхом підвищення твердості і зниженням шорсткості поверхонь, правильним підбором проти задиристих мастил [5].

Корозійне руйнування поверхонь зубчатих коліс в результаті хімічного впливу середовища проявляється в руйнуванні поверхні металу. Інтенсивність цього процесу залежить від фізичної природи металу, параметрів поверхневого шару і умов експлуатації [8]. Корозія сприяє процесу кавітаційного руйнування та фретінг-корозії металу.

Кавітаційне зношування, яке виникає під час кавітації, при цьому поверхня металу починає наклепуватися на малу глибину, з'являються лінії зсуву з виявленням границь окремих зерен. Процес кавітації викликає зниження міцності, пере наклеп матеріалу на окремих мікрочастинках, яке супроводжується виникненням осередків руйнування в вигляді тріщин і пітінгу. Руйнування може відбуватися в межах зерен або по їх границям. Виникнення кавітації пов'язано з наявністю допоміжного розрядження внаслідок високого гідроопору, яке має місце по конструктивним причинам.

Характер прикладеного силового навантаження пов'язаний з постійною або не постійною частотою обертання, зміною напрямку обертання, значенням динамічної складової. Динамічні удари часто призводять до зламу зубів. При збільшенні частоти обертання збільшується вимоги до точності виготовлення і встановлення зубчатих передач, в іншому випадку збільшується зношування зубів. Це може бути причиною помилок виготовлення або монтажу. Наприклад із-за малого бокового зазору на зворотній поверхні зуба з'являються сліди контакту.

Зношення зубів – причина виходу із ладу переважно відкритих передач, недостатньо захищення від потрапляння абразивних частинок: пилюки, продуктів зносу і т.д. Спотворення профілю в результаті зносу призводить до збільшення динамічних навантажень, зазорів у зчепленні, зменшенню поперечного перетину зубів і, як наслідок до збільшення згину, і як правило до пошкодження зуба.

Відсутність змазування між контактуючими поверхнями призводить до підвищення температури, руйнування поверхневих твердих плівок окисів і виникненню адгезійних зв'язків між контактуючими зубами. Сили на площадках контактів повинні бути достатніми для руйнування твердих плівок окисів. Для важко навантажених високо швидкісних зубчатих передач найбільш характерна поява виривів металу на вершинах зубів. Для їх попередження рекомендують забезпечити постійне змазування контактуючих поверхонь. В тому числі і шляхом правильного вибору мастильного матеріалу. Такі пошкодження порушують характер зчеплення зубів і збільшують швидкість зношення створюючи при цьому концентратори напруг на поверхні зубів, які сприяють розвитку стомлюючих тріщин і відколів [9].

Відхилення в розташуванні валів і зубчатих коліс призводять до порушення рівномірності впливу доданих сил. Це може проявлятися в нерівномірному розподіленні сил по довжині зуба і в рівномірному по колу зубчатого колеса. Нерівномірне розподілення сил по колу зубчатого колеса призводить до появи локальних відколів в обмеженому секторі.

Пластичний зсув спостерігається у важко навантажених тихохідних зубчатих колесах, виконаних із м'якої сталі. Внаслідок сил тертя на поверхні зубів з'являються пластичні деформування з наступним зсувом частинок матеріалу в напрямку ковзання, які з часом призводять до утворення хребта поблизу полюсної лінії зубів веденого колеса і канавки у зубів ведучого. Це порушує пра-

вильність зчеплення і призводить до руйнування зубів. Пластичний зсув можливо усунути підвищенням твердості робочих поверхонь зубів [10].

Деформація і виробіток зубчатих коліс має місце при зниженій твердості на поверхні. Це може бути викликано при порушенні технології цементації і нітроцементації або неякісною термообробкою. Не виконання режимів термообробки призводить до пониженої твердості і в результаті до інтенсивного зносу, деформації і передчасному руйнуванню деталей редуктора.

Миттєва поломка із-за перенавантаження є дуже небезпечним видом руйнування зубчатих коліс. В процесі експлуатації зуби коліс можуть підлягати статистичному вигину при максимальному одноразовому навантаженні (різке гальмування, заклинювання, прикладання максимального крутного моменту). Напруга при цьому може значно перевищити тимчасовий опір сталі і призвести до миттєвого руйнування. Для запобігання раптових поломок необхідно слідкувати за правильністю монтажу зубчатих з'єднань і звести до мінімуму перенавантаження в процесі експлуатації.

