

РЕСПУБЛИКАНСКИЙ

межотраслевой  
производственно-практический

ЖУРНАЛ

ИНЖЕНЕР-  
МЕХАНИК

*Счастливого Рождества  
и Нового года!*



№ 4 (69)

сентябрь-декабрь  
2015

*В Стокгольме белорусской писательнице Светлане Алексиевич король Швеции, Карл XVI Густав вручил Нобелевскую премию по литературе за 2015 год.*



Вручение Нобелевских премии в области физики, химии, экономических наук, физиологии и медицины, а также литературы прошло 10 декабря, в Международный день прав человека. Это годовщина смерти основателя награды — шведского изобретателя Альфреда Нобеля.



# ИНЖЕНЕР- МЕХАНИК

№ 4 (69)  
сентябрь – декабрь  
2015

Республиканский межотраслевой производственно-практический журнал  
Издается с июля 1998 года  
Выходит один раз в три месяца

Учредитель: Общественное объединение  
«Белорусское общество инженеров-механиков»  
(ОО «БОИМ»)

Главный редактор академик С.А. Астапчик

Редакционная коллегия: Андреев М.А., Дашков В.Н.,  
Дубовик Д.А., Дюжев А.А., Захарик А.М.,  
Колпашиков В.Л., Крупец Л.Н., Лягушев Г.С.,  
Мариев П.Л., Медвецкий Е.И., Мелешко М.Г.,  
Чижик С.А.

Адрес редакции:  
220141, Минск, ул. Купревича, 10 (ранее Жодин-  
ская, 4)  
тел./ факс 203-88-80; 226-73-36  
E-mail: mail@boim.by  
Свидетельство о регистрации № 1132 от 21.04.1998

Подписной индекс **00139**

Компьютерная верстка Н.В. Райченко

Подписано в печать 23.12.2015.  
Формат 60×84/8. Бумага офсетная.  
Гарнитура «Таймс». Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 5,6. Уч.-изд. л. 4,7.  
Тираж 200 экз. Заказ №470.  
Цена номера договорная.

Отпечатано с оригинал-макета заказчика в ГНУ  
«Физико-техническом институте НАН Беларуси».  
Лицензия ЛП № 02330/152 от 14.04.2014 г.  
220141, г. Минск, ул. Купревича, 10.

## СОДЕРЖАНИЕ

### **Материалы конференции «Современные методы и технологии создания и обработки материалов»**

Исследование физико-механических свойств и проведение производственных испытаний рубильных ножей, изготовленных по импортозамещающим технологиям.....2

Лазерная модификация спеченных дисперсных порошков на основе железа.....9

Ионный источник для низкоэнергетичной имплантации с изменяющимся выходным сечением.....13

### **Разработки ученых и специалистов**

Термохимическая технология и оборудование переработки нефтяных отходов.....16

Развитие объемного гидравлического привода экскаватора.....23

Алгоритм оценивания инструментальной составляющей погрешности средств измерений.....30

Послойное формование изделий из листовых материалов с использованием раскройного оборудования.....33

### **Патентуем сами**

Тренажеры для оздоровления и спорта.....39

### **Будет интересно**

О проблемных вопросах в лифтовом хозяйстве.....42

### **Из истории авиации**

Труженик неба.....43

УДК 621.9; 674.05

# ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ПРОВЕДЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ РУБИЛЬНЫХ НОЖЕЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ПО ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩИМ ТЕХНОЛОГИЯМ

<sup>1</sup>А.М. Милюкова, <sup>1</sup>Н.В. Бурносков, <sup>2</sup>В.В. Цуран

<sup>1</sup>Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Учреждение образования «Барановичский государственный университет», г. Барановичи, Беларусь

*Рубильные ножи подвергаются большим ударным нагрузкам и поэтому должны обладать оптимальным сочетанием твердости и вязкости. В качестве базовых выбраны марки сталей 6ХВ2С и У8А, которые в результате ранее проведенных исследований структуры и механических свойств различных легированных сталей показали наилучшие результаты. Были изготовлены опытные партии рубильных ножей для проведения производственных испытаний. Результаты проведения производственных испытаний рубильных ножей на ОАО «Минскдрев» позволяют рекомендовать их к промышленному использованию на соответствующих деревообрабатывающих предприятиях Республики Беларусь.*

*Chipping knives are subject to greater impact and therefore should have the optimum combination of hardness and toughness. As a base selected steels and 6HV2S U8A that as a result of previous studies of the structure and mechanical properties of various alloy steels, showed the best results. Were make experimental batches chipper knives for production testing. The results of the testing of chipper knives at JSC "Minskdrrev" made of steel and 6HV2S U8A allow them to recommend to the industrial use of wood on the relevant enterprises of the Republic of Belarus.*

## Введение

Организация производства отечественных ножей для рубки щепы на соответствующих предприятиях Республики Беларусь имеет большое практическое значение для деревообрабатывающей промышленности, так как в настоящее время почти вся номенклатура используемых ножей для импортных рубильных машин приобретается за рубежом, на что тратятся крупные суммы валютных средств.

В Физико-техническом институте НАН Беларуси и Барановичском государственном университете разработаны прогрессивные импортозамещающие технологические процессы изготовления ножей для рубки технологической щепы, применяемой в гидролизно-целлюлозно-бумажном и мебельном производстве.

Одним из препятствий для организации производства рубильных ножей на белорусских предприятиях является отсутствие необходимых знаний и опыта для проведения качественной термической (ТО) или термомеханической обработки (ТМО) легированных инструментальных сталей, обеспечивающей необходимые эксплуатационные свойства изделий (высокие показатели твердости, ударной вязкости, периода стойкости и др.). В связи с этим производителям технологической щепы приходится приобретать импортные ножи за рубежом.

Для разработки технологий изготовления рубильных ножей были исследованы образцы импортных ножей с целью определения химического состава материала, из которого они изготовлены, структуры, механических свойств изделий. Осуществлен выбор наиболее доступных анало-

гичных марок сталей, а затем разработаны эффективные режимы ТО и ТМО, обеспечивающие заданные эксплуатационные характеристики ножей.

### Исследования влияния режимов термической и термомеханической обработки на механические свойства и структуру образцов из различных марок сталей

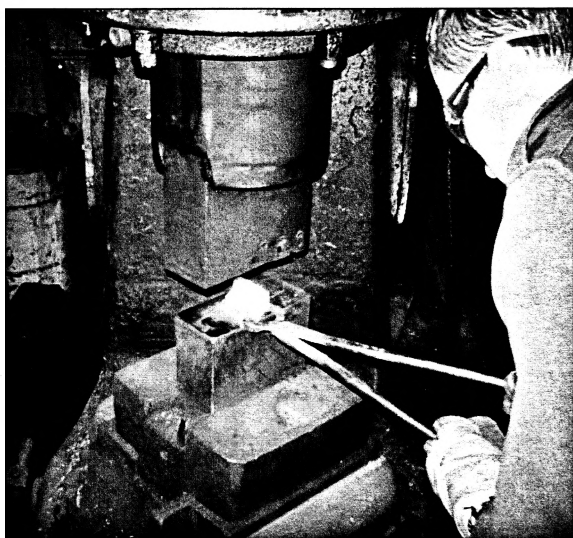
При ТМО стали повышение прочности объясняется тем, что в результате деформации аустенита происходит дробление его зерен. При последующей закалке из такого аустенита образуются более мелкие пластинки мартенсита, что положительно сказывается на пластических свойствах и вязкости стали.

Целью данной работы было определение наиболее подходящих марок сталей для изготовления отечественных рубильных ножей с использованием метода ТМО. Использовались образцы из следующих марок сталей, которые по химическому составу и свойствам аналогичны импортным сталям [1]: X12MФ, У8А, 9ХС, ХВГ, 65С2ВА, 6ХВ2С.

При получении опытных образцов в данной работе применялись как ТО, так и ТМО. Опытные образцы изготавливались на оборудовании завода ОАО «БААЗ» г. Барановичи. Образцы исследуемых сталей подвергались нагреву выше точки С3, а именно: для X12MФ – 1030 °С; для У8А – 790 °С; для 9ХС – 870 °С; для ХВГ – 820 °С; для 65С2ВА – 850 °С, для 6ХВ2С – 850 °С, с последующей деформацией на молоте пневматическом ковочном модели МВ 412 (рис. 1) и охлаждением в масле марки И20А, или из воды на масло (сталь У8А) (табл. 1).

Далее заготовки подверглись низкотемпературному отпуску, а именно для X12MФ – 180 °С; для У8А – 150 °С; для 9ХС – 150 °С; для ХВГ – 150 °С; для 65С2ВА – 150 °С; 6ХВ2С – 150 °С, с выдержкой 150 мин. в печи шахтной отпускной термической ПН-32.

Для проведения сравнительных испытаний были изготовлены образцы из тех же марок сталей без использования ТМО. Они подвергались традиционным режимам термической обработки (табл. 1).



а



б

Рис. 1. Получение опытных образцов с применением термомеханической обработки:

а – процесс деформации заготовки на пневматическом ковочном молоте;

б – образец заготовки, полученной при ковке

Для проверки способности материала сопротивляться ударным нагрузкам и выявления склонности к хрупкому разрушению проводились испытания на ударную вязкость с использованием маятникового копра модели ИО 5003-0,3 с номинальным запасом энергии в 300 Н·м. (ЗАО «Атлант БСЗ» г. Барановичи). В табл. 2 представлены результаты проведенных испытаний.

При сравнении результатов испытаний, приведенных в табл. 2 можно сделать вывод, что для сталей, подвергнутых ТМО, ударная вязкость повышается в 1,7–2,0 раза, причем твердость при этом сохраняется, либо несущественно снижается на 1–3 единицы HRC по сравнению с образцами, подвергнутыми только термообработке (табл. 3).

Табл. 1

Режимы термической обработки образцов

У8А	ХВГ	9ХС	Х12МФ	65С2ВА	6ХВ2С
Закалка – оборудование СВС (соляная электрованна: кальций хлористый технический 43–47 % ГОСТ 450; соль поваренная 52–55 % ГОСТ 13830);					
790–800 °С	820–850 °С	850–880 °С	подогрев 650–700 °С закалка 1000–1030 °С	850–870 °С	850–880 °С
Нагрев и выдержка 5–8 мин					
Вода (из воды на масло)	масло	масло	масло	масло	масло
Отпуск ПН-32					
150 °С	150 °С	150 °С	180 °С	150 °С	150 °С
150 мин	150 мин	150 мин	150 мин	150 мин	150 мин

Табл. 2

Результаты испытаний образцов на ударную вязкость

№ образца	Марка стали	Работа, затрачиваемая на разрушение образца; Дж/см <sup>2</sup>	
		после ТО	после ТМО
1	Х12МФ	10,5	16,5
2		12,8	19,9
1	У8А	6,0	12,9
2		8,5	10,7
1	9ХС	4,7	4,5
2		5,6	4,4
1	ХВГ	9,8	9,2
2		11,5	12,5
1	65С2ВА	12,6	27,3
2		14,8	17,4
1	6ХВ2С	13,2	23,8
2		15,1	28,4

Табл. 3

Результаты измерения твердости опытных образцов

Марка стали	Твердость образцов с применением ТО (HRC)	Твердость образцов с применением ТМО (HRC)
Х12МФ	57-59	56-57
У8А	58-60	56-59
9ХС	60-61	54-56
ХВГ	58-60	55-56
65С2ВА	58-60	56-58
6ХВ2С	58-60	55-57

Причина повышения ударной вязкости при ТМО заключается в том, что из деформированного аустенитного зерна образуется более мелкие пластины мартенсита. В какой-то степени на упрочнение влияет и то, что при деформации дробится блочная структура аустенита и углерод выделяется в виде дисперсных карбидов [1–3].

