

УДК 621.01.

DOI:10.30987/2223-4608-2021-9-26-35

В.Б. Котляров, инженер,
А.Н. Михайлов, д.т.н.
(Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, ул. Артёма, 58),
Б.С. Котляров, к.т.н.
(ООО «АОЗ», г. Москва)
E-mail: mntk21@mail.ru

Особенности выбора функционально-ориентированных процессов изготовления зубчатых пар коробок переключения передат, работающих без разрыва потока передаваемой мощности

Представлены результаты исследования особенностей изготовления зубчатых пар для коробок переключения передач, обеспечивающих переключение между ступенями передач без разрыва потока передаваемой мощности. Показано, что в связи с особенностями функциональных и эксплуатационных свойств зубчатых колес в процессе переключения без разрыва кинематической цепи и без прерывания потока передаваемой мощности необходимо предусматривать дополнительную обработку поверхностей подверженных модификациям зубьев ведущих шестерен и ведомых колес блок-вала в зонах, участвующих в процессе собственно переключения.

Ключевые слова: зубчатое колесо; коробка переключения передач; функционально-ориентированная технология; модификация зубьев; технология; технологическое воздействие; свойства деталей; блок-вал.

V.B. Kotliarov, engineer,
A.N. Mikhaylov, Dr. Sc. Tech.
(Donetsk National Technical University, 58, Artem St, Donetsk)
B.S. Kotlyarov, Can. Sc. Tech.
(Ltd «AOZ», Moscow)

Features of choosing functionally-oriented manufacturing processes of gear pairs for continuous-drive transmissions

The results of studying the features of manufacturing gear pairs for continuous-drive transmissions are presented. It is shown that due to the peculiarities of gear functional and operational properties while switching without breaking the kinematic chain and without interrupting the flow of transmitted power, it is necessary to provide additional surface treatment of drive gear teeth and block shaft driven wheels in the zones involved in the actual transmission shift.

Keywords: gear wheel; gear box; functionally-oriented technology; wheel modification; technology; technological impact; part properties; block shaft.

Введение

Проведенные ранее исследования [1 – 3] позволили установить некоторые особенности функциональных проявлений элементов зубчатых зацеплений коробки переключения передач, работающей без разрыва потока мощ-

ности в процессе собственно переключения в сфере эксплуатации. При этом в процессе переключения внутренний материал зубьев шестерни и колес, воспринимающих внешние нагрузки, подвергается кратковременным воздействиям нормальных и тангенциальных сил переменной величины и направления. Устано-

вить те зубья шестерни, которые непосредственно принимают участие в процессе переключения невозможно, т.к. при любом последующем переключении в зацепление с зубьями колеса могут вступить другие зубья шестерни. По-другому работают в процессе переключения передач и в процессе стабильной передачи крутящего момента группы зубьев колес, входящих в блок-вал зубчатых колес.

В процессе переключения в зацеплении с шестерней постоянной принимают участие одни и те же группы зубьев колес блок-вала. Эти зубья подвергаются действиям сил изгиба и сжатия, а также сил растяжения и скручивания. Остальные зубья колес подвергаются воздействиям сил сжатия, растяжения и изгиба. В процессе переключения пятно контакта зубьев шестерни и колеса перемещается от одного торца колеса к другому, и одновременно смещается по высоте зуба от вершины к основанию. После завершения процесса переключения эти зубья работают в тех же условиях постоянного зацепления с зубьями шестерни, что и остальные зубья колес [4 – 6].

Участие в исполнении дополнительных функциональных предназначений зубьев колес приводит к изменяемым условиям взаимодействия с сопряженными деталями в механизме, следовательно подвергаются иным условиям силовых нагрузок, трения и износа. Исходя из условия уравнивания ресурса элементов детали, необходимо придать разные прочностные характеристики элементам зубчатых колес, локализованных на различных участках зубчатого венца. При этом прочностные характеристики внутренних зон колес и поверхностей зубьев могут формироваться в процессе изготовления на различных этапах технологий [7, 8].

Первоначально можно закладывать некоторые характеристики материала при выборе способа формирования заготовок. Дальнейшее изменение структуры и свойств самого материала, а также свойств поверхностей, осуществляется в процессе механической обработки. Дополнительные воздействия для формирования необходимых качеств детали обеспечивается дополнительным воздействием с помощью термической обработки, а также путем нанесения функционально-ориентированных покрытий (ФОП) [9, 10].

Оптимальный вариант технологии изготовления зубчатых колес коробок переключения передач (КПП) без разрыва потока мощности формируется путем рекуррентного итеративного выбора совокупности функционально-

ориентированных технологических воздействий поверхностей в формировании всех элементов деталей, включая свойства материала и свойства поверхностей.

Целью исследований является разработка цельного комплекса мер, позволяющих выбрать оптимальный вариант функционально-ориентированных технологических воздействий из некоторого множества технологий, предназначенных для повышения свойств поверхностей. Это относится к повышению показателей качества и свойств функционально значимых поверхностей зубчатых колес и шестерен коробок переключения передач, работающих без разрыва потока передаваемой мощности. В частности, относится к изменениям свойств боковых поверхностей отдельных групп зубьев колес и шестерен, работающих в разных условиях внешних нагрузок, приводящих к разным условиям напряжения и абразивно-эрозионного износа.

Достижение поставленной цели может быть обеспечено последовательным решением ряда задач, в числе которых следующие:

- проведение анализа целевых функций элементов, участков и зон групп зубьев зубчатых колес с особыми условиями нагружения в процессе эксплуатации с установлением их локализации в общей системе координат деталей;

- установление в соответствие группам зубьев и поверхностям с особыми условиями нагружения возможных функционально-ориентированных технологических воздействий, позволяющих достигать требуемых характеристик;

- создание алгоритма рекуррентного итеративного выбора оптимального функционально-ориентированного технологического воздействия формирования свойств поверхностей зубьев по критериальному показателю эффективности из установленного множества, образованного при соблюдении определенных ограничительных условий для технологий.