Присутність в маслі механічних домішок, а також невеликих частинок металу від зносу деталей викликає погіршення його мастильних якостей, сприяє збільшенню нагріву і високому зносу поверхонь, які відчувують тертя. Під час експлуатації в турбінному маслі, крім механічних домішок, накопляються органічні кислоти, вода і інші продукти старіння мастила, що потребує періодичної його очистки або повної заміни.

Після аналізу існуючих причин, які призводять до пошкоджень редукторів ми детально розглянемо невелику, але суттєву причину, яка теж призводить до пошкоджень зубів – потрапляння конденсату в мастильний матеріал суднового редуктора. Зі слів С.Ю. Котова, Г.Я. Беляєва: "навіть незначна кількість конденсату в мастилi призводить до суттєвого погіршення властивостей мастильного матеріалу, а це в свою чергу породжує зниження експлуатаційних характеристик деталей редуктора. Так, наприклад збільшення вологості в мастилi з 0,01 до 0,1% призводить до п'ятикратного зменшення середньої довговічності підшипників [11].

Для того, щоб захистити деталі суднового редуктора від навколишнього середовища, а саме від вологи, пару, кислот, газів, які негативно впливають на працездатність деталей і на якість мастильного матеріалу, виробники вмонтовують в редуктор різного типу ущільнення і встановлюють фільтри. Але не зважаючи на це конденсати водяних парів і різного типу хімічні з'єднання потрапляють під час роботи в складові редуктора [12].

Одним із методів вирішення даної проблеми може бути силікагель. Силікагель – висушений гель кремнієвої кислоти пористої будови з сильно розвинутою внутрішньою поверхнею. Наявність гідрофільних якостей і розвинутої внутрішньої поверхні робить силікагель незамінним абсорбентом і каталізатором при суцці повітря в приміщенні. Степінь і характер пористості силікагелю обумовлює ефективність його застосування в різних процесах.

В машинобудівній промисловості силікагель слугує в якості вологопоглинача для зберігання деталей від вологи і корозії. Завдяки наявним абсорбційним якостям силікагель слугує осушувачем при консервації обладнання для обертання його від корозії [13]. Отже, застосування силікагелю для осушування зони в якій працює редуктор. Зробити це можливо наступними методами: перше це помістити невеликі контейнери з силікагелем безпосередньо біля редукторної установки на відстані 1 метра; другий метод включає в себе підвішування паперових пакетів з абсорбентом над редуктором на спеціальні кріючки.

Для осушування повітря в зоні роботи редуктора рекомендується технічний силікагель ГОСТ 3956-76. Це гранульований мілко пористий силікагель марки КСМГ-10,5. Основні якості цієї марки це – скловидні прозорі або матові овальної, сферичної чи неправильної форми. Виготовлюється з різних кольорів з темними вclusions [14].

Необхідно відмітити, що при відносному вологовмісту оточуючого середовища ( $\phi$ ) до 55...60% максимальною абсорбційною здатністю до парів води володіє мілко пористий силікагель (насіпна щільність порядку 700кг/м<sup>3</sup>). В інтервалі  $\phi=70...80\%$  необхідно віддати перевагу середньо пористому силікагелю. Переваги крупнозернистого силікагелю ( $\rho_{с.з.}\sim 400...500$  кг/м<sup>3</sup>) реалізується при  $\phi>90\%$ . Так як вологість всередині судна складає від 50 до 90%, а температура коливається від 15 до 34°C. Отже, нам підходить крупнозернистий силікагель. Отож для розрахунку вологості повітря в валопроводному відсіку необхідно використати наступні формули:

$$I = C_{с.п.} \cdot t (R + C_{п.} * t) \cdot d / 100, \quad (1)$$

де  $I$  – ентальпія повітря, кДж/кг;  $C_{с.в.}$  – питома теплоємність сухого повітря, кДж/кг°C;  $C_{с.в.}=1,006$ ;  $t$  – температура вологого повітря °C;  $R$  – теплота пароутворення в валопроводному відсіку судна, розраховується як:  $R=2,362 \cdot t+2501$ ;  $C_{п.}=1,86$ ;  $d$  – вологовміст повітря кг/кг;