Во всех случаях ТМО эти превращения происходят вследствие деформации.

Из результатов проведенных исследований физико-механических свойств установлено, что наилучшие результаты показали образцы из сталей, подвергнутых ТМО, в частности – 65С2ВА (ударная вязкость 17,4–27,3 Дж/см<sup>2</sup>, твердость

HRC 55–57), 6ХВ2С (ударная вязкость 23,8–28,4 Дж/см<sup>2</sup>, твердость HRC 55–57).

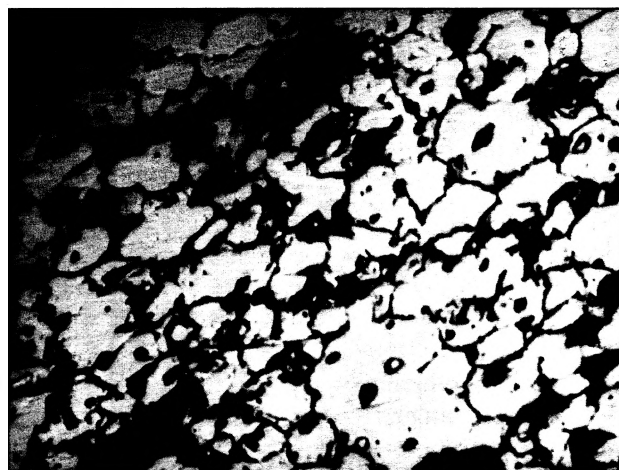
Проведены исследования микроструктур образцов исследуемых марок сталей. В качестве примера на рис. 2 приведены микроструктуры двух марок стали (из-за ограниченного объема статьи) после ТО и ТМО, из которых видно, что в результате ТМО структура приобретает более однородный мелкодисперсный характер.

Кроме испытаний на ударную вязкость были проведены испытания стальных образцов на растяжение и на трехточечный изгиб. В результате проведенных испытаний на растяжение [4], можно сделать вывод, что ТМО значительно повышает временное сопротивление  $\sigma_b$  и относительное удлинение образцов по сравнению с ТО. В некоторых образцах значение  $\sigma_b$  увеличилось до 2 раз. Однако, при максимальном увеличении вре-

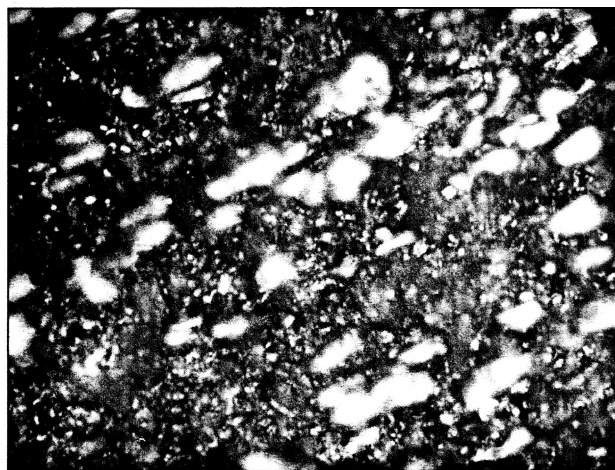
менного сопротивления (в 1,5–2 раза) разрушение имело хрупкий характер ( $\delta < 1$ ). В то время как при увеличении значений  $\sigma_b$  в 1,3–1,5 раза разрыв носил более пластичный характер ( $\delta = 6–8$ ). Для изготовления рубильных ножей этот параметр, характеризующий пластические свойства стали, является важным, т.к. обеспечивает прочность ножей в условиях ударных нагрузок. При слишком высокой твердости в лезвии ножа в процессе работы образуются микротрещины и сколы, что недопустимо.

Испытания на трехточечный изгиб [5] проводились в ГНУ «Институт порошковой металлургии» (г. Минск) на универсальной испытательной машине Н 150КУ.

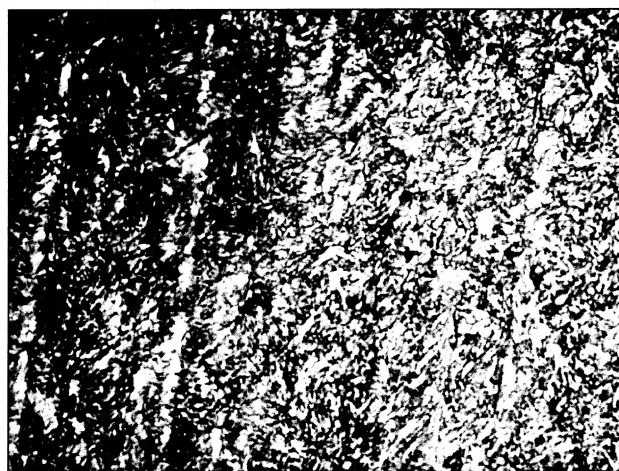
Для определения упругих свойств испытываемых образцов и максимального прогиба, к образцам прикладывалась нагрузка до полного их разрушения.



а



б



в



г

Рис. 2. Микроструктура образцов стали,  $\times 1000$ :  
а – X12MФ при ТМО, б – X12MФ при ТО, в – 65С2ВА при ТМО, г – 65С2ВА при ТО

На рис. 3 представлены графики зависимости прогиба от нагрузки при плавном нагружении образцов из сталей X12МФ, У8А, 9ХС, ХВГ, 65С2ВА, 6ХВ2С вплоть до разрушения.

При сравнении результатов испытаний, приведенных на графиках, можно сделать вывод, что наилучшие результаты показали марки сталей: У8А с пределом прочности при поперечном изгибе  $\sigma_B^H = 2866,4\text{--}3238,1$  МПа и прогибом в интервале

0,57–1,18 мм; 65С2ВА с пределом прочности при поперечном изгибе  $\sigma_B^H = 1725,2\text{--}2350,9$  МПа и прогибом в интервале 0,48–0,67 мм; 6ХВ2С с пределом прочности при поперечном изгибе  $\sigma_B^H = 1959,9\text{--}2445,9$  МПа и прогибом в интервале 0,54–0,79 мм. Рубильные ножи подвергаются большим ударным нагрузкам и поэтому должны обладать оптимальными сочетанием твердости и вязкости.

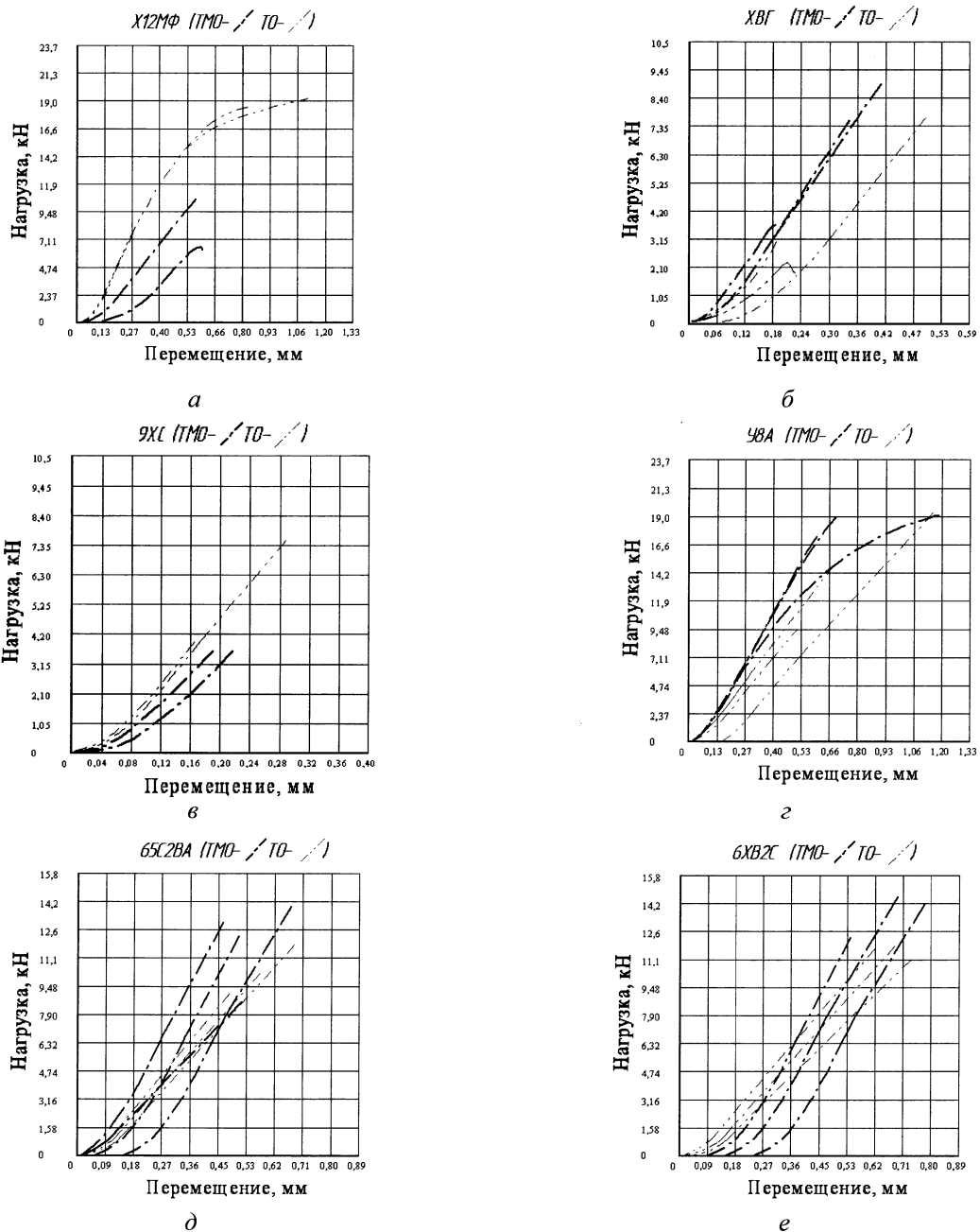


Рис. 3. Графики зависимости прогиба от нагрузки при плавном нагружении образца вплоть до разрушения: а — для стали X12МФ; б — для стали ХВГ; в — для стали 9ХС; г — для стали У8А; д — для стали 65С2ВА; е — для стали 6ХВ2С



Учитывая результаты всех проведенных исследований сталь 6ХВ2С и сталь У8А приняты в качестве базовых для изготовления опытных партий рубильных ножей.