Одновременно необходимо указать на особенности формализации полученных результатов для дальнейшего применения.

Особенности динамического взаимодействия зубьев шестерни в зацеплении с колесами блок-вала колес в процессе переключения передач КПП

Характер взаимодействия шестерни с колесами блок-вала колес в процессе переключения передач отличается от характера обычно-

го взаимодействия при передаче крутящего момента в штатном режиме. Одновременно с действием окружного усилия от зубьев венца шестерни к зубьям венца колеса прилагается осевое усилие, которое действует вдоль ширины зубчатого венца. Это усилие возникает от усилия, направленного вдоль оси шестерни

силы, перемещающей ведущую шестерню из зацепления с одним колесом, в зацепление с другим колесом блок-вала колес.

Схема сил взаимодействия и схема направления пятна контакта в зацеплении в процессе переключения передач приведена на рис. 1.

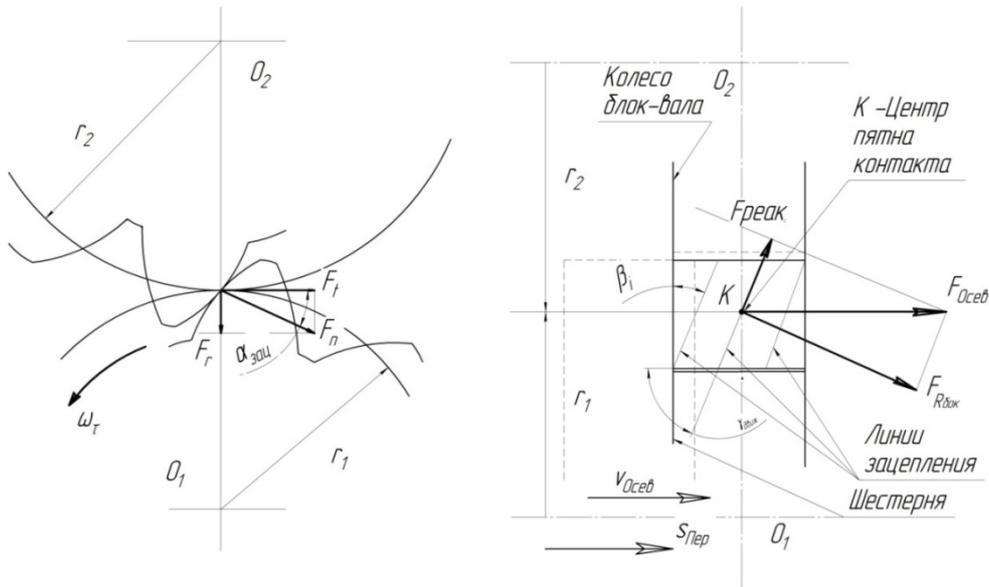


Рис. 1. Схема взаимодействия зацепления шестерни и колеса в процессе переключения передачи

На рис. 1 шестерня с осью вращения O_1 с угловой скоростью ω_τ и колесо с осью вращения O_2 испытывают силовое взаимодействие. Передача крутящего момента осуществляется силой F_n по нормали к общей касательной линии в точке K контакта, и которая раскладывается на тангенциальную (окружную) силу F_t и радиальную F_r . Точка K , указывающая на центр пятна контакта в зацеплении зубьев шестерни и колеса, перемещается в процессе зацепления во время переключения передачи по траектории поверхности зуба колеса, которую можно отразить линией под углом β к линии проекции центральной плоскости вращения колес на боковую поверхность зуба.

Очевидно, что в процессе перемещения шестерни при приложении осевого усилия $F_{осев}$ будет возникать сила $R_{тр}$ от реакции сопротивления, величина которой зависит от некоторых внешних факторов, среди которых необходимо выделить зависимость: от коэффициента трения поверхностей зубьев шестерни и колеса, определяемого шероховатостью и твердостью поверхностей; от величины нормального усилия поверхности зуба шестерни на поверхность зуба колеса при передаче крутящего момента; от величины угла β отклонения траектории перемещения пятна

контакта от прямой линии плоскости вращения колес.

Величина угла β зависит от угловой зоны колеса и количества зубьев колеса, принимающих участие в процессе собственно переключения передачи. Для каждого колеса блок-вала, участвующего в последовательном переключении передач, величина этого угла β может быть различной, но для каждого колеса остается постоянной.

Для ведущей шестерни траектория перемещения пятна контакта в процессе переключения оказывается разной при осуществлении зацепления с каждым колесом. При этом и зубья шестерни, принимающие участие в переходе зацепления с одного колеса на другое колесо блок-вала, не одни и те же, и могут быть из любой зоны венца шестерни.

Такие особенности осуществления зацепления в процессе переключения передач предъявляют особые требования к формируемым элементам поверхностей зубьев шестерни и зубьев колес блок-вала. Причем требования особых свойств относятся не только к поверхностям зубьев, но и к геометрии этих зубьев, которые могли бы способствовать облегчению перемещения шестерни в процессе переключения передачи и введении в зацепле-

ние шестерни с новым колесом. Это значит, что зубья шестерни и зубья колес должны быть подвергнуты модификации формы и геометрии. Модификация зубьев шестерни и колес при этом должна быть разной из-за разных условий осуществления зацепления в процессе переключения и в процессе стабильной передачи крутящего момента при уже включенной передаче. Для зубьев шестерни

представляется оптимальной бочкообразная модификация, исключая попадание торца зуба шестерни на торец зуба колеса на начальной стадии введения в зацепление с колесом.

