

## Секция 3: Материаловедение, механика и обработка металлов в машиностроении

2. Балакашин Б.С. Теория и практика технологии машиностроения : учебник. М.: Машиностроение, 1982. Кн.1. 288 с.
3. Банит Ф.Г. Механическое оборудование цементных заводов: учебник для техникумов пром-сти строит. Материалов/ Ф.Г. Банит, О.А. Нивижский. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1975. 318 с.: ил.
4. Банит Ф.Г. Эксплуатация, ремонт и монтаж оборудования заводов строительных материалов: учебник для учащихся техникумов/ Ф.Г. Банит, Б.И. Якубович. М.: Стройиздат, 1964. 235 с. с черт.
5. Боганов А.И. Механическое оборудование цементных заводов: учеб. пособие для техн. специальностей хим. технол. вузов и фак. М.: Машгиз, 1961. 384 с. с черт.
6. Несвижский О.А. Долговечность быстроизнашивающихся деталей цементного оборудования/ О.А. Несвижский. М.: Машиностроение, 1968. 223 с.
7. Сапожников М.Я. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций: учебник для спец. «Механ. оборудование предприятий строит. материалов, изделий и конструкций» вузов, М.: Высшая школа, 1971.
8. Технология машиностроения (специальная часть) . Гусев А.А., Ковальчук Е.Р., Колесов И.М. и др. Учебник для машиностроительных специальностей вузов, М.: Машиностроение.1986. 480 с.
9. Технология изготовления машин учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подгот. дипломир. специалистов "Конструк.-технол. обеспечение машинно-строит. пр-в" Ю. А. Бондаренко, М. А. Федоренко ; Федер. агентство по образованию, Белгор. гос. техн. ун-т им. В. Г. Шухова.
10. Федоренко М.А. Конструктивно – технологические методы и способы восстановления работоспособности цементных вращающихся печей: монография/ М.А. Федоренко.- Белгород: Изд-во БГТУ, 2007. 195 с.
11. Федоренко М.А. Энергосберегающие методы восстановления работоспособности оборудования промышленности строительных материалов: монография/ М.А. Федоренко, Ю.А. Бондаренко, Т.М. Санина. – Белгород: Изд – во БГТУ, 2011. 162 с.
12. Ходоров Е.И. Печи цементной промышленности. 2-е издание, дополненное и перераб. Л.: Стройиздат. Ленинградское отделение, 1968. 456 с.
13. Федоренко М.А., Аулов В.Г., Шевцов А.П. Анализ причин перерасхода энергоносителей в цементной промышленности // Молодежь и научно-технический прогресс: Сборник докладов междунар. науч. практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых/ Сост. Т.В. Абрамова, А.П. Гаевой, В.М. Уваров и др.- Губкин ООО «Айкью». 2011. Часть 1. С. 283-284.
14. Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А., Санина Т.М. Энергосберегающие методы восстановления работоспособности оборудования промышленности строительных материалов (монография) Белгород: Изд-во БГТУ. 2011 г. 162 с.
15. Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А., Пелипенко Н.А., Бондаренко Е.А. Модернизация цементной вращающейся печи (статья) Промышленность строительных материалов. Экспресс-обзор. Защита от коррозии и эксплуатационная долговечность строительных конструкций и оборудования. Сер. 15. вып.1. М.:ВНИИЭСМ, 1992.
16. Федоренко М.А. Цементная вращающаяся печь с рекуператорными холодильниками/ М.А. Федоренко, Ю.А. Бондаренко// Патент РФ №71745. Опубликовано: 20.03.2008 г.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ СВОБОДНОГО ВНУТРЕННЕГО ПРОСТРАНСТВА  
ТРАНСМИССИИ ГЕОХОДА С ГИДРОЦИЛИНДРАМИ**

*М.Ю. Блащук, к.т.н, доц., А.А. Дронов, асс.*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

*Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

*E-mail: mby.tpu@gmail.com*

Геоходы представляют новый класс горнопроходческой техники, с оригинальными техническими решениями и принципом работы [1]. Особенностью компоновки геохода является наличие двух цилиндрических секций, одна из которых – головная совершает вращательное движение относительно стабилизирующей хвостовой секции. Привод вращения головной секции должен разме-

щаться внутри геохода на периферии участка сопряжения секций. Одним из главных требований к таким приводам является обеспечение внутри геохода свободного пространства для транспортирования отбитой горной массы, размещения других систем, а также прохода людей для выполнения операций ремонта и обслуживания [1–3]. Ранее были рассмотрены различные варианты приводов вращения головной секции [4], в наибольшей степени требованиям к таким приводам удовлетворяют трансмиссии вращения с гидроцилиндрами размещенными по хордам [5].