### Производственные испытания опытных партий рубильных ножей на ОАО «Минскдрев»

В соответствии с договором №2013/119 от 30.05.13г. с ОАО «Минскдрев» в октябре-ноябре 2014 года были проведены производственные испытания опытных партий рубильных ножей ФТИ5.001.1674 (рис. 4) на рубильной машине МРГ-20. Ножи были изготовлены на опытном производстве в Физико-техническом институте НАН Беларуси по разработанной конструкторской и технологической документации. Одна часть ножей была изготовлена из стали 6ХВ2С с применением обычной термообработки и низкотемпературного отпуска, другая часть ножей изготовлена из стали У8А с применением вышеприведенной термомеханической обработки.

В результате проведения испытаний установлено, что все ножи, изготовленные из стали 6ХВ2С с применением только термообработки, соответствуют требованиям производства и обеспечили получение технологической щепы необходимого качества. При этом период стойкости всех испытанных ножей составил не менее 440 мин, что выше установленного периода стойкости при переработке окоренной древесины хвойных пород без металлических и минеральных включений влажностью не ниже 50 % при температуре не ниже  $-10^{\circ}\text{C}$  и составляющего 420 мин.

Рубка велась до затупления режущей кромки ножа. По мере затупления ножей весь комплект,

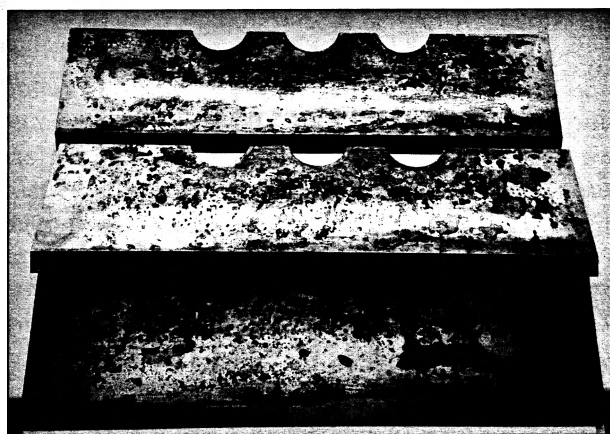


Рис. 4. Опытные образцы ножей ФТИ5.001.1674 для рубки щепы

установленный на конкретной рубильной машине, демонтировался и подвергался перезаточке. Все комплекты опытных партий ножей подвергались перезаточке не менее 5 раз. Результаты испытаний ножей заносились в протоколы и в акты испытаний.

Испытания ножей из стали У8А, подвергнутых ТМО, также показали высокие эксплуатационные характеристики (период стойкости до первой перезаточки составил не менее 440 мин, что соответствует периоду стойкости ножей из стали 6ХВ2С, изготовленных с применением ТО, и превышает установленный период стойкости (420 мин).

Полученные результаты испытаний рубильных ножей представляют большой практический интерес, так как стойкость ножей, изготовленных из относительно дешевой углеродистой стали У8А и подвергнутых ТМО, не уступают стойкости ножей из высоколегированной и более дорогой стали 6ХВ2С, подвергнутых обычной термообработке. Это открывает перспективу для значительной экономии средств, затрачиваемых на изготовление рубильных ножей.

### Заключение

В результате проведенных исследований механических свойств установлено, что хотя твердость и является важнейшей характеристикой инструментальных сталей, не всегда следует добиваться ее очень высоких значений, поскольку при росте твердости зачастую снижаются прочность и вязкость металла. При определенных соотношениях вязкости и твердости предупреждается образование трещин и сколов (выкрашивание) значительно повышается период стойкости ножей. Стали, не обладающие достаточной вязкостью, нельзя использовать для изготовления инструмента, работающего при значительных динамических нагрузках (например, при рубке мерзлой древесины). В данной работе в качестве базовых были выбраны стали 6ХВ2С и У8А.

В связи с вышеуказанным, большое внимание уделялось определению механических свойств ножей, полученных с применением термической и термомеханической обработок. Исследовались механические свойства образцов (твердость, ударная вязкость, сопротивление изгибу) по стандартным методикам. Например, вязкость образцов ножей, полученных с применением ТМО (сталь 6ХВ2С), в пределах 23,8–28,4 Дж/см<sup>2</sup>, а твердость – 55–57 HRC. Ударная вязкость в указанных пределах значительно выше рекомен-

дуемого нижнего предела 8 Дж/см<sup>2</sup>, а твердость соответствует средней твердости импортных рубильных ножей. Однако, результаты испытаний на трехточечный изгиб исследуемых ножей по сравнению с образцами ножей, изготовленных с применением только термической обработки, показали увеличение прочности при поперечном изгибе в среднем на 20 %, что показывает эффективность воздействия упрочняющих технологий с применением ТМО на исследуемые рубильные ножи. Производственные испытания ножей, изготовленных из относительно дешевой стали У8А с применением ТМО, показали, что их стойкость соответствует стойкости ножей, изготовленных из дорогостоящей стали 6ХВ2С после традиционной ТО.

Повышение прочности стальных образцов после ТМО объясняется тем, что в результате деформации из деформированного аустенитного зерна образуются более мелкие пластинки мартенсита. Кроме того, при деформации дробится блочная структура аустенита и углерод выделяется в виде дисперсных карбидов. При ТМО образуется бо-

лее мелкодисперсная, однородная структура, чем при обычной термообработке.

В результате проведенных производственных испытаний установлено, что для изготовления высококачественных рубильных ножей, применяемых при производстве технологической древесной щепы, можно рекомендовать высоколегированную сталь 6ХВ2С с применением традиционной термообработки и низкотемпературного отпуска.

Большой практический интерес представляют результаты испытаний рубильных ножей, изготовленных из гораздо более дешевой углеродистой стали У8А с применением термомеханической обработки, которые показали стойкость, не уступающую ножам из стали 6ХВ2С.

По результатам проведенных испытаний все ножи, изготовленные по технологиям, разработанным в Физико-техническом институте НАН Беларуси и УО «БарГУ», могут быть рекомендованы для использования и на других деревообрабатывающих предприятиях республики, производящих технологическую щепу.

#### *Список использованных источников*

1. Рекомендации по выбору материалов для ножей рубильных машин / А.В. Алифанов [и др.] // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. – 2014. – Вып.2 (166). – С. 185–187.
2. Алифанов, А.В. Влияние ТМО на механические свойства инструментальных сталей, применяемых при изготовлении ножей для рубки технологической щепы / А.В. Алифанов, А.М. Милюкова, В.В. Цуран // Литье и металлургия. – 2013. – №1(69). – С. 127–131.
3. Алифанов, А.В. Определение оптимальных режимов термической и термомеханической обработки рубильных ножей / А.В. Алифанов, А.М. Милюкова, В.В. Цуран // Вестник БарГУ. Сер. Технические науки – 2014. – Вып.2. – С. 17–22.
4. Алифанов, А.В. Сравнительный анализ механических характеристик сталей, применяемых для изготовления рубильных ножей, получаемых термической и термомеханической обработкой / А.В. Алифанов, А.М. Милюкова, В.В. Цуран // Литье и металлургия. – 2014. – № 4. – С. 74–80.
5. Алифанов, А.В. Исследование механических свойств легированных сталей, применяемых для изготовления рубильных ножей, методом трехточечного изгиба / А.В. Алифанов, А.М. Милюкова, В.В. Цуран // Технологии, экономика и право: актуальные проблемы и инновации: сборник материалов международной научно-практической конф., Барановичи, 20 ноября 2014г. / редкол.: А.В. Никишова [и др.] – Барановичи: РИО БарГУ, 2014. – 199. – С. 91–95.

УДК 621.762:669.1

## ЛАЗЕРНАЯ МОДИФИКАЦИЯ СПЕЧЕННЫХ ДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА

<sup>1</sup>В. Маркович, <sup>2</sup>Ж.А. Межеэвска, <sup>3</sup>В.С. Голубев,<sup>1</sup>О. Чернашеюс, <sup>1</sup>С. Индришюнас, <sup>1</sup>Р. Лукаускаите<sup>1</sup>Вильнюсский Технический университет имени Гедимина, г. Вильнюс, Литва<sup>2</sup>Белостокская Политехника, г. Белосток, Польша<sup>3</sup>Физико-технический институт НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Всё более популярно использование лазерных технологий в производстве деталей сложной геометрической формы. Это связано с наличием таких технологий прототипирования как селективное лазерное спекание (*selective laser sintering*), направленное лазерное селективное спекание (*direct laser selective sintering*), селективное лазерное плавление (*selective laser melting*). Такие лазерные технологии позволяют не только изготавливать детали сложной геометрической формы, но и быстро и экономически эффективно реставрировать повреждённые детали. Несмотря на многие положительные моменты, деталям после применения лазерных технологий не чужды и дефекты. В работе анализируется влияние изменения основных параметров лазерного луча на поверхностный слой образцов, изготовленных с помощью селективного лазерного спекания.

*The use of laser systems in the manufacture of complex geometric form is more and more popular. This happens because of the rapid prototyping systems such as selective laser sintering (SLS), direct laser metal sintering (DLMS), selective laser melting (SLM), that allow not only the production of parts with complex geometric form, but also to fast, cheap and effective restoration of damaged places of the parts. Despite the many advantages of the above mentioned technologies, details obtained on the basis of these technologies are characterized by different defects. The laser beam main modes changing influence on the parts built by SLS was studied in the paper.*

Металлические изделия, изготовленные методом СЛС, применяются в мелкосерийном производстве, например, для изготовления литейных форм, в том числе для литья под давлением. Несмотря на то, что СЛС-технология обеспечивает получение хорошей точности формы деталей и повторяемость производства, её применение ограничено резким снижением, по сравнению с традиционным литьем, механических и триботехнических свойств изделий. Более того, в результате оплавления частиц порошка (обычно используются порошки со средним размером частиц 5 мкм) и действия термокапиллярных сил в материале образуются поры и раковины размером до 100 мкм, что является дефектом, ограничивающим применение деталей. Проплавление большой массы порошкового материала и относительно низкая скорость движения луча лазера

в СЛС-процессах (порядка 50 мм/с) приводит к образованию значительных напряжений растяжения полученного покрытия. Это ожидаемый результат, так как формирование каждого слоя представляет собой закалку из жидкой фазы при высоком градиенте температуры [1–6].

Общей чертой СЛС-технологий [1, 5] является низкая скорость введения тепловой энергии. Наиболее часто в этих процессах используется непрерывный режим генерации лазерного излучения. Понимание механизмов, управляющих процессами структурообразования при лазерной обработке, естественным образом приводит к идее модернизации СЛС-технологии путём изменения энергетических режимов финишной лазерной обработки спеченных материалов в сторону значительного увеличения энергетического воздействия на тонкий поверхностный слой спеченного материала.

Лазерная поверхностная полировка как технология была создана для того, чтобы за короткий промежуток времени на поверхности детали с неприемлемыми техническими характеристиками сформировать нужный рельеф, текстуру, шероховатость, геометрическую форму [8–10].

Основу технологии составляет формирование поверхности детали путем обработки лазерным пучком. Технология включает 3 основных этапа.

Первый этап – базирование образца в рабочей зоне лазерного агрегата. Чаще всего для обработок такого типа используют 2D (XY план) системы позиционирования. Из-за ограничений амплитуды движения системы позиционирования огромное значение для результата обработки имеет перпендикулярность обрабатываемой поверхности образца относительно лазерного пучка. Во избежание коррозии и деградации обрабатываемой поверхности в рабочую зону подаётся инертный газ.