Схемы приложения сил износа на боковые поверхности зубьев шестерни и колес приведены на рис. 2.

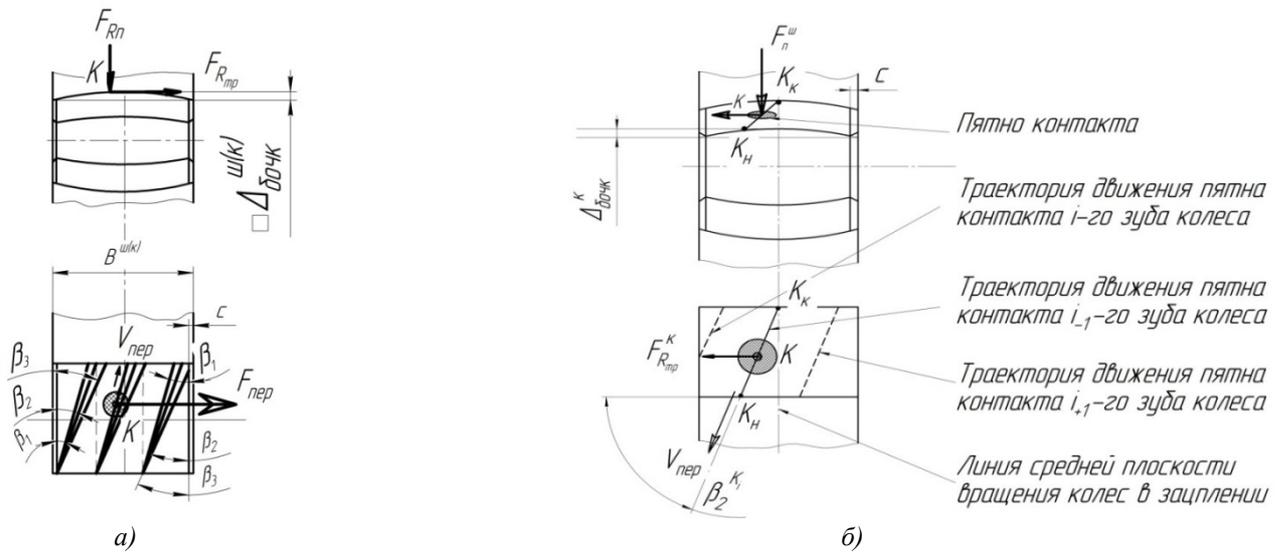


Рис. 2. Схемы контактирования:

a – схема действующих сил и траекторий движения точки пятна контакта по боковой поверхности зубьев шестерни в процессе переключения передач; *б* – схема действующих сил и траекторий движения точки пятна контакта по боковой поверхности зубьев колес блок-вала в процессе переключения передач

Зубья колес подвергаются различной модификации в разных зонах зубчатого венца, т.к. боковые нагрузки с восприятием усилий от перемещения в осевом направлении шестерни при переключении передач, принимают одни и те же зубья венцов каждого колеса блок-вала. Именно эти зубья работают в самых напряженных триботехнических условиях и подвержены максимальному износу боковых поверхностей. Векторы износных сил и направления их приложения для поверхностей зубьев секторов переключения являются постоянными в зацеплении. Это позволяет предварительно определить самые напряженные элементы и участки зубьев, а также определить методы их упрочнения технологическими способами.

Оптимальным методом упрочнения рабочих поверхностей групп зубьев венцов, задействованных в процессе переключения передач, является нанесение твердых покрытий, например напыление карбидами металлов (например, нитридами титана). Толщина на-

пыленного слоя $h_{\text{з}}$ на поверхности зуба может быть не одинаковой по всей поверхности. Так, срединная зона, на некотором расстоянии $l_{\text{гнс}}$ от торцевых поверхностей колес может иметь толщину напыления $h_{\text{гнс}}$, а толщина слоя $h_{\text{сз}}$ срединной зоны может быть другой, и с большей долей вероятности $h_{\text{сз}} \geq h_{\text{гнс}}$. Толщина слоя твердого покрытия может варьироваться как за счет изменения толщины самого слоя (в минимизированных величинах), так и за счет нанесения разного количества слоев напыления. При этом границы зон напыления твердых покрытий для каждого слоя свои, и могут отличаться от предыдущих по размерам и геометрии. То есть направление вытянутости зоны напыления может варьироваться. Границы зон напыления можно формировать с помощью защитных экранов, ограничивающих поток частиц, бомбардируемых на поверхности зубьев.

Пример формирования твердой поверхности зубьев шестерни приведен на рис. 3. Представлены: боковая поверхность зуба шес-

терни с границами нанесения твердых покрытий (рис. 3, а); структура многослойного напыления боковой поверхности зуба шестерни в заданном сечении с указанием толщины по-

крытия послойно (рис. 3, б); сечение зуба шестерни с указанием построения многослойного покрытия напылением нитридов твердых металлов (рис. 3, в).