$$P_{н} = e^{((1500,3+23.5 \cdot i))}, \quad (2)$$

де  $P_{н}$  – парціальний тиск насиченого пару, Па;

$$d = 622 \cdot P_{п.} / (P_{б.} - P_{п.}), \quad (3)$$

де  $P_{п.}$  – парціальний тиск водяного пару, Па;  $P_{б.}$  – барометричний тиск повітря, Па;  $P_{б.}=101\,325$ Па;

$$\phi = \frac{P_{п.}}{P_{н.}}, \quad (4)$$

де  $\phi$  – відносна вологість повітря, %.

Після визначення вологості повітря в валопроводному відсіку є необхідність визначити кількість силікагелю, котрого необхідно буде для осушення розрахункового об'єму приміщення. Згідно ГОСТ 3956-76 закладка складає – 1кг/м<sup>3</sup>. Використання силікагелю на мореплавних засобах різного типу пов'язано з рядом переваг, якими володіє цей абсорбент. Ці переваги включають високу абсорбційну властивість, вибірковість при поглинанні, володіє властивістю багаторазової регенерації. При цьому не втрачаються поглинаюча активність зерен, а також наявність міцної конструкції зерен, термостійкість і т.і. [15].

Також силікагель пожежно- і вибухобезпечний, по степені небезпечності для людського організму відноситься до третього класу небезпечних речовин. Але, так як присутність людини в валопроводному відсіку обмежена і потребує присутності тільки під час планових оглядів та ремонту вузлів редуктора, то ця речовина допустима для використання.

**Результати досліджень.** В результаті проведених досліджень були виявлені, систематизовані і попередньо проаналізовані характерні види дефектів зубчатих коліс суднових редукторів після експлуатації.

Очевидно, по-перше, що використання діючих зміцнюючих технологій не допомагає уникнути появи дефектів у поверхневому шарі зубчатих коліс, і як наслідок збільшити міжремонтний час вузлів і агрегатів редукторної установки.

По-друге, із вище сказаного не має можливості зменшити об'єм і термін робіт, вироблених під час ремонту даного типу деталей, і як наслідок заощадити матеріальні кошти, які витрачаються на відновлення чи виготовлення (замість забракованих після експлуатації) зубчатих коліс.

По-третє застосування силікагелю може в деякій мірі попередити появу паро водяних конденсатів в мастильному матеріалі шляхом вбирання їх в робочій зоні редуктора і тим самим заощадити кошти на передчасній заміні і регенерації мастильного матеріалу.

**Висновки.** Підводячи підсумок даного етапу дослідження, можна сказати, що необхідно знати характер впливу параметрів якості поверхневого шару зубчатих коліс, на схильність до того чи іншого виду експлуатаційних дефектів. А в перспективі для виявлення раціональних областей ефективного застосування засобів зміцнення. Також необхідно відмітити, що існуючі ущільнювачі на редукторах і підшипникових вузлах не можуть повністю попередити попадання різного типу парів всередину агрегату, тому рішення цієї проблеми може бути в використанні силікагелю. Це недорогий матеріал з відновлюючими властивостями. Абсорбент дозволяє власникам зберегти кошти на передчасній заміні мастильного матеріалу.