Второй этап – фокусирование лазерного пучка на рабочей поверхности образца. При малой мощности лазерного источника большую роль играет диаметр сфокусированного на обрабатываемой поверхности лазерного пучка. Мощность лазерного пучка как физическая величина мало информативна, так как не предоставляет правдивой информации о количестве энергии на единицу площади. Куда более информативной величиной измерения является плотность энергии, потому что здесь присутствует прямая связь между обрабатываемой поверхностью и мощностью пучка.

Третий этап - обработка поверхности образца. В мировой литературе данный этап именуется лазерным сканированием, либо лазерной полировкой. Здесь сфокусированный на обрабатываемую поверхность лазерный пучок, перемещаясь в плоскости XY, передаёт количество энергии E единице площади, переплавляя пики микронеровностей за один или несколько проходов n. Во время лазерного сканирования не только формируется новый рабочий рельеф обрабатываемой поверхности, но и устраняются оставшиеся после спекания поры и поверхностные дефекты. Происходят процессы диффузии и закалки поверхностного слоя обрабатываемого образца. Качество лазерной полировки как финишного этапа обработки в большой мере зависит от технологических параметров лазерного пучка. Потому целью данной работы является установление связи между изменением технологических параметров лазерного источника и качественными показателями обрабатываемой детали.

Высокая локальность финишной скоростной лазерной обработки поверхности спеченных ма-

териалов позволяет избежать недостатков, присущих традиционным СЛС-технологиям (термические напряжения растяжения, крупные поры, неровность поверхности и большой припуск на механическую обработку), формировать и фиксировать метастабильное структурное состояние с уникальными механическими свойствами. Последнее характеризуется более высокими значениями плотности и дисперсности внутренней структуры по сравнению с исходным состоянием материала и значительным градиентом концентраций легирующих элементов в приповерхностном слое материала.

В работе были использованы образцы прямоугольной геометрической формы (рис. 1) на основе металлического порошка со средним размером частиц 5 мкм марки DIN 1.2083, изготовленные селективным лазерным спеканием.

Табл. 1

Химический состав образцов

Порошок	Химический состав, %						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
DIN 1.2083	~0,4	≤1	≤8	0,03	0,03	~1,3	≤0,8

Во время эксперимента обрабатывалась только одна поверхность образца (рис. 1). Для спекания образцов был использован лазерный агрегат Concept laser m3. Лазерная полировка исследуемых образцов проводилась с помощью импульсного, пикосекундного лазерного агрегата Baltic HP с максимальной мощностью генерации лазерного пучка 3 Вт.

Табл. 2

Основные технологические параметры лазерного агрегата

Номер образца	Мощность, Вт	Плотность энергии FO, Дж/см <sup>2</sup>	Скорость сканирования V, мм/с	Диаметр пучка d, мм	Количество проходов, n
а	1	39,16	7,5	0,025	1
б	1	39,16	2,5	0,025	1
в	1	39,16	5,0	0,025	1
г	2,77	108,48	7,5	0,025	1
д	2,77	108,48	5,0	0,025	1
е	2,77	108,48	2,5	0,025	1
ё	2,77	108,48	1,0	0,025	1
ж	2,77	108,48	2,5	0,025	2
з	2,77	108,48	2,5	0,025	4
и	2,77	108,48	2,5	0,025	6
й	2,77	108,48	2,5	0,025	8

Поверхностный слой образцов, обработанных лазером Baltic HP, исследован с помощью скани-

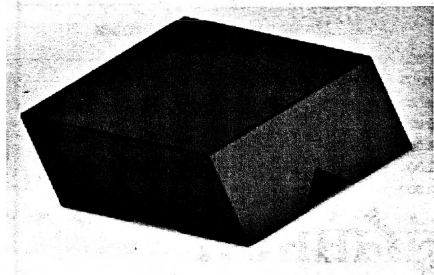


Рис. 1. Образец

рующего электронного микроскопа Hitachi 3000. Во время исследования определены параметры химического состава и топографии поверхностного слоя образцов. Установлено, что при плотности энергии  $F_0 \sim 40$  Дж/см<sup>2</sup> наилучшая фактура поверхностного слоя образца получается при скорости сканирования лазера 5 мм/с при обработке одним проходом (рис. 2, в). При уменьшении скорости до 2,5 мм/с однородность фактуры поверхности снижается (рис. 2, б).

При плотности энергии  $F_0 \sim 110$  Дж/см<sup>2</sup> и сканировании одним проходом наилучшая фактура поверхности достигается при скорости  $V \sim 1$  мм/с (рис. 2, е). При максимальных значениях плотности энергии дополнительное введение энергии в полируемую область в виде нескольких проходов даёт положительный эффект при условии  $n \leq 4$  (рис. 2, ж). После преодоления критического

барьера  $n \leq 4$  в обработанной области появляются трещины (рис. 2, з). На характер возникновения и геометрическую форму трещин влияют кристаллизационные и диффузные процессы поверхностного слоя обработанного образца.

С помощью сканирующего микроскопа Hitachi 3000 с приставкой ЭДС определены химические составы обработанных образцов. На рис. 3 представлена связь между изменением основных параметров обработки на лазере Baltic HP и изменением концентрации никеля в верхнем слое обработанной поверхности. Уменьшение процентного соотношения никеля в образцах вызвано гораздо меньшей температурой плавления никеля по сравнению с железом.

При плотности энергии  $F_0 \sim 110$  Дж/см<sup>2</sup> и  $n \geq 4$  концентрация никеля в поверхностном слое образцов возвращается к норме. Определена шероховатость поверхностного слоя образцов, обработанных лазерным пучком (рис. 4).

Образцы, обработанные лазерной полировкой, испытаны на стандартном трибологическом стенде методом диск – палец (pin and disk). Во время эксперимента вращательное движение диска выполнял образец (рис. 1). Роль пальца выполнял цилиндрический, закалённый до 55 HRC, прутки из стали DIN 1.4034 длиной 10 мм и диаметром 3 мм.

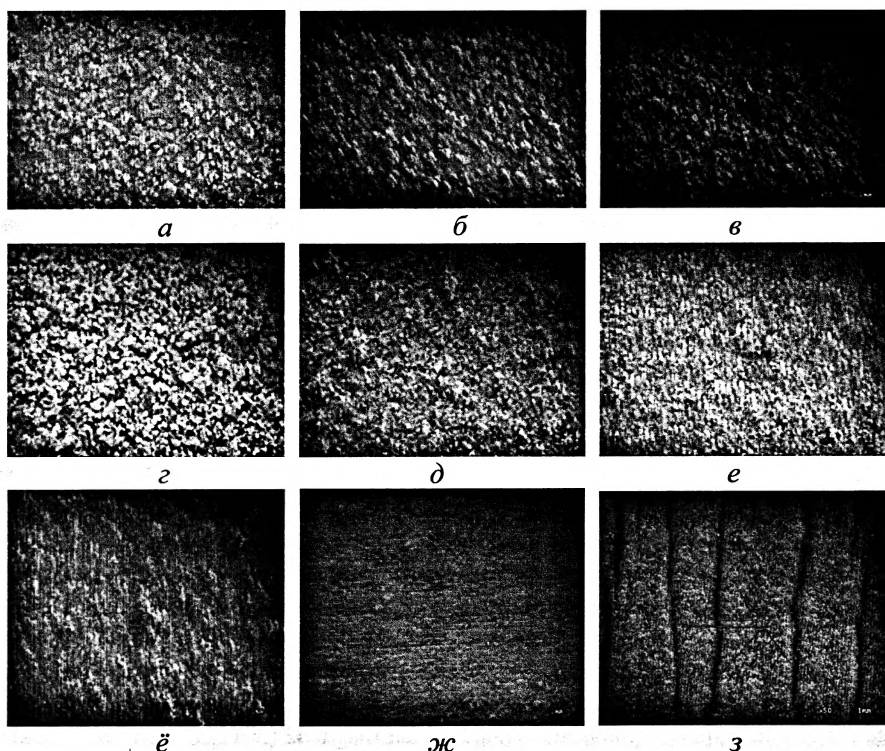


Рис. 2. Морфология поверхности образцов, соответствующих порядковым номерам в табл. 2

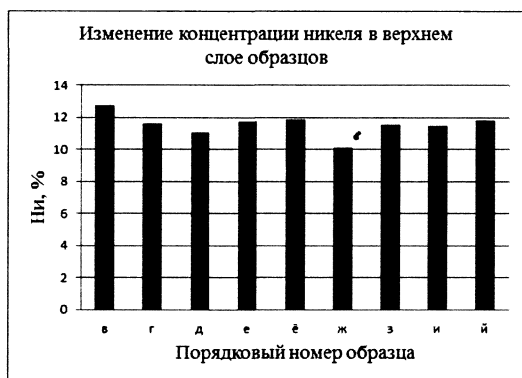


Рис. 3. Изменение концентрации никеля в верхнем слое обработанной поверхности образца

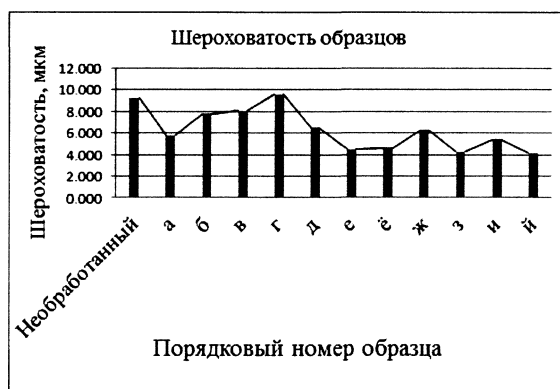


Рис. 4. Шероховатость образцов

Во время трибологического эксперимента установлены коэффициент сухого трения, изменение массы образцов и сила трения.

Табл. 3

Основные технологические параметры трибологического теста

Диск	Пруток	Скорость вращения, об/мин	Сила, Н	Смазка	Время воздействия, с	Орбита вращения диска, мм
DIN 1.2083	DIN 1.4034	300	5	Нет	1800	2

Из-за большой разницы в площади контакта между пальцем и образцом образцы с меньшими значениями шероховатости поверхностного слоя демонстрировали большие значения силы и коэффициента трения.

На диаграммах силы трения хорошо заметна прямая зависимость между силой трения и площадью контакта пальца и образца.

**Список использованных источников**

A. Lamikiz, J.A. Sanchez, L.N. Lopez de Lacalle, J.L Arana, Laser polishing of parts built by selective laser sintering, International journal of Machine Tools & Manufacture. 47 (2007) 2040-2050.

E. Ukar, A. Lamikiz, L.N Lopez de Lacalle, D. del Pozo, J.L Arana, Laser polishing of tool steel with CO2 laser and high power diode laser, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 50 (2010) 115-125.

L. Hao, J. Lawrence, Effects of Nd:YAG laser treatment on the wettability characteristics of a zirconia-based bioceramic, Optics and Lasers in Engineering. 44 (2006) 803-814.

D. King, T. Tansey, Rapid tooling: selective laser sintering injection tooling, Journal of Materials Processing Technology. 132 (2003) 42-48.

H. Golnabi, M.H Mahdih, Trend of laser research developments in global level, Optics and Laser Technology. 38 (2006) 122-131.