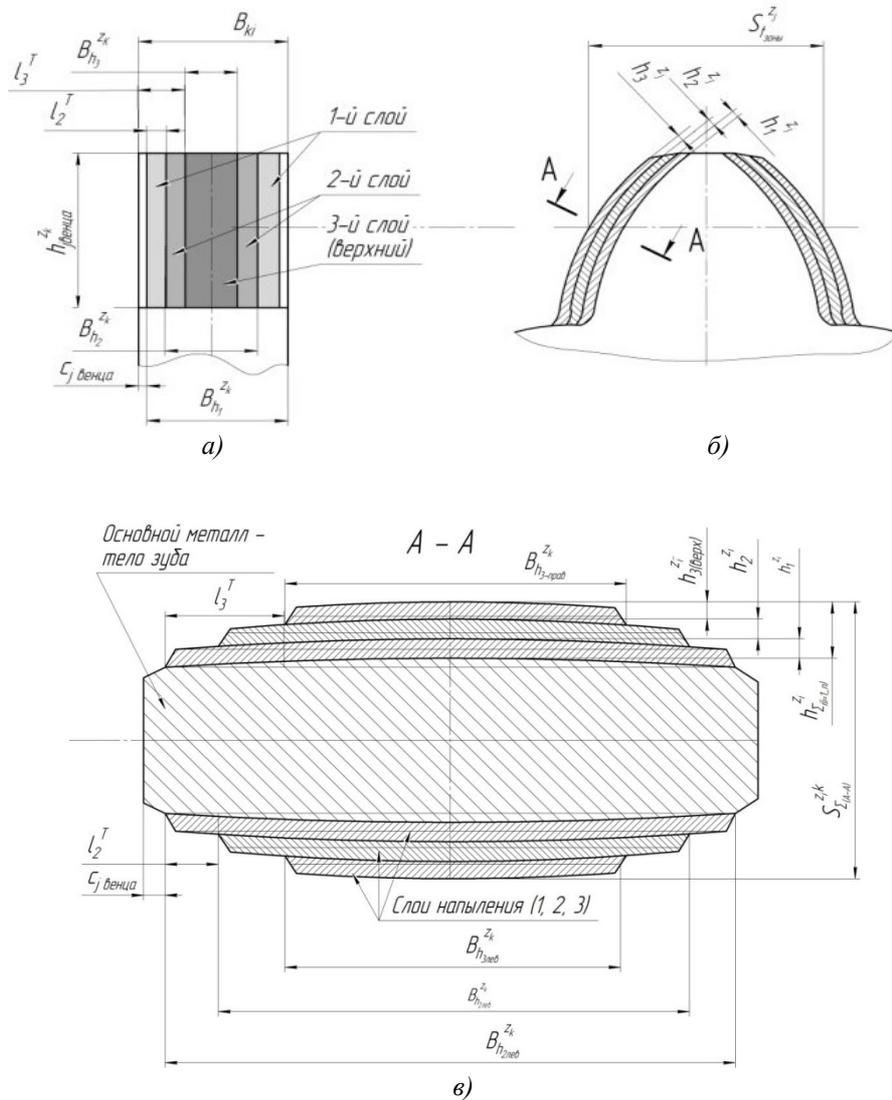


Рис. 3. Схемы зуба с покрытием:

а – боковая поверхность зуба шестерни с границами нанесения твердых покрытий; б – структура многослойного напыления боковой поверхности зуба шестерни в заданном сечении с указанием толщины покрытия послойно; в – сечение зуба шестерни с указанием построения многослойного покрытия напылением нитридов твердых металлов

Структура построения износостойкого покрытия для боковых поверхностей зубьев колес блок-вала отличается от структуры нанесения покрытия, реализуемой на боковых поверхностях зубьев шестерни. Основное отличие заключается в том, что особая система нанесения покрытий разрабатывается для ограниченного сектора переключения для группы зубьев зубчатого венца каждого колеса блок-вала. При этом для каждого зуба сектора каж-

дого колеса устанавливаются свои границы каждого слоя покрытия, который зависит от траектории перемещения пятна контакта в зацеплении зубьев шестерни и колеса в процессе осуществления перехода зацепления с одной пары колес на другую.

Пример формирования границ каждого слоя твердой поверхности зубьев для сектора переключения колес блок-вала приведен на рис. 4.