При расположении гидроцилиндров по хордам окружности в пространстве между оболочкой головной секции и обечайкой хвостовой секции [6] на возможный габарит внутреннего пространства (диаметр наружной поверхности обечайки хвостовой секции) будут оказывать влияние принятые конструктивные параметры элементов трансмиссии геохода – геометрические параметры гидроцилиндров, параметры их размещения [7]. Схема к определению размеров внутреннего пространства приведена на рисунке 1.

Для обеспечения отсутствия пространственных пересечений элементов гидроцилиндров с оболочкой головной и обечайкой хвостовой секций, между гидроцилиндром и соответствующими оболочками должен оставаться гарантированный зазор. При этом наиболее важным является зазор, образующийся между корпусом гидроцилиндра и наружной поверхностью обечайки хвостовой секции, который и будет во взаимосвязи с размерами  $D_{уст.шт}$ ,  $D_{уст.гц}$ ,  $D_{гц}$  определять максимально возможный диаметр обечайки хвостовой секции, а, соответственно и габарит внутреннего пространства.

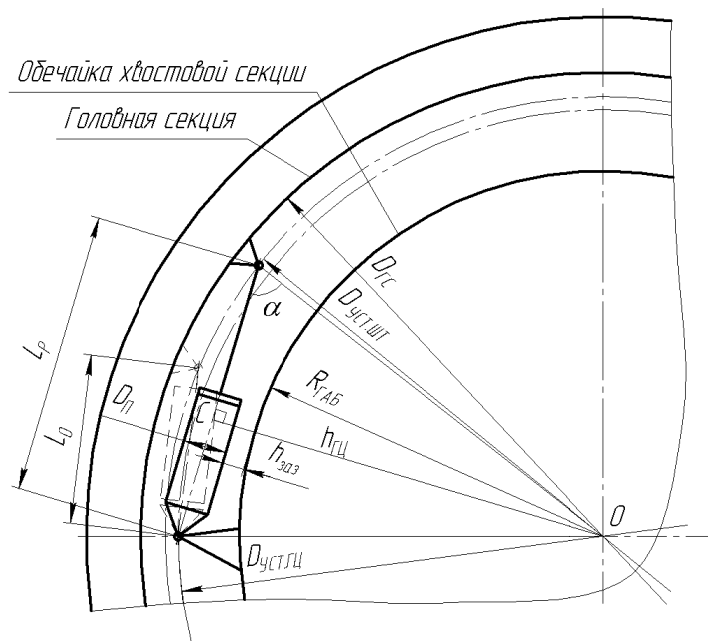


Рис.1. Расчетная схема к определению габарита внутреннего пространства

На рисунке 1 для конструктивного условия  $D_{уст.шт} \approx D_{уст.гц}$  (когда цапфы корпуса и штока гидроцилиндра располагаются примерно на одной окружности) по мере выдвижения штока, корпус гидроцилиндра наклоняется внутрь секции, максимально приближаясь к её продольной оси в конечном положении выдвижения.

Наименьшее (наиближайшее) расстояние от продольной оси головной секции (центра  $O$ ) до корпуса гидроцилиндра будет лежать на перпендикуляре  $OC$  к продольной оси гидроцилиндра (рисунок 1). Тогда радиус наружной поверхности обечайки хвостовой секции  $R_{ГАБ}$  с учетом необходимого зазора  $h_{заз}$  будет определяться выражением

$$R_{ГАБ} = h_{ГЦ} - \frac{D_{пл}}{2} - h_{заз}, \quad (1)$$

где  $h_{ГЦ}$  – кратчайшее расстояние (перпендикуляр) от оси секции до оси гидроцилиндра, м;  
 $D_{П}$  – диаметр поршня, м.