I.T Perry, D. Werschmoeller, X. Li, F.E Pfefferkon, N.A Duffie, Pulsed laser polishing of micro-milled Ti6Al4V samples, Journal of Manufacturing Processes. 11 (2009) 74-81.

S. Kumar, Manufacturing of WC-Co moulds using SLS machine, Journal of Materials Processing Technology. 209 (2009) 3840-3848.

S. Kumar, J.P. Kruth, Effect of bronze infiltration on laser sintered metallic parts, Materials and Design. 28 (2007) 400-407.

S. Kumar Ghosh, P. Saha, Crack and wear behaviour of SiC particulate reinforced aluminium based metal matrix composite fabricated by direct metal laser sintering process. Materials and Design. 32 (2011) 139-145.

T. Laoui, T. Froyen, L. Kruth, Effect of mechanical alloying on selective laser sintering of WC-9CO powder, Powder Metallurgy. 42 (2000) 203-205.

**Заключение**

В работе установлены главные тенденции влияния изменения основных технологических параметров лазерного луча агрегата Baltic HP на механические, химические и физические характеристики поверхностного слоя деталей, изготовленных с помощью технологии СЛС.

Установлена связь между изменением основных режимов лазерной установки Baltic HP и изменением концентрации никеля в верхнем слое обработанной поверхности, а также прямая зависимость между силой трения образцов и площадью контакта прутка. Исследована шероховатость образцов.

Работа выполнена при поддержке Литовской академии наук и проекта научных исследований TAP LB 14-035 «Исследование лазерной модификации поверхности спеченных с помощью технологии SLS дисперсных порошков на основе железа».

УДК 621.793.1

# ИОННЫЙ ИСТОЧНИК ДЛЯ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧНОЙ ИМПЛАНТАЦИИ С ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ ВЫХОДНЫМ СЕЧЕНИЕМ

О.И. Терещук, В.М. Комаровская, В.Ю. Гладкий  
Физико-технический институт НАН Беларуси  
г. Минск, Беларусь

*В данной работе рассмотрены некоторые важные технологические аспекты применения ионной имплантации для модификации поверхностей. Предложена и описана конструкция ионного источника, расширяющая возможности использования имплантации в промышленности.*

*The important technological aspects of the ion implantation application for surface modification are considered in this article. The ion source design expanding the possibilities of the implantation application in the industry is suggested and described.*

## Введение

Ионная имплантация – это процесс, при котором практически любой химический элемент может быть внедрен в приповерхностную область любого твердого тела – мишени, помещенного в вакуумную камеру, посредством пучка высокоэнергетических ионов с энергией до нескольких мегаэлектронвольт.

Существует два вида ионной имплантации: среднеэнергетическая и высокоэнергетическая. Среднеэнергетической (известная также как низкоэнергетическая) имплантации ионов соответствует область энергий от 10 до 103 кэВ. Высокоэнергетическая происходит при энергиях свыше 103 кэВ (имеются ионные ускорители, которые обеспечивают ускорение ионов при энергиях до 106 кэВ) [1].

Ионная имплантация широко применяется для легирования полупроводников с целью создания р-n-переходов, гетеропереходов, низкоомных контактов. Ионная имплантация позволяет вводить примеси при низкой температуре, в том числе примеси с малым коэффициентом диффузии, создавать пересыщенные твердые растворы. Ионная имплантация обеспечивает точную дозировку вводимой примеси, высокую чистоту (сепарация пучка ионов по массам), локальность, а также возможность управления процессом с помощью электрических и магнитных полей.

Ионная бомбардировка и имплантация металлов и сплавов приводит к изменению структурно-фазового состояния поверхностных слоев, происходит аморфизация, улучшающая механические свойства материалов: твердость, прочность, коррозионостойкость [2].

Важной особенностью имплантации является повышение твердости и прочности приповерхностного слоя в результате его аморфизации. К примеру, прочность проволоки из материала (на железной основе), подвергнутого ионной имплантации на 1,0 ГН/м<sup>2</sup> выше прочности так называемой рояльной проволоки (стальная углеродистая проволока, отличающаяся высокой однородностью и чистотой поверхности и обладающая высокими механическими свойствами). В целом же, в сплавах на основе элементов подгруппы железа, твердость по Виккерсу (HV) может достигать значений выше 1000, а прочность – свыше 4,0 ГН/м<sup>2</sup>.

При аморфизации появляется высокопрочная поверхность с низкой вязкостью и одновременно с чрезвычайно высокой вязкостью разрушения. К примеру, энергия разрыва аморфного металла составляет 110 кДж/м<sup>2</sup>, тогда как для стали X-200 это значение составляет 17 кДж/м<sup>2</sup>.

Помимо этого значительно повышается коррозионная стойкость материалов, обладающих такой аморфной поверхностью: образование пассивирующей пленки из ионов в сравнении с, на-

пример, ферритными нержавеющейими сталями, ускоряется и также повышается в 1,3 раза максимальная концентрация положительных ионов [3].

### Результаты

К основным элементам установок для ионной имплантации относятся ионные источники. Для электронной промышленности и металлургии используются различные конструкции установок для имплантации. Выбор типа и конструкции ионного источника определяется химическим составом генерируемых пучков, параметрами формируемого ионного пучка и областью применения.

В работе [4] была разработана конструкция ионного источника, позволяющая производить ионную имплантацию материалов и деталей микроэлектроники.

Однако данная конструкция позволяет создавать ионные пучки только узкой направленности, что приемлемо для электронной промышленности (р-п-переходов, гетеропереходы), однако для металлургии требуется возможность имплантации на более обширные по площади поверхности.

В настоящей работе предлагается конструкция ионного источника, который обладает возможностью создания как узконаправленного плотного пучка ионов, так и конусообразного потока, значительно большего по площади.

На рис. 1 представлена модель ионного источника с устройством электромагнитной воронки, позволяющей менять ее выходной диаметр: электромагнитное сопло Лавала (ЭМС Лавала).

Рассмотрим более подробно принцип действия и конструкцию модернизированного ионного источника.

Таким образом, неподвижная и изменяющаяся части воронки (2 и 3 соответственно) в сово-

купности представляют собой сопло Лавала, в котором роль «стенок», в отличие от обычного, выполняют электромагнитные поля. При максимальном раскрытии подвижной части площадь поверхности, подвергаемой имплантации, составляет до 0,004 м<sup>2</sup>.

Буферный газ-носитель, проходя через сопло 1 (рис. 1), подхватывает облако ионов и последовательно пронесит их через неизменную часть воронки 2 и через изменяющуюся 3. С помощью четырех магнитоцилиндров 4 выходное сечение воронки можно изменять в широких пределах.

На рис. 2 изображена изменяющаяся часть электромагнитного сопла Лавала в разрезе, на которой она показана в состоянии максимального и минимального диаметра выходного сечения соответственно.

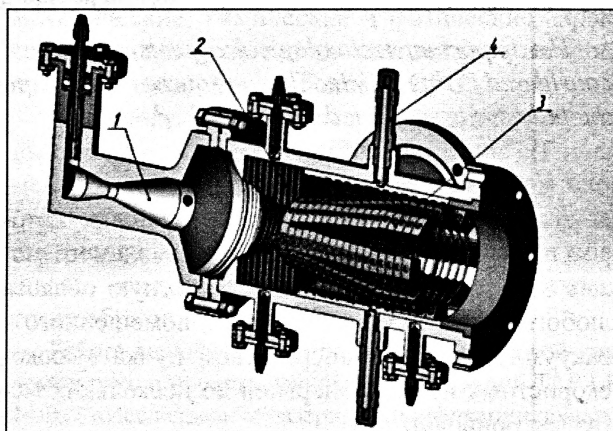


Рис. 1. Ионный источник:  
1 – сопло Лавала; 2 – стационарные кольцевые электроды; 3 – изменяющаяся часть электромагнитной воронки; 4 – магнитоцилиндр

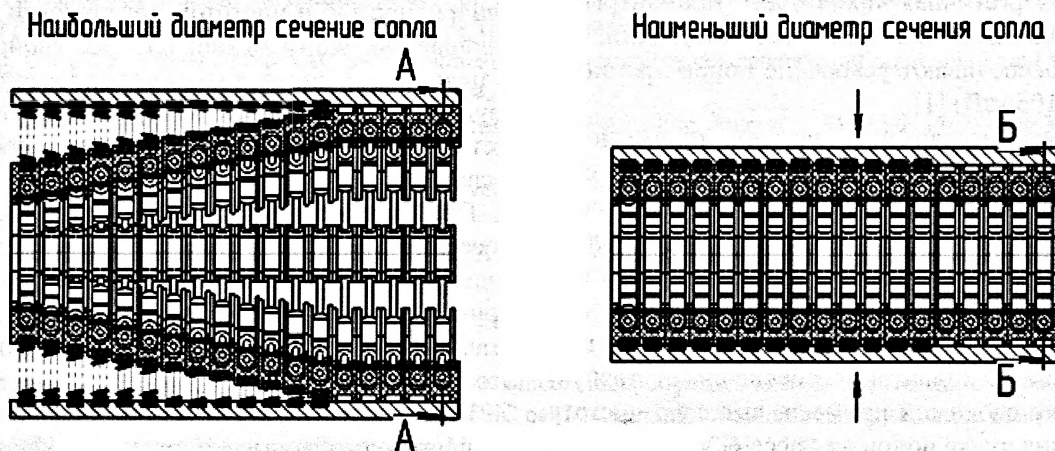


Рис. 2. Изменяющаяся часть ЭМС Лавала



Данная изменяющаяся часть набрана из восемнадцати сходящихся/расходящихся медных колец (рис. 3). Каждое кольцо состоит из восьми одинаковых секторов, которые в зависимости от площади имплантируемой поверхности, сдвигаются или наоборот, раздвигаются до ограничителя.

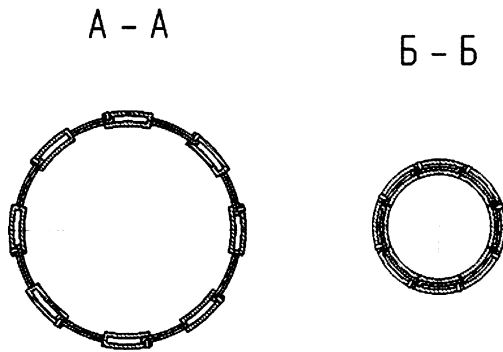


Рис. 3. Раздвижные кольца ЭМС Лавалья

В расчете электромагнитной воронки ионного источника наиболее важными параметрами являются сила Лоренца и энергия заряда. В зависимости от имплантируемого элемента рассчитать значения данных параметров возможно по следующим формулам.

Напряженность магнитного поля рассчитывается по формуле:

$$H = \frac{I}{2R}, \quad (1)$$

где  $I$  – сила тока в проводнике, А;  $R$  – радиус витка с током  $I$ , м.

Значение магнитной индукции  $B$ , Тл, вычисляется по формуле:

$$B = m_0 \times m \times H, \quad (2)$$

где  $m_0$  – коэффициент для согласования единиц измерения,  $12,5 \cdot 10^{-7}$ ;  $m$  – относительная магнитная проницаемость, зависящая от вещества;  $H$  – напряженность магнитного поля, А/м.