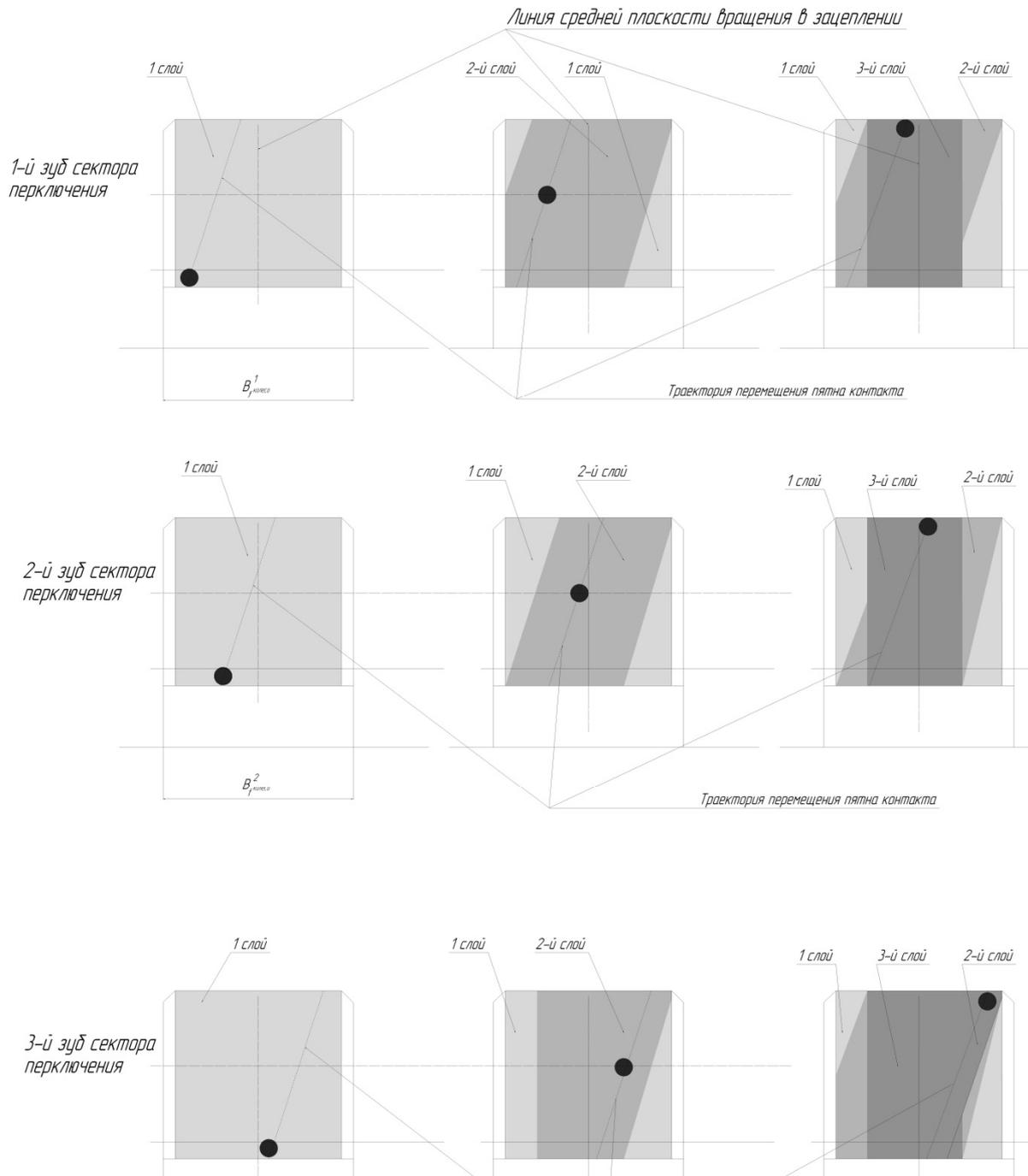


Рис. 4. Порядок формирования границ послойного нанесения износостойких покрытий на боковые поверхности зубьев сектора переключения передач

Твердое многослойное покрытие боковых поверхностей остальных зубьев колес блок-вала формируется аналогично формированию покрытий всех зубьев шестерни.

Указанные функциональные особенности зубьев колес блок-вала в процессе эксплуатации вызывают необходимость применения функционально-ориентированных технологических воздействий (по аналогии с построением процессов покрытия лопаток газотурбинных турбокомпрессоров [12]), обеспечиваю-

щих придание требуемых параметров свойств зубьям колес в заданных границах зон на заданных зубьях – элементах детали.

В связи с указанным положением строится определенная структура технологического процесса нанесения покрытий, учитывающая ряд факторов: определение порядка нанесения слоев покрытия для заданных групп зубьев; определение контура границ каждого слоя покрытия; физико-механические свойства каждого слоя покрытия; толщина каждого слоя

покрытия с учетом заданной неравномерности.

Все обозначения слоев и их принципиальные размерные характеристики ясны из рисунков. Границы слоев указаны разным цветом, каждый последующий слой покрытия выделен более интенсивным цветом. Черным кругом обозначено пятно контакта в зацепле-

ния зубьев шестерни с колесом на линии, указывающей траекторию перемещения по боковой поверхности зубьев колеса.

Функционально-ориентированный процесс выполнения технологических воздействий нанесения покрытий на боковые поверхности зубьев зацепления строится по алгоритму, приведенному на рис. 5.

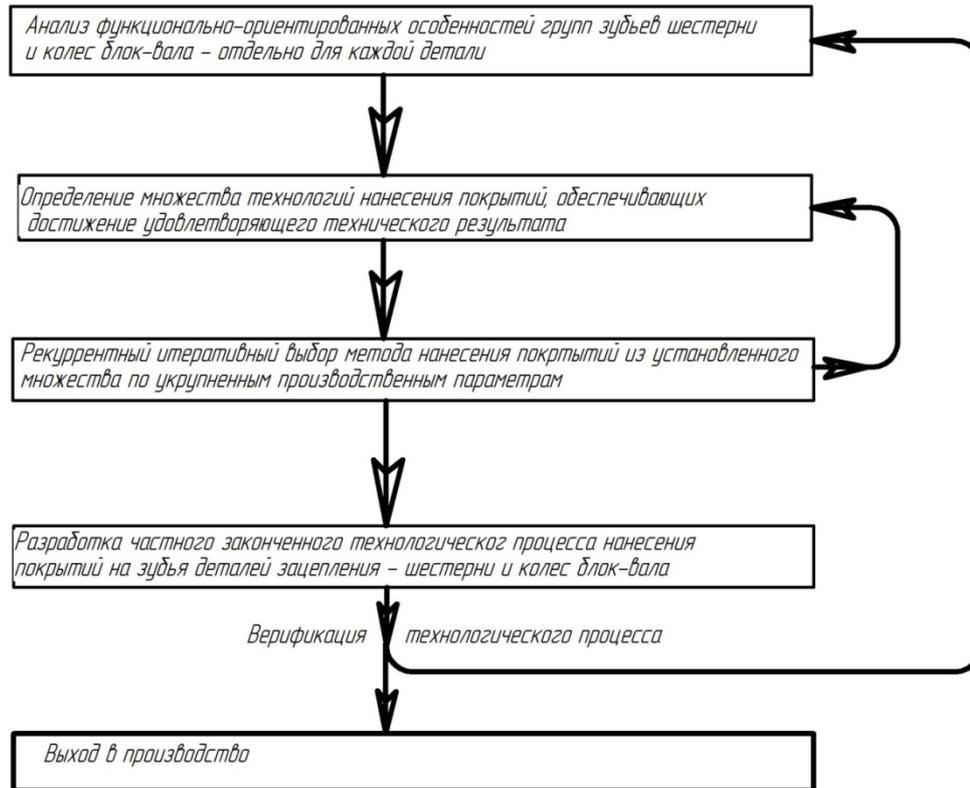


Рис. 5. Алгоритм общего выбора технологии нанесения покрытий на зубья колес

На этапе анализа функциональной предназначенности поверхностей зубьев для колес и шестерен определяется характер особых факторов при эксплуатации, отличающихся по величинам нагрузок, по направлению приложения внешних сил, также с учетом следующих факторов:

- возможный характер абразивно-эрозионного износа;
- особенности взаимодействия шестерни и колес на разных этапах зацепления;
- возможные динамические условия взаимодействия зубьев колес и шестерни;
- характер механических напряжений на разных этапах зацепления.