Величину расстояния  $h_{ГЦ}$  можно определить из выражения [8]:

$$h_{ГЦ} = \frac{D_{УСТ.ШТ}}{2} \cdot \sqrt{1 - \left( \frac{\left( \frac{D_{УСТ.ШТ}}{2} \right)^2 + L_P^2 - \left( \frac{D_{УСТ.ГЦ}}{2} \right)^2}{D_{УСТ.ШТ} \cdot L_P} \right)^2}, \quad (2)$$

где  $D_{УСТ.ШТ}$  – диаметр окружности вращения цапфы штока на головной секции, м;  $D_{УСТ.ГЦ}$  – диаметр окружности установки цапф корпусов гидроцилиндров на обечайке хвостовой секции, м;  $L_P$  – расстояние между цапфами корпуса и штока гидроцилиндра при максимальном выдвигании штока.

Подставив в (1) выражение  $h_{ГЦ}$  из (2) получим

$$R_{ГАБ} = \frac{D_{УСТ.ШТ}}{2} \cdot \sqrt{1 - \left( \frac{\left( \frac{D_{УСТ.ШТ}}{2} \right)^2 + L_P^2 - \left( \frac{D_{УСТ.ГЦ}}{2} \right)^2}{D_{УСТ.ШТ} \cdot L_P} \right)^2} - \frac{D_{П}}{2} - h_{ЗАЗ}, \quad (3)$$

Учитывая, что толщина стенки корпуса гидроцилиндра может иметь разное значение, в зависимости от конструкции гидроцилиндра и размера поршня  $D_{П}$ , эти параметры должны быть учтены в размере зазора  $h_{ЗАЗ}$ . Поэтому удобнее выразить расстояние от оси гидроцилиндра до наружной поверхности обечайки в размере, связанном с диаметром поршня  $D_{П}$ . Тогда выражение (3) примет вид

$$R_{ГАБ} = \frac{D_{УСТ.ШТ}}{2} \cdot \sqrt{1 - \left( \frac{\left( \frac{D_{УСТ.ШТ}}{2} \right)^2 + L_P^2 - \left( \frac{D_{УСТ.ГЦ}}{2} \right)^2}{D_{УСТ.ШТ} \cdot L_P} \right)^2} - (0,75...1)D_{П}, \quad (4)$$

При определенных соотношениях размеров  $D_{УСТ.ШТ}$ ,  $D_{УСТ.ГЦ}$  расстояние  $h_{ГЦ}$ , определяемое по выражению (2) может становиться соизмеримым или даже меньше размеров  $\frac{D_{УСТ.ШТ}}{2}$ ,  $\frac{D_{УСТ.ГЦ}}{2}$ . В

таком случае  $R_{ГАБ}$  будет определяться размерами  $\frac{D_{УСТ.ШТ}}{2}$  или  $\frac{D_{УСТ.ГЦ}}{2}$  с учетом необходимого зазора  $h_{ЗАЗ}$  (рисунок 1). Для случаев равенства  $h_{ГЦ} = \frac{D_{УСТ.ГЦ}}{2}$  или  $h_{ГЦ} = \frac{D_{УСТ.ШТ}}{2}$  по теореме Пифагора можно найти

$$h_{ГЦ.КР} = \frac{D_{УСТ.ГЦ}}{2} = \sqrt{\frac{D_{УСТ.ШТ}^2}{4} - L_P^2}, \quad (5)$$

$$h_{ГЦ.КР} = \frac{D_{УСТ.ШТ}}{2} = \sqrt{\frac{D_{УСТ.ГЦ}^2}{4} - L_P^2}, \quad (6)$$

Зависимость габарита внутреннего пространства (рисунок 2) от количества гидроцилиндров показывает, что при увеличении количества гидроцилиндров от 5 до 14 габарит внутреннего пространства увеличивается от 66% до 91% наружного диаметра геохода.