Для расчета силы Лоренца необходимо знать элементарный заряд, Кл, на который она будет воздействовать. Данный заряд зависит от заряда электрона и валентности имплантируемого вещества:

$$q = n \times e, \quad (3)$$

где  $n$  – валентность вещества;  $e$  – элементарный заряд электрона.

Сила Лоренца  $F$ , Н, рассчитывается по следующей формуле:

$$F = q \times v \times B \times \sin a, \quad (4)$$

где  $a$  – угол между векторами скорости и магнитной индукции, град;

$v$  – скорость заряда, м/с;

$q$  – заряд, движущийся в магнитном поле, Кл;

$B$  – магнитная индукция, Тл.

Энергия заряда  $E$ , эВ, рассчитывается по формуле:

$$E = q \times U, \quad (5)$$

где  $q$  – заряд, движущийся в магнитном поле, Кл;

$U$  – разность потенциалов, В.

Сила Лоренца позволяет сжимать поток ионов до пучка необходимой толщины. Как видно из расчета, при работе источника режиме сужающейся воронки данная сила зависит от силы тока, следовательно, изменяя величину подаваемого тока на кольцевые электроды можно регулировать воздействие силы Лоренца на поток, тем самым изменяя толщину пучка.

При работе источника ионов в режиме ЭМС Лавалья электромагнитное поле принимает форму сопла благодаря изменению диаметра кольцевых электродов. Данное явление происходит по причине зависимости напряженности электромагнитного поля от радиуса витка с током (в данном случае электрода) (1).

Некоторые потери в скорости ионов, а, следовательно, и энергии, происходят из-за расширения выходного сечения. Однако данные потери компенсируются увеличением скорости выходного потока ионов. Увеличение скорости выходного потока обусловлено процессами, проходящими в сопле Лавалья при истечении газов (именно для обеспечения эквивалентности действия законов истечения из сопла газового потока и потока ионов, применяется конструкция ЭМС Лавалья). В этом случае роль металлических стенок для ионов принимает на себя электромагнитное поле [5].

### Выводы

Данный источник позволяет эффективно использовать возможности ионной имплантации в сфере промышленности, где требуется точная дозировка небольших количеств имплантируемого химического элемента, при этом источник переводится в режим сужающейся воронки. В этом случае ионный поток на выходе образует плотный и узконаправленный пучок.

При модифицировании поверхностей изделий, в частности металлических, источник используется в режиме сопла Лавалья. Поток ионов на выходе имеет вид расходящегося конуса с площадью  $0,0035-0,004$  м<sup>2</sup>. Таким образом, можно получать аморфный слой со всеми его преимуществами на больших по площади, по сравнению с микроэлектронными изделиями, поверхностях.

*Список использованных источников*

1. Мрочек, Ж.А. Ионная имплантация и структурно-фазовое состояние материалов / Ж.А. Мрочек, В.А. Логвин – Минск: БНТУ, 2012. – 206 с.
2. Нанотехника в технологиях машиностроения / С.Н. Григорьев [и др.]; под ред. С.Н. Григорьева – М.: Инструменты. Технология. Оборудование, 2010. – 163 с.
3. Судзуки К., Аморфные металлы / К. Судзуки, Х. Фудзимори, К. Хасимото, под ред. Ц. Масумото. – Москва: Металлургия, 1987. – 328 с.
4. Терещук, О.И. Источник низкоэнергетичных ионных пучков для электронной промышленности / О.И. Терещук // Инженерно-педагогическое образование в XXI веке. Материалы X Республиканской научно-практической конференции молодых ученых и студентов БНТУ; БНТУ. – Минск, 2014. – С. 156–158.
5. Мельников, С.Н. Моделирование и численные исследования параметров магнетронных распылительных систем / С.Н. Мельников, С.П. Кундас, И.В. Свадовский // Доклады БГУИР. – 2007. – №3 (19). – С.80–87.

## ТЕРМОХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТЯНЫХ ОТХОДОВ

*Журавский Г.И.*

*Государственное научное учреждение*

*«Институт тепло-и массообмена им. А.В. Лыкова» НАН Беларуси*

*г. Минск, Беларусь*

### **Введение**

Техногенное влияние на природу к началу XXI века привело к опасности негативных изменений экологического состояния атмосферы, гидросферы, литосферы и создало одну из глобальных проблем человечества – проблему предотвращения грядущего необратимого ухудшения состояния окружающей среды.

Анализ динамики образования отходов приводит к выводу, что дальнейшее развитие производства не может осуществляться без учета экологических аспектов, связанных с накоплением отходов. На сегодняшний день возможно повторно использовать до 2/3 образующихся отходов, а в будущем, производство должно базироваться на возобновляемых и вторичных ресурсах.

Современные тенденции развития технологий переработки отходов заключаются, в первую очередь, не только в их утилизации, но и в получении продукции, из которой они образовались и снижении выбросов парниковых газов при переработке отходов.

Одним из видов крупнотоннажных отходов, которые постоянно накапливаются и представляют высокую опасность для окружающей среды, являются нефтяные отходы в виде нефтезагрязненных грунтов и нефтяных шламов.

Количество постоянно образующихся нефтяных отходов в среднем составляет около 2,5 % от количества ежегодно добываемой нефти. А количество накопившихся отходов в десятки раз превышает их ежегодное образование.

Можно выделить 6 наиболее используемых методов переработки нефтяных отходов: термические методы, химические, механические, биологические, сорбционные, методы закачки в пласт.

Каждый из этих методов имеет ряд преимуществ и недостатков друг перед другом. В тоже время необходимо отметить, что не существует одного универсального метода переработки нефтяных отходов.

Наиболее перспективным направлением для создания эффективного метода, позволяющего перерабатывать широкий спектр нефтяных отходов с высоким содержанием воды и механи-

ческих примесей, представляется направление, связанное с использованием термохимической конверсии [1–9].

### Паровой термолиз нефтесодержащих отходов

В рамках научно-технического сотрудничества между Институтом тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси и ЗАО «НПО Инноватех» (г. Санкт-Петербург, РФ) разработан технологический процесс и оборудование для переработки нефтесодержащих отходов [9].

Технологический процесс основан на обработке отходов перегретым водяным паром при температурах выше 600 °С, в результате чего протекает термохимическая конверсия (термолиз) органических составляющих отходов с образованием газообразных, твердых и жидких продуктов.

Технология аппаратурно оформлена в виде комплекса оборудования и реализуется в несколько стадий:

- подготовка нефтесодержащих отходов к подаче в реактор термолиза, заключающаяся в нагреве отходов для снижения их вязкости и удалении из отходов различных крупных включений в виде камней, металла, стекол и др;

- обработка водяным паром выделенных из отходов включений, подача их в блок приемки твердых отходов, конденсация образующихся паров воды и углеводородов и подача конденсата в блок приемки жидких продуктов;

- проведение парового термолиза отходов в реакторе путем нагрева в среде перегретого водяного пара при давлении не выше 0,1 МПа и температуре до 650 °С;

- подача парогазовой смеси в теплообменник и охлаждение ее до температуры ниже 100 °С, удаление из теплообменника образующегося конденсата в блок приемки жидких продуктов, вывод из теплообменника неконденсирующихся газов и подача их на сжигание в блок получения теплоносителя;

- вывод из реактора термолиза твердых полупродуктов, охлаждение их до температуры ниже 60 °С в блоке охлаждения и приемки;

- вывод теплоносителя (продуктов сгорания) из системы обогрева реактора термолиза, подача их на очистку и сброс в атмосферу;

- вывод из блока очистки сточных вод, подача их на очистку и сброс в систему канализации.

Для реализации термолизной технологии переработки нефтесодержащих отходов необходи-

мо осуществить нагрев их до заданной температуры (зависит от вида отходов; в нашем случае, как показал эксперимент, необходимая температура составляет 600–650 °С), выдержать отходы при данной температуре в течение времени, необходимого для полного удаления нефтепродуктов и воды, произвести охлаждение и конденсацию парогазовых продуктов, охладить твердые полупродукты от  $T = 650$  °С до  $T = 60$  °С.

Все эти процессы (нагрев, выдержка при заданной температуре, охлаждение, конденсация) связаны с подводом энергии (нагрев и выдержка) и отводом энергии (конденсация и охлаждение продуктов).

Анализ расхода топлива и количества получаемых углеводородов показывает, что при переработке нефтесодержащих отходов с удельным содержанием углеводородов МУВ. полезный удельный выход продукции в виде выделенных их отходов углеводородов составит величину (кг/кг):

$$МП = МУВ. - 0,2.$$

Из этого следует, что при переработке нефтесодержащих отходов с содержанием углеводородов 20 масс. % горючий газ и извлекаемые углеводороды будут полностью израсходованы на энергетическое обеспечение самого процесса переработки. Полезными продуктами при этом будет тепловая энергия и твердые продукты переработки. В этом случае достигается полезный эффект, заключающийся в переработке опасных отходов.

Ниже представлены технологическая схема опытного оборудования для термолизной переработки нефтесодержащих отходов.

Аппаратурное оформление процесса представлено на рис. 1.

Новая технология аппаратурно оформлена в виде установки для переработки нефтесодержащих отходов, установленной на территории компании ООО «Промышленно-транспортная корпорация» (г. Ангарск, Россия) (рис. 2).

С помощью данного оборудования экспериментально в опытно-промышленных условиях обоснована технология термолизной переработки нефтесодержащих отходов.

В качестве примера в табл. 1 приведены результаты переработки нефтяных шламов путем парового термолиза.

При термолизной переработке отходов, содержащих значительные количества механических примесей кроме горючих газов и жидких углеводородов образуется твердый остаток, содержащий около 2,5 масс. % углерода. Вид данного остатка представлен на рис. 3.