Определение по техническим возможностям реализации допустимого множества технологий для выбора рационального технологического воздействия осуществляется на ос-

нове известных результатов их применения для покрытия аналогичных деталей [13].

Выбор рациональной технологии из установленного множества осуществляется на базе критериального показателя качества и эффективности для каждого функционально-ориентированного технологического воздействия комплексной технологии – ФОТ.

Алгоритм выбора функционально-ориентированного технологического воздействия в рациональном варианте представлен на рис. 6.

Первоначально, основываясь на имеющейся информации из КД о функциональном предназначении поверхностей элементов зубчатых колес, и заданным, исходя из этого, требованиям к отдельным поверхностям частей, участков и зон деталей по качественным характеристикам и свойствам, формируется некоторое множество технологий.

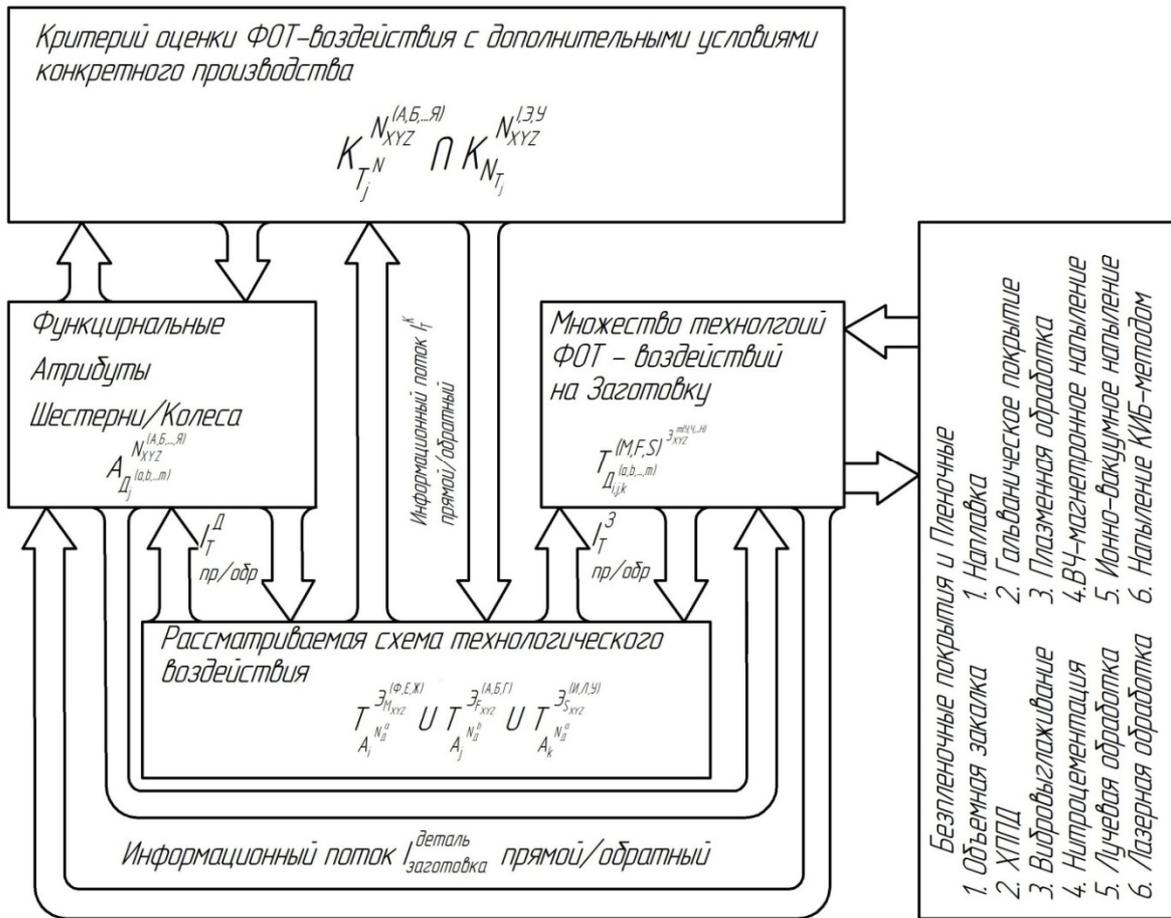


Рис. 6. Алгоритм выбора ФОТ-воздействия при формировании износостойкого покрытия групп зубьев шестерен и зубчатых колес КПП

Рассматриваются все технологии, способные технически обеспечивать требуемые характеристики поверхностей в некоторых указанных границах.

Для установленного множества формируется критериальный показатель качества и эффективности технологического воздействия, определяющего качественные показатели свойств поверхности или поверхностного слоя в заданной топономике деталей. При разработке критериального показателя эффективности технологии уже учитываются экономические, организационные и информационные аспекты конкретного производства.

Методом рекуррентного итеративного выбора из установленного множества по критериальному показателю выбирается оптимальный вариант технологического воздействия для конкретных условий, где учитываются имеющиеся квалифицированные кадры предприятия, наличие оборудования и инструментария, наличие расходных материалов, информационная обеспеченность, управленчес-

кий потенциал.