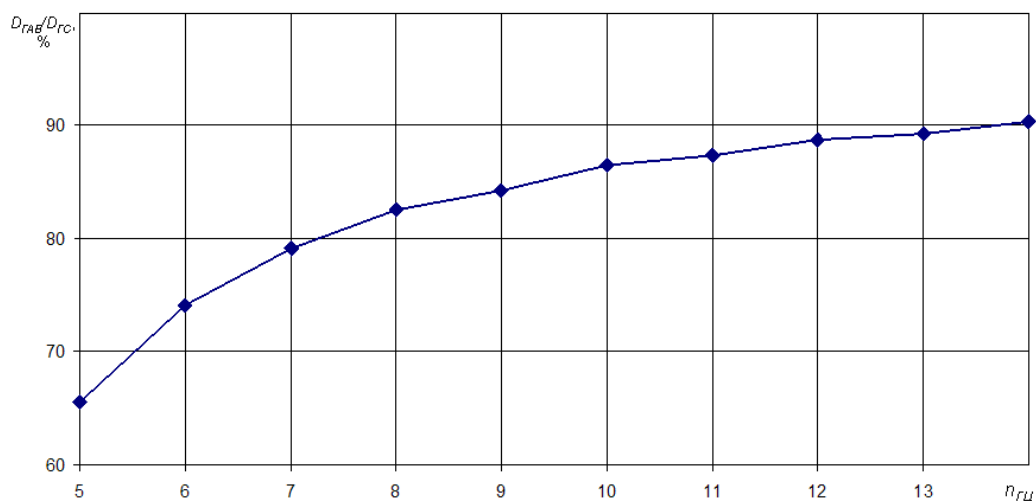


Рис. 2. Габарит внутреннего пространства, выраженный в % от диаметра головной секции  $D_{ГС}$  в зависимости от количества гидроцилиндров  $n_{ГЦ}$ .

Более точное влияние принятых размеров гидроцилиндров ( $D_{П}, L_{P}$ ) и их количества ( $n_{ГЦ}$ ) на величину габарита свободного пространства внутри геохода можно получить из зависимостей геометрических параметров размещения гидроцилиндров трансмиссии геохода (рисунок 3) [9].

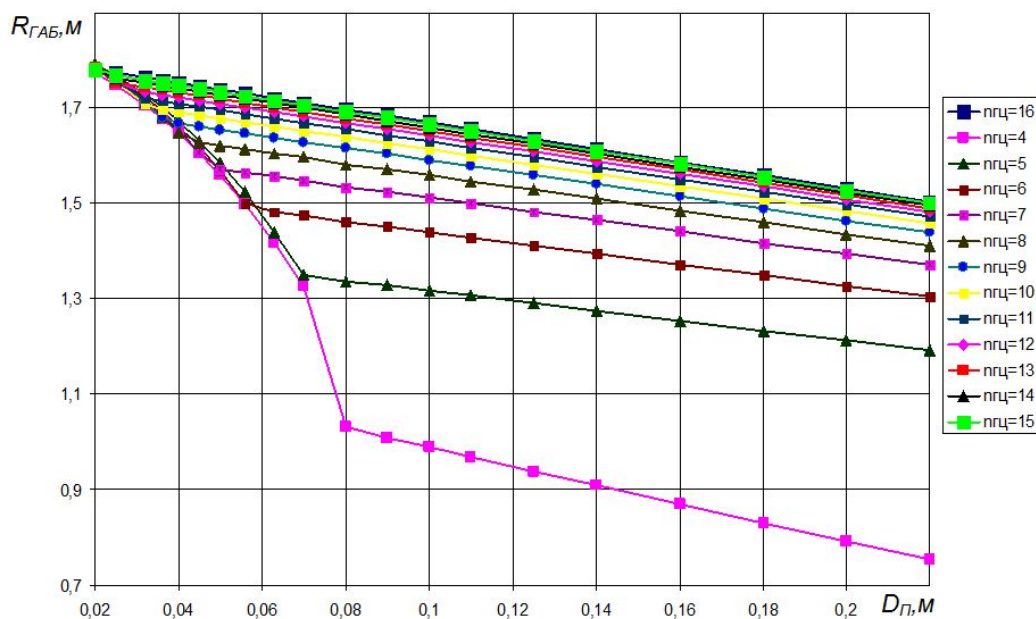


Рис. 3. Зависимость расстояния  $R_{ГАБ}$  от количества гидроцилиндров  $n_{ГЦ}$ , размещенных по хордам внутри секций для ряда диаметров поршня  $D_{П}$ .

Здесь необходимо отметить, что данные зависимости построены для одного диаметра геохода ( $D_{ГС} = 3,7$  м), а размеры гидроцилиндров [10,11] приняты из соображений реализации необходимой величины вращающего момента [12,13]. Также зависимость (рисунок 2) будет справедлива и для других диаметров геохода, т.к. при изменении его размеров, параметры трансмиссии габарита изменятся практически пропорционально, о чем свидетельствуют параметры трансмиссии ( $R_{ГАБ}$ ), полученные для геоходов следующего типоразмерного ряда (Таблица 1).