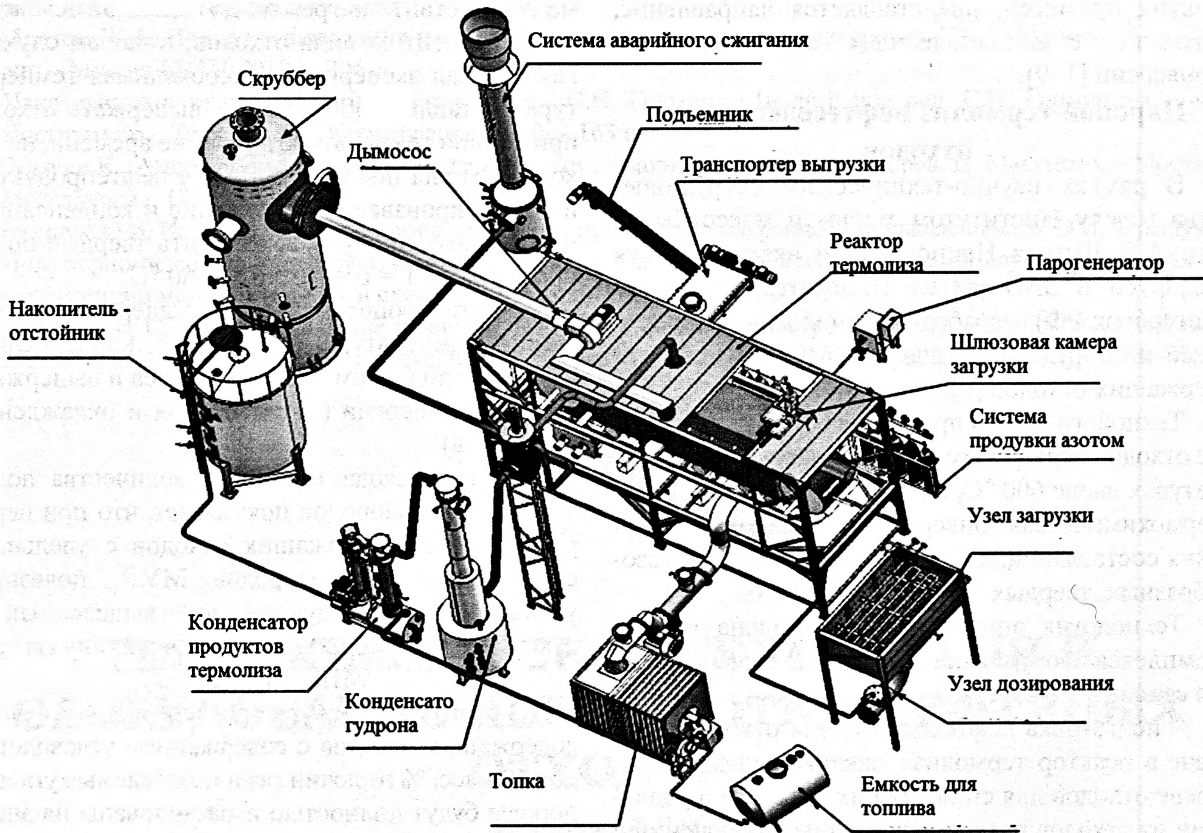


Рис. 1. Вариант аппаратного оформления парового термоллиза нефтесодержащих отходов

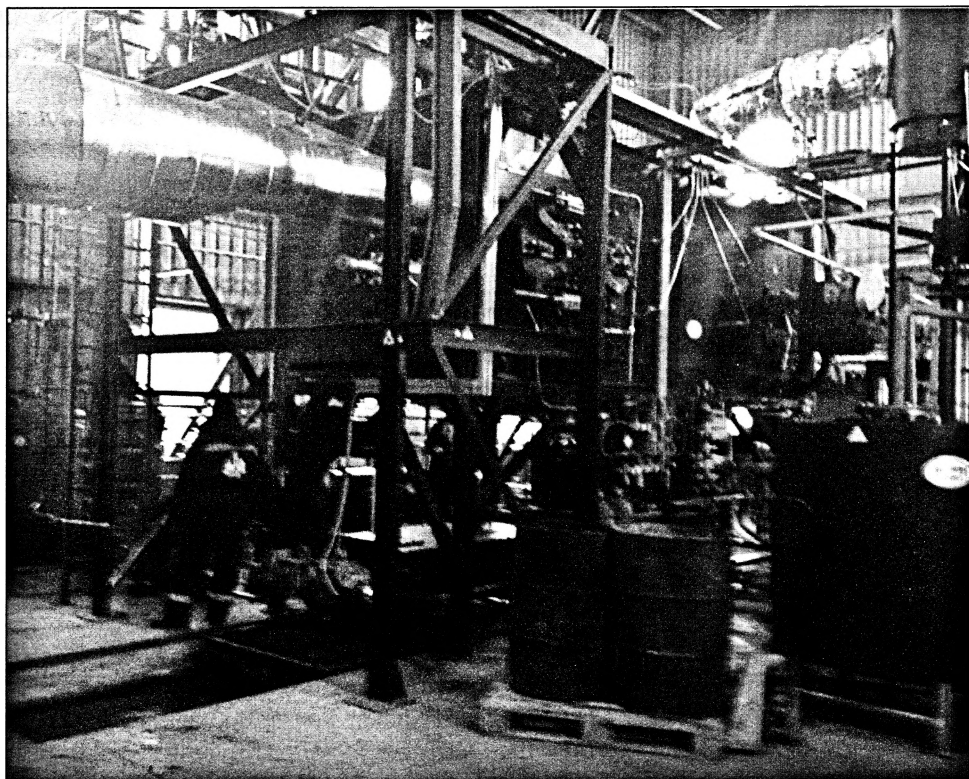


Рис. 2. Реактор термоллиза

Таблица 1

Состав исходных отходов и продуктов парового термоллиза

№ п/п	Проба, опыт	Жидкие углеводороды (на 100 %)			
		Бензина	Керосина	Дизтоплива	Мазута
		C5-C10	C11-C13	C14-C20	C21-C35
1.	АСПО (церезиновое).Исходное сырье	–	3,81	25,87	70,32
2.	Продукты термоллиза (исх. сырье – АСПО (церезиновое )	26,70	20,67	44,1	8,53
3.	Нефтешлам из УПН (№1).Исходное сырье	–	6,24	59,98	33,78
4.	Продукты термоллиза (исх. сырье – нефтешлам УПН №1)	14,53	17,08	41,85	26,54
5.	Нефтешлам из УПН (№2) Исходное сырье	–	1,22	41,74	57,04
6.	Продукты термоллиза (исх. сырье–нефтешлам из УПН№2)	17,85	16,49	38,46	27,20

*УПН – установка переработки нефти.*

Таблица 2

Состав твердого остатка термоллиза нефтесодержащих отходов

Анализируемый показатель (компонент)	НД на метод анализа	Ед. изм.	Значение	% (масс.)
Углерод (сажа)	Расчет по остатку	%	–	2,33
Натрия оксид	М-МВИ-80-2008	мг/кг	6800	0,68
Магния оксид	ПНД Ф 16.1.42-04	мг/кг	21500	2,15
Алюминия оксид	ПНД Ф 16.1.42-04	мг/кг	167000	16,70
Кремния оксид	ПНД Ф 16.1.42-04	мг/кг	586000	58,60
Калия оксид	ПНД Ф 16.1.42-04	мг/кг	7000	0,70
Кальция оксид	ПНД Ф 16.1.42-04	мг/кг	113000	11,30
Титана оксид	ПНД Ф 16.1.42-04	мг/кг	3300	0,33
Марганца оксид	ПНД Ф 16.1.42-04	мг/кг	570	0,057
Железа оксид	ПНД Ф 16.1.42-04	мг/кг	48500	4,85
Стронций	М-МВИ-80-2008	мг/кг	490	0,049
Хром	М-МВИ-80-2008	мг/кг	350	0,035
Ванадий	М-МВИ-80-2008	мг/кг	220	0,022
Никель	М-МВИ-80-2008	мг/кг	400	0,400
Медь	М-МВИ-80-2008	мг/кг	149	0,014
Цинк	М-МВИ-80-2008	мг/кг	570	0,057
Мышьяк	М-МВИ-80-2008	мг/кг	30	0,003
Свинец	М-МВИ-80-2008	%	130	0,013
Влажность (вода)	4215-015-18224344РЭ	мг/кг	1,71	1,71



Рис. 3. Твердый остаток термоллиза нефтесодержащих отходов

Исходя из анализа состава, можно сделать вывод, что твердый остаток термоллиза нефтесодержащих отходов относится к 4 классу опасности.

Может использоваться в строительной отрасли для производства стройматериалов как наполнитель, а также отсыпки дорожного полотна и в других областях.



Рис. 4. Жидкие продукты парового термоллиза нефтесодержащих отходов

Таблица 3  
Показатели жидких продуктов термоллиза отходов

Показатель	Значение
Фракционный состав:	
–50 % перегоняется при температуре, °С	188
–95 % перегоняется при температуре, °С	337
Температура загывания, °С	минус 36
Температура вспышки в закрытом тигле, °С	33
Массовая доля серы, мг/кг	3000
Испытание на медной пластинке	выдерживает
Содержание водорастворимых кислот и щелочей	отсутствие
Концентрация фактических смол, мг на 100 см <sup>3</sup>	2734,5
Содержание механических примесей	отсутствие
Содержание воды	отсутствие
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	820,0
Предельная температура фильтруемости, °С	минус 28
Вязкость кинематическая при 20 °С, мм <sup>2</sup> /с	2,13

### Воздействие на окружающую среду при термохимической переработке отходов

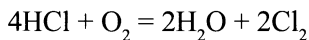
Диоксины и фураны – соединения, состоящие из колец бензола, кислорода и хлора и являющиеся токсичными по природе. Диоксины (полихлорированные дибензо – n – диоксины) и фураны (полихлорированные дибензофураны) могут образовываться в дымовых газах, содержа-

щих хлор (включая неорганический хлор), находящихся определенное время при температурах 300–1100 °С. Они обычно образуются в процессах сжигания хлорсодержащих органических соединений. В этом температурном диапазоне хлористый водород (HCl), присутствующий в продуктах сгорания реагирует с кислородом с образованием молекулярного хлора (Cl<sub>2</sub>) (процесс

катализируется парами тяжелых металлов, например меди). Образовавшийся хлор затем реагирует с радикалами углеводородов с образованием диоксинов и фуранов.

Выявлено 7 токсичных изомеров полихлорированных дибензо-*p*-диоксинов и 10 токсичных изомеров полихлорированных дибензофуранов.

При термохимической переработке отходов образуется хлористый водород (HCl), а кислород попадает в реактор с воздухом при загрузке отходов в реактор. В результате в реакторе протекает реакция:



с образованием молекулярного хлора.

Отсутствие или низкое содержание кислорода при термохимической переработке позволяет избежать образования диоксинов и фуранов. Так как нефтяные отходы не содержат значительного количества свободного хлора, то их переработка путем термохимической конверсии не приводит к значительному образованию диоксинов и фуранов. В тоже время некоторое количество данных соединений образуется.

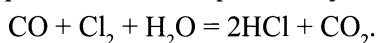
Быстрое охлаждение газов и/или высокотемпературное сжигание промежуточных продуктов может быть использовано для предотвращения образования или разрушения диоксинов. При быстром охлаждении промежуточных газов в скруббере предотвращается новый синтез диоксинов и фуранов. Альтернативно, или в дополнение к быстрому охлаждению, высокотемпературное сжигание промежуточных газов может как предотвратить формирование, так и разрушить диоксины и фураны, которые уже присутствуют в газе.

Подача водяного пара в реактор, в котором содержится углерод (C) – продукт разложения отходов, в заданных количествах приводит к протеканию реакции:



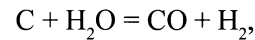
Температура процесса (1000–1200 °C) определяется типом угля и наличия в нем примесей, которые являются катализаторами процесса. В результате локальных перегревов температура в некоторых областях реактора (например, в пристеночной области при косвенном обогреве реактора) может достигать 1000 °C, а наличие F<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (например, окисленная стенка реактора) создают благоприятные условия для образования хлористого водорода и подавления процессов синтеза диоксинов и фуранов.

Одновременно может протекать реакция:



При термохимическом разложении отходов в реакторе присутствует водяной пар, оксид углерода, водород и углерод, а также обеспечивается необходимый температурный уровень в результате локальных перегревов, что способствует связыванию молекулярного хлора, необходимого для синтеза диоксинов и фуранов.

Подача водяного пара в реактор приводит к протеканию реакции:



т.е. образованию (в некоторых количествах) оксида углерода и водорода.

Водород реагирует с молекулярным хлором по реакции:



Таким образом, подача в реактор водяного пара приводит к подавлению процессов образования диоксинов и фуранов за счет снижения парциального давления кислорода (попадает в реактор в процессе загрузки отходов) и связывания молекулярного хлора, в результате чего образуется хлористый водород (химически пассивен).

С целью определения экологических показателей технологии термохимической переработки органических отходов были выполнены экспериментальные исследования выбросов при переработке органических отходов, содержащих в том числе и нефтепродукты.

Исследования проводились на территории компании «AIRBUS» (г. Тулуза, Франция), куда была доставлена мобильная установка. Отбор проб выбросов и их исследования выполняла фирма «NORISKO» (Франция), имеющая соответствующее оборудование и необходимые международные сертификаты для проведения подобного рода исследований. Технологический процесс включал паровой термолиз и сжигание газообразных продуктов разложения отходов.

Специалисты ИТМО им. А.В. Лыкова участвовали в проведении исследований, обеспечивая работу оборудования и контроль технологических параметров процесса термической переработки отходов.

Анализ экспериментальных данных показал, что по всем исследованным показателям технологический процесс удовлетворяет требованиям охраны окружающей среды. Особенно необходимо отметить, что процесс соответствует международным нормативам по выбросам диоксинов.

### Заключение

На протяжении ряда последних лет автором данной работы создавалась термохимическая

технология, основанная на свойствах органических соединений подвергаться деструкции при нагревании. В течение этого времени были найдены новые технические решения, позволяющие «нейтрализовать» агрессивную среду в реакторе путем подачи водяного пара на стадии термического разложения отходов и тем самым снизить воздействие вредных соединений и их выход в рабочую зону.

В результате была обоснована концепция «парового термолиза», т.е. использования водяного пара, как эффективного теплоносителя и инерт-

ной среды для снижения образования экологически опасных соединений и возможности получения ценных конечных продуктов, которые могут быть сертифицированы как топлива, добавки к топливам, сырьевые материалы и компоненты для получения некоторых видов продукции.

Стратегической перспективой развития данного направления является разработка на основе полученных результатов новых технологий переработки нефтесодержащих песков и залежей асфальтитов, запасы которых значительно превышают запасы нефти.

### *Литература*

1. Паровой термолиз органических отходов / Д.В. Аристархов [и др.]. – Минск: Ин-т тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, 2001. – 135 с.
2. Журавский, Г.И. Получение топлив на основе продуктов парового термолиза органических отходов / Г.И. Журавский, А.С. Матвейчук, П.Л. Фалюшин // Инженерно-физический журнал. – 2005. – Т.78, № 4. – С. 58–62.
3. Экологические аспекты термической переработки органических отходов / Г.И. Журавский [и др.] // Теплоперенос-2008 / Институт тепло – и массообмена им. А.В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси. – Минск, 2009. – С. 74 – 76.
4. Журавский, Г.И. Топливо из отходов / Г.И. Журавский // Наука и инновации. – 2012. – № 9. – С. 10–13.
5. Журавский, Г.И. Процессы термолиза органических материалов в парогазовой среде / Г.И. Журавский, А.С. Матвейчук // XIV Минский международный форум по тепло- и массообмену: тезисы докладов и сообщений, 10–13 сентября 2012 г. – С. 61.
6. Журавский, Г.И., Термические технологии получения топлив из органических отходов / Г.И. Журавский, А.С. Матвейчук // XIV Минский международный форум по тепло- и массообмену: тезисы докладов и сообщений, 10–13 сентября 2012 г. – С. 62.
7. Журавский, Г.И., Современные технологии переработки нефтесодержащих отходов / Г.И. Журавский, А.С. Матвейчук, Н.К. Лисай // Материалы докладов 45 республиканской научно-технической конференции преподавателей и студентов / Витебский государственный университет. – Витебск, 2012. – С.114–117.
8. Газогенераторные технологии утилизации горючих технологических отходов / Журавский Г.И. [и др.] // Тепло- и массоперенос – 2012, Минск / ИТМО им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, 2012. – С. 12–14.
9. Термолизная переработка нефтяных отходов / Журавский Г.И. [и др.] // Тепло- и массоперенос – 2012, Минск / ИТМО им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, 2012. – С.25–28.



УДК 69.002.5 – 82

## РАЗВИТИЕ ОБЪЕМНОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА ЭКСКАВАТОРА

*А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ф. Тамело*

*Белорусский национальный технический университет*

*Разработан принцип объемного деления потока рабочей жидкости насоса гидравлического привода рабочих органов дорожно-строительных машин. Применение двухпоточной насосной установки в составе насоса и дискретного гидрораспределителя гидравлического привода технологического оборудования универсального экскаватора позволит уменьшить количество насосов и отказаться от крупногабаритного и материалоемкого раздаточного редуктора привода насосов. На основании математического моделирования определены рациональные параметры дискретного гидрораспределителя.*

Одной из тенденций развития дорожно-строительного машиностроения является создание мобильных, специализированных высокопроизводительных машин большой единичной мощности, выполняющих за один проход комплекс технологических операций. Эффективность работы машины строительного комплекса напрямую зависит от числа рабочих органов, одновременно выполняющих технологические операции. Возможности реализации объединения ряда активных и пассивных рабочих органов в одной машине ограничиваются технологической совместимостью, габаритами, системой отбора мощности силовой установки на привод оборудования. Формирование рациональной системы приводов ходового и технологического оборудования является первоочередной задачей, определяющей в конечном итоге состав комплекта машин, реализующих технологический процесс.

В настоящее время наиболее перспективным типом передачи мощности от двигателя к рабочему оборудованию машин строительного комплекса является объемный гидропривод. При известных достоинствах гидропривода, он имеет один существенный недостаток: сложность деления потока мощности на несколько потребителей. При разветвлении гидравлической магистрали появляется гидродифференциальная связь между потребителями: потребитель с низким потреблением мощности неизбежно приведет к падению давления во всем контуре, что не позволит потребителю, оказавшемуся в более тяжелых услови-

ях, развить необходимое усилие либо крутящий момент. В гидроприводе поток мощности может быть разделен применением специальных следящих систем, либо путем добавления в цепь механических и электрических приводов.

В полноповоротных гидравлических экскаваторах [1], [2] (рис. 1) рабочий цикл копания практически целиком построен на совмещении двух движений: опускание стрелы  $b$  и напор рукояти  $8$ ; напор рукояти  $8$  и поворот ковша  $10$ ; подъем либо опускание стрелы  $b$  и поворот платформы  $2$  – в отвал либо в забой. Наличие дифференциальной связи между гидроцилиндрами сделает выполнение работ невозможным: вместо подъема стрелы  $b$  с поворотом платформы  $2$  стрела  $b$  начнет опускаться за счет возрастания скорости поворота платформы  $2$ . Отказ же от совмещения рабочих движений уменьшит производительность экскаватора практически вдвое.

Выход из сложившейся ситуации был найден в применении на полноповоротных экскаваторах сдвоенных насосов [2], [3]. В экскаваторе ЭО-3122 и ряде других, аналогичных машин, применяется двухпоточный насос регулируемый серии 321.224 А, представляющий собой картер большого размера, внутри которого устанавливаются два однопоточных насоса, гидроцилиндр поворота их блоков цилиндров для регулирования рабочего объема и зубчатая раздаточная коробка. Габарит двухпоточного насоса превышает габарит каждого однопоточного насоса в 6...10 раз. Соответственно стоимость двухпоточного насоса высока.

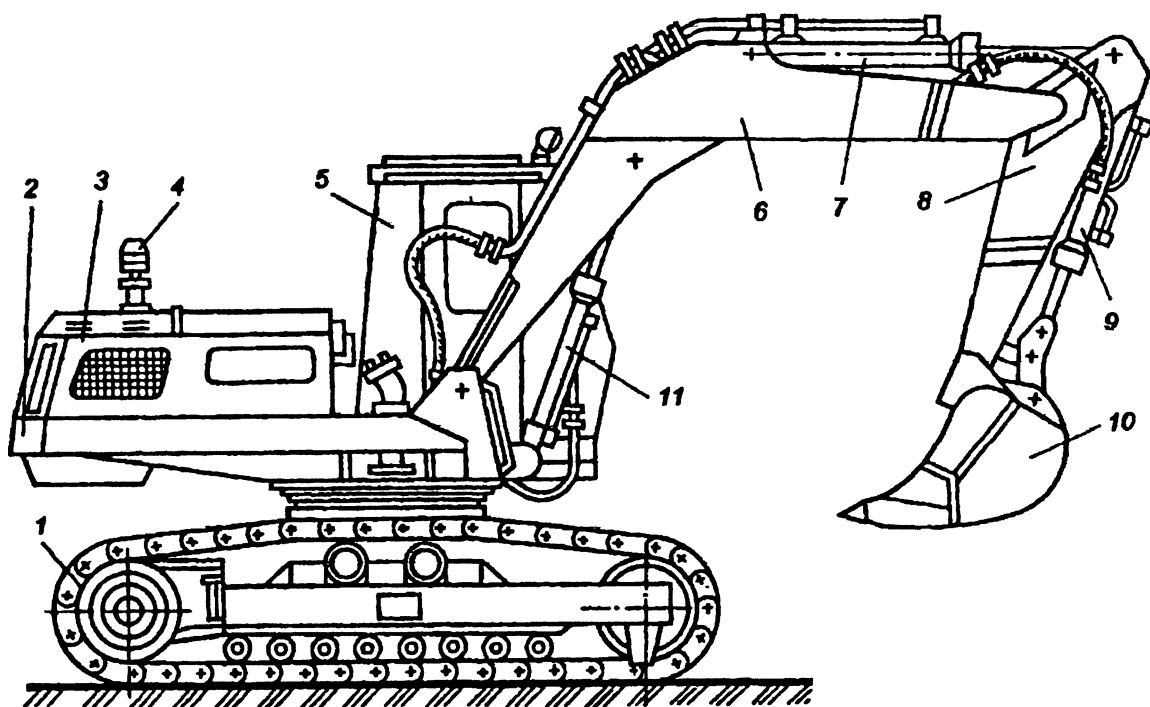


Рис. 1. Гидравлический гусеничный экскаватор 3-й размерной группы ЭО-3122 с оборудованием «обратная лопата»:

1 – ходовая тележка; 2 – поворотная платформа; 4 – силовая установка; 5 – кабина; 6 – стрела; 7, 9, 11 – гидроцилиндр рукояти, ковша и стрелы; 8 – рукоять; 10 – ковш

Резервом рационализации гидравлического объемного привода полноповоротных гидравлических экскаваторов [2], [3] является применение двухпоточных насосных установок на базе одного насоса переменной производительности, оснащенного гидравлическим агрегатом деления потока рабочей жидкости объемного типа. Основу насосной установки (рис. 2) составляет однопоточный аксиально-поршневой насос 11, оснащенный делителем потока 12 рабочей жидкости насоса 11 [4]. Распределительные устройства образуют две группы 9, 10. Группа распределителей 9 питается от одной магистрали делителя потока 12, а группа распределителей 10