К рассмотрению множества вариантов и методов формирования требуемых свойств для функционально значимых поверхностей зубьев шестерен и колес включаются все без исключения способы улучшения характеристик поверхностей. Включаются безпленочные методы повышения качества поверхностей, адсорбционно-диффузионные методы изменения поверхностных свойств материала, а также методы нанесения тонких пленок на поверхности основного металла, из других материалов, обладающих отличными от основного материала качественными показателями. В формализованном виде запись выбора оптимального технологического воздействия из установленного множества при формировании свойств поверхностей зубьев колес можно записать в виде:

$$P_{A(j)} \prod_{i=1}^L \Pi_{X_\delta Y_\delta Z_\delta}^{q^i y^j z^f M^q H^p (x_k y_k z_k)} \in M_{T^U} \prod_{i=1}^L \Pi_{X_\delta Y_\delta Z_\delta}^{q^i y^j z^f M^q H^p (x_k y_k z_k)} \quad (1)$$

где индексация при обозначении поверхностей P и множества технологий M указывает на локализацию каждого отдельно взятого участка и зоны в системе координат участка, приведенного к системе координат детали, а также на характеристику функционально-ориентированного технологического воздействия, принятого к исполнению. Выражение (1) позволяет в дальнейшем весь комплекс технологии представлять в производстве в коротком формализованном виде, однозначно определяющем технологию.

На рис. 6 и в выражении (1) принята разработанная ранее система индексов [1 – 3]. ЧУЗМН – означает часть, участок детали, зона, макро-, микро- и нанозона участка детали,

$$M_{P_j}^{\Phi_i^{n(3_l, \text{Мак}_m, \text{Мик}_s, \text{Нан}_t)_{k_{S_j}}}} = \bigcup F_{P_j}^{3_i^{n(3_l, \text{Мак}_m, \text{Мик}_s, \text{Нан}_t)_{k_{S_j}}}} \bigcup F_{P_j}^{C_i^{n(3_l, \text{Мак}_m, \text{Мик}_s, \text{Нан}_t)_{k_{S_j}}}} \bigcup \dots \bigcup F_{P_j}^{B_i^{n(3_l, \text{Мак}_m, \text{Мик}_s, \text{Нан}_t)_{k_{S_j}}}} \quad (2)$$

В выражении (2) приведен пример расширенного представления множества M , записанного в правой части выражения (1) в обобщенном виде. Каждый член правой части выражения (2) отражает функционально-ориентированное технологическое воздействие, направленное на обеспечение вполне определенного свойства поверхности детали.

Выбранная по критерию эффективности технология для осуществления в производстве подлежит детальной разработке. Для этого необходимо назначить требуемое для реализации процесса оборудование, инструментарий и расходные материалы, а также установить определенную последовательность действий с назначенными режимами.

В общем случае при нанесении покрытий вакуумным ионно-плазменным методом требуется выполнить ряд операций и приемов:

1. очистка, обезжиривание заготовки перед установкой в камеру;
2. установка защитных экранов на зоны напыления с возможностью регулировки на каждом слое напыления для формирования границ участков и зон покрытия зубьев;
3. очистка напыляемых участков деталей в тлеющем разряде;
4. насыщение поверхностного слоя боковых поверхностей зубьев колес газами. Для зубьев шестерен и колес КПП можно применить азотирование;

локализованного в некоторой части и определенной в координатах $(x_k y_k z_k)$ s_k -ой системы координат элемента детали, например, система координат каждого зуба колеса, или в координатах $(X_{\mathcal{L}} Y_{\mathcal{L}} Z_{\mathcal{L}})$ общей системы координат шестерни или колеса. Верхние индексы при ЧУЗМН указывают на порядок требуемых свойств, предъявляемых к соответствующим элементам.

Символ M в правой части выражения (1) означает множество технологических воздействий T^U , объединяемых атрибутами A_j детали. Заглавный индекс A указывает на атрибуты детали, а индекс T – на технологическое воздействие, обеспечивающее достижение параметров атрибутов.

5. ионная бомбардировка боковых поверхностей зубьев выполняется для очистки поверхностей зубьев от загрязнений, окислов, нитридов и других пленок;

6. прогрев участков зубьев колес;

7. предварительное напыление покрытия, выполняющего роль связующего, перед напылением нитрид титанового покрытия;

8. напыление 1-го слоя абразивно-эрозионного покрытия, которое может осуществляться в разных вариантах исполнения материалов. Для боковых поверхностей зубьев шестерен и колес КПП покрытие может выполняться напылением следующих материалов: TiN; TiN₂; (Ti; Al)N; (Ti; Zr)N, а также другие варианты покрытий;

9. охлаждение детали после напыления 1-го слоя покрытия.

При этом структура технологического процесса для напыления 1-го слоя ФОР будет практически повторена при напылении каждого последующего слоя покрытия.

Заключение

Проведенные исследования позволили определить способы и возможности уравнивать ресурс работоспособности отдельных элементов и зон деталей, работающих в напряженных условиях, с общим ресурсом зубчатых колес за счет решения частных задач.

Приведены основные положения, позволяющие в процессе анализа детали выявить функционально значимые элементы и зоны зубчатых колес и шестерен КПП без разрыва потоков передаваемой мощности, работающих в более напряженных условиях эксплуатации в процессе переключения передач.

Группам зубьев колес, работающих в отличных от остальных зубьев венца условиях, установлены в соответствии функционально-ориентированные технологии и технологические воздействия. Эти воздействия составляют ограниченное множество, каждое из которых способно обеспечить техническое достижение положительного результата по формируемым свойствам боковых поверхностей зубьев колес.

Разработан и приведен алгоритм рекуррентного итеративного выбора оптимальной технологии для создания требуемых поверхностных свойств боковых поверхностей зубьев колес по критериальному показателю качества и эффективности технологии, в частности, технологии ионно-вакуумного напыления.

Приведен пример формализованной записи оптимальной выбранной технологии формирования поверхностных свойств деталей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Котляров, В.Б., Котляров, С.Б., Михайлов, А.Н. Предпосылки создания новой схемы механической зубчатой КПП с переключением без разрыва потока передаваемой мощности // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2020. – №2 (69). – С. 50-62.
2. Михайлов, А.Н., Котляров, Б.С., Котляров, В.Б., Котляров, С.Б. Проявление атрибутов деталей машин как факторов разработки функционально-ориентированных технологий // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2020. – №3 (70). – С. 22-33.
3. Михайлов, А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с.
4. Артоболевский, И.И. Теория механизмов и машин. – М.: Наука, 1975. – 546 с.
5. Гуревич, Ю.Е. Детали машин и основы конструирования. Исходные положения. Механические передачи: учебник. Изд-во: ТНТ, 2015. – 407 с.
6. Дьяков, И.Ф., Тарханов, В.И. Ступенчатые и планетарные коробки передач транспортных машин. Учебное пособие. – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – 143 с.
7. Суслов, А.Г. Функционально-ориентированные технологии обработки рабочих поверхностей деталей машин // Известия МГТУ МАМИ. – 2014. – Т. 2. – №1 (19). – С. 107-109.
8. Базров, Б.М. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 2005. – 736 с.
9. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей и их соединений / А.Г. Суслов [и др.] / Под общей ред. А.Г. Суслова. – М.: Машиностроение, 2006. – 448 с.
10. Ситников, А.А., Собачкин, А.В., Камышов, Ю.Н.

Проектирование технологических процессов изготовления и ремонта деталей с износостойкими покрытиями // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2019. – №2 (92). – С. 29-36.

11. Котляров, Б.С. Основы структурного синтеза модификаций зубьев цилиндрических колес и схем многоинструментальных роторных машин для их формообразования. Автореферат дис. ... канд. техн. наук. – Харьков, 1989. – 28 с.

12. Михайлов, Д.А., Пичко, А.П., Шейко, Е.А., Михайлов, А.Н. Методика и алгоритм синтеза технологического обеспечения комплексного повышения ресурса лопаток турбокомпрессора газотурбинной установки // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2019. – №2 (65). – С. 16-25.

13. Петухов, В.Ю., Гумаров, Г.Г. Ионно-лучевые методы получения тонких пленок. Учебно-методическое пособие для студентов физического факультета. – Казань, 2010. – 87 с.

REFERENCES

1. Kotlyarov, V.B., Kotlyarov, S.B., Mikhailov, A.N. Background of Creating a New Scheme of a Mechanical Geared Gear with Transmission Flow Power // Progressive Technologies and Systems of Mechanical Engineering. – 2020. – no.2 (69). – PP. 50-62.
2. Mikhailov, A.N., Kotlyarov, B.S., Kotlyarov, V.B., Kotlyarov, S.B. Manifestation of Attributes of Parts of Machines as Factors of development of Functionally Oriented Technologies // Progressive Technologies and Systems of Mechanical Engineering. – 2020. – no. 3 (70). – PP. 22-33.
3. Mikhailov, A.N. Fundamentals of the Synthesis of Functionally-oriented Engineering Technologies. – Donetsk: DonNTU, 2009. – 346 p.
4. Artobolevskiy, I.I. Theory of Mechanisms and Machines. – M.: Science, 1975. – 546 p.
5. Gurevich, Yu.E. Machine Parts and Design Basics. Initial Premises. Mechanical Transmissions. TNT Publishers, 2015. – 407 p.
6. Dyakov, I.F., Tarkhanov, V.I. Fixed-ratio and Planetary Gearboxes of Vehicles: manual. – Ulyanovsk, 2011. – 143 p.
7. Suslov, A.G. Functionally-oriented Technologies for Machining the Working Surfaces of Machine Parts. Izvestiya MGTU "MAMI". – 2014. – vol. 2. – no.1 (19). – PP.107-109.
8. Bazrov, B.M. Fundamentals of Mechanical Engineering Technology. – M.: Mechanical Engineering, 2005. – 736 p.
9. Technological Support and Improvement of the Operational Properties of Parts and Their Connections / A.G. Suslov et al. / under the general editorship of A.G. Suslov. – M.: Mechanical Engineering, 2006. – 448 p.
10. Sitnikov, A.A., Sobachkin A.V., Kamyshov Yu.N. Design of Engineering Processes for Manufacturing and Repair of Parts with Wear-resistant Coatings // Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering. – 2019. – no.2 (92). – PP. 29-36.
11. Kotlyarov, B.S. Fundamentals of Structural Synthesis of Cylindrical Wheels Teeth Modifications and Schemes of Multi-tool Rotary Machines for their Shaping. Extended abstract of Can. Sc. Tech. Thesis. – Kharkov, 1989. – 28 p.
12. Mikhailov, D.A., Pichko, A.P., Sheyko, E.A., Mikhailov, A.N. Methodology and Algorithm of Synthesis of Technological Providing of Complex Increase of Resource of Shoulder-blades of Turbo-compressor of Gas-turbine Installation // Progressive Technologies and Systems of Mechanical Engineering. – 2019. – no.2 (65). – PP. 16-25.
13. Petukhov, V.Yu., Gumarov, G.G. Ion-beam Methods for Producing Thin Films. – Kazan, 2010. – 87 p.

Рецензент д.т.н.
Владимир Владиленович Гусев