Таблица 1

Геометрические параметры трансмиссии геогодов и габарита  
свободного пространства для размерного ряда проходческих щитов

$D_{ГС}=2,1$ м; $M_{ВР.ТФ}=0,37$ МН·м	$n_{ГЦ}$ , шт							
	4	5	6	7	8	10	12	14
$D_{П}$ , м	0,125	0,09	0,08	0,07	0,063	0,056	0,05	0,045
$L_{P}$ , м	1,2	1,05	0,9	0,78	0,7	0,56	0,47	0,4
$R_{ГАБ}$ , м	0,49	0,66	0,73	0,79	0,83	0,87	0,90	0,92
$D_{ГАБ}/D_{ГС}$ , %	47,10	62,80	69,89	75,31	78,68	82,72	85,36	87,33
$D_{ГС}=2,6$ м; $M_{ВР.ТФ}=0,73$ МН·м								
$D_{П}$ , м	0,16	0,125	0,1	0,09	0,08	0,07	0,063	0,056
$L_{P}$ , м	1,5	1,27	1,1	0,96	0,85	0,69	0,58	0,5
$R_{ГАБ}$ , м	0,59	0,79	0,91	0,97	1,02	1,07	1,11	1,13
$D_{ГАБ}/D_{ГС}$ , %	45,31	60,65	70,00	74,73	78,52	82,62	85,16	87,23
$D_{ГС}=3,2$ м; $M_{ВР.ТФ}=1,43$ МН·м								
$D_{П}$ , м	0,18	0,16	0,125	0,1	0,09	0,08	0,07	0,063
$L_{P}$ , м	1,86	1,55	1,36	1,2	1,07	0,86	0,72	0,62
$R_{ГАБ}$ , м	0,77	0,96	1,11	1,22	1,27	1,34	1,38	1,41
$D_{ГАБ}/D_{ГС}$ , %	48,17	59,85	69,57	76,25	79,61	83,51	86,31	88,14
$D_{ГС}=4,1$ м; $M_{ВР.ТФ}=4,43$ МН·м								
$D_{П}$ , м		0,2	0,18	0,16	0,125	0,1	0,09	0,08
$L_{P}$ , м		2	1,7	1,5	1,35	1,1	0,92	0,8
$R_{ГАБ}$ , м		1,24	1,38	1,49	1,61	1,72	1,77	1,81
$D_{ГАБ}/D_{ГС}$ , %		60,30	67,51	72,55	78,58	83,84	86,29	88,20
$D_{ГС}=5,6$ м; $M_{ВР.ТФ}=10,7$ МН·м								
$D_{П}$ , м					0,22	0,18	0,16	0,16
$L_{P}$ , м					1,75	1,43	1,1	1
$R_{ГАБ}$ , м					2,09	2,25	2,34	2,35
$D_{ГАБ}/D_{ГС}$ , %					74,64	80,25	83,58	83,95

## Литература.

1. Аксенов В.В., Хорешок А.А., Ефременков А.Б., Казанцев А.А., Бегляков В.Ю., Вальтер А.В. Создание нового инструментария для освоения подземного пространства // Горная техника. 2015. № 1(15). С. 24–26.
2. Ефременков А.Б., Аксенов В.В., Блащук М.Ю., Тимофеев В.Ю. Разработка требований к трансмиссии геогодов // Известия вузов. Горный журнал. 2009. № 8. С. 101–103.
3. Блащук М.Ю., Дронов А.А. Обзор опорно-поворотных устройств горной и строительной техники в целях создания узла сопряжения секций геогода // Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности: труды Международной научно-практической конференции, Кемерово. 2013. С. 97–100.
4. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Тимофеев В.Ю., Блащук М.Ю. Разработка и анализ возможных вариантов гидро- и электропривода в трансмиссии геогода // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2010. № 3. С. 7–14.
5. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Блащук М.Ю., Тимофеев В.Ю. Обзор трансмиссий горной техники // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. Т. 3, № 12. С. 55–66.
6. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Блащук М.Ю., Тимофеев В.Ю. Разработка вариантов компоновочных решений гидравлической трансмиссии геогода // Инновационные технологии и экономика в машиностроении Сборник трудов Международной научно-практической конференции с элементами научной школы для молодых ученых. 2010. С. 461–466.

7. Блащук М.Ю., Дронов А.А., Михеев Д.А. Особенности работы и требования к узлу сопряжения секций геодохода // Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности: сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции. Кемерово: Институт угля СО РАН, 2014. С. 104–106.
8. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Блащук М.Ю., Рыльцева Я.Г. Определение силовых параметров трансмиссии геодохода с гидроприводом // Вестник науки Сибири. 2012. № 1 (2). С. 365–371.
9. Аксенов В.В., Хорешок А.А., Нестеров В.И., Блащук М.Ю. Определение геометрических параметров размещения гидроцилиндров трансмиссии геодохода // Вестник КузГТУ. 2012. № 4 (92). С. 17–20.
10. Buyalich G.D., Anuchin A.V., Dronov A.A. The Numerical Analysis of Accuracy of Hydraulic Leg Cylinder in Modeling Using Solid Works Simulation // Appl. Mech. Mater. 2015. В. 770. С. 456–460.
11. Буялич Г.Д., Анучин А.В., Дронов А.А. Обоснование параметров конечно элементной модели для расчета силовых цилиндров в solidworkssimulations // Сборник трудов Международной научно-практической конференции. Юрга: ЮТИ ТПУ: Изд-во ТПУ, 2014. С. 161–165.
12. Efremenkov A.B., Aksenov V.V., Blashchuk M.Yu. Force parameters of geohod transmission with hydraulic drive in various movement phases. IEEE, 2012. С. 1–5.
13. Аксенов В.В., Хорешок А.А., Нестеров В.И., Блащук М.Ю. Силовые параметры трансмиссии геодохода с гидроприводом // Вестник Кузбасского Государственного Технического Университета. 2012. № 4 (92). С. 21–24.

#### **МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МАГНЕТРОННОГО СИНТЕЗА НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПЛЕНОК AlTiN НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕМ ИНСТРУМЕНТЕ**

*Т.Д. Кожина, докт. техн. наук*

*Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьева,  
г. Рыбинск*

*E-mail: proectnir@rgata.ru*

Современные наноструктурированные покрытия повышают износостойкость инструмента, что позволяет увеличить срок его службы и производить обработку металлов на более высоких скоростях. Улучшение технических характеристик (твердость, вязкость) металлорежущего инструмента с нанокompозитными тонкими пленками приводит к существенному увеличению производительности труда и снижению себестоимости изготавливаемой продукции.

Применение современных защитных тонких пленок позволяет использовать инструмент с напoкoкpытиями и осуществлять его переточку до 12 раз.

Наибольший потенциал для повышения эксплуатационных свойств металлорежущего инструмента, таких как твердость  $H_V$ , прочность  $\sigma_u$ , теплостойкость  $T_{II}$ , стойкость к истиранию  $T_u$ , окислительная стойкость  $T_{ок}$  заключается в правильном выборе и расчете свойств химического состава и структуры покрытия для конкретных условий работы, а так же совершенствовании технологии формирования наноструктурированных износостойких покрытий. Эксплуатационные свойства металлорежущего инструмента в основном определяются свойствами наносимых тонких пленок, поскольку именно они взаимодействуют с обрабатываемой поверхностью.

Одним из способов решения проблемы получения нанокompозитных покрытий с заданными физико-механическими характеристиками, такими как инденторная твердость  $H$ , модуль упругости  $E$ , степень адгезии покрытия к подложке  $HF$  и другие, является совершенствование физико-технических процессов их синтеза. Поэтому лидеры по производству металлорежущего инструмента, такие как *Sandvik Coromant, Balzers Aerlicon, Iscar, Mitsubishi, Dormer, Walter* и другие, ведут активные разработки в данном направлении.

В настоящее время наиболее перспективными методами нанесения покрытий являются вакуумные ионно-плазменные технологии. Среди них можно выделить метод магнетронного распыления, поскольку использующийся в нем дрейфовый ток электронов в скрещенных электрическом и магнитном полях позволяет обеспечить однородность наносимых покрытий на значительных площадях распыления, а также сформировать мелко- и супермелкодисперсные структуры.

Одной из главных проблем нанесения тонкопленочных покрытий на металлорежущий инструмент методом магнетронного распыления является невозможность точно спрогнозировать их состав и структуру, поскольку существует множество факторов, влияющих на свойства получаемого покрытия. Одним из наиболее значимых параметров технологического процесса синтеза нанокompозитного покрытия является ионная энергия распыляемых атомов.