**Список літератури:** 1. *Суслов А.Г.* Направление работ Брянской технологической школы по решению проблемы "Обеспечение и повышение качества изделий машиностроения и технологической оснастки". – Москва: Машиностроение, 2004. – 111с. 2. *Киричек А.В.* Повышение эффективности упрочняющих технологий. – Москва: Машиностроение, 2004. – 136с. 3. *Дайхес М.А.* Ремонт судовых двигателей внутреннего сгорания. – Москва: Судостроение, 1980. – 248с. 4. *Возницкий И.В.* Морская книга. – Петербург: Судостроение, 2007. – 127с. 5. *Петрина Ю.Д.* Підвищення довговічності деталей насосів і компресорів нафтогазової промисловості ультразвуковим зміцненням. – Київ: НТУУНГ, 2005. – 160с. 6. *Роцин Г.И.* Детали машин и основы конструирования. – Москва: Дрофа, 2006. – 415с. 7. *Овчинников И.Н.* Судовые системы и трубопроводы. – Ленинград: Судостроение, 1976. – 328с. 8. *Болотин В.В.* Ресурс машин и конструкций. – Москва: Машиностроение, 1990. – 224с. 9. *Папшев Д.Д.* Упрочняющая технология в машиностроении (методы поверхностного пластического деформирования). – Москва: Машиностроение, 1986. – 160с. 10. *Геллер Ю.А.* Материаловедение. – Москва: Металлургия, 1975. – 328с. 11. *Котов С.Ю.* Влияние вакуумно-плазменного упрочнения сферических подложек покрытием во время возникновения первых очагов коррозии. – Москва: Гомель, 2014. – 126с. 12. *Дуняев П.Ф.* Конструирование узлов и деталей машин. – Москва: Машиностроение, 1978. – 351с. 13. *Кольцов С.И.* Алесковский В. Б. Силикагель, его строение и химические свойства. – Ленинград: "Техиздат", 1963. – 416с. 14. ГОСТ 3956-76. Силикагель технический. – М: ИПК, 1980. – 100с. 15. *Нестеренко А.В.* Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха. – Москва: Термодинамика, 1971. – 459с.

**Bibliography (transliterated):** 1. *Suslov A.G.* Napravlenie rabot Bryanskoj tehnologicheskoi shkoly po resheniyu problemy "Obespechenie i povyshenie kachestva izdelij mashinostroeniya i tehnologicheskoi osnastki". – Moscow: Mashinostroenie, 2004. – 111p. 2. *Kirichek A.V.* Povyshenie effektivnosti uprochnyayushhih tehnologij. – Moscow: Mashinostroenie, 2004. – 136p. 3. *Dajhes M.A.* Remont sudovyh dvigatelej vnutrennego zgoraniya. – Moscow: Sudostroenie, 1980. – 248p. 4. *Voznickij I.V.* Morskaya kniga. – Peterburg: Sudostroenie, 2007. – 127p. 5. *Petrina Yu.D.* Pidvishennya dovgovichnosti detalej nasosiv i kompresoriv naftogazovoyi promislivosti ul'trazvukovim zmichnenniyam. – Kyiv: NTUNG, 2005. – 160p. 6. *Roshhin G.I.* Detali mashin i osnovy konstruirovaniya. – Moscow: Drofa, 2006. – 415p. 7. *Ovchinnikov I.N.* Sudovye sistemy i truboprovody. – Leningrad: Sudostroenie, 1976. – 328p. 8. *Bolotin V.V.* Resurs mashin i konstrukcij. – Moscow: Mashinostroenie, 1990. – 224p. 9. *Papshv D.D.* Uprochnyayushhaya tehnologiya v mashinostroenii (metody poverhnostnogo plasticheskogo deformirovaniya). – Moscow: Mashinostroenie, 1986. – 160p. 10. *Geller Yu.A.* Materialovedenie. – Moscow: Metallurgiya, 1975. – 328p. 11. *Kotov S.Yu.* Vliyaniye vakuumno-plazmennogo uprochneniya sfericheskikh podlozhek pokrytiem vo vremya vozniknoveniya pervykh ochagov korrozii. – Moscow: Gomeľ, 2014. – 126p. 12. *Dunayev P.F.* Konstruirovaniye uzlov i detalej mashin. – Moscow: Mashinostroenie, 1978. – 351p. 13. *Kol'cov S.I.* Aleskovskij V.B. Silikagel', ego stroeniye i himicheskie svoystva. – Leningrad: "Tehizdat", 1963. – 416p. 14. GOST 3956-76. Silikagel' tehnikeskij. – Moscow: IPK, 1980. – 100p. 15. *Nesterenko A.V.* Osnovy termodynamicheskikh raschetov ventilyacii i kondicionirovaniya vozduha. – Moscow: Termodynamika, 1971. – 459p.

Поступила (received) 27.05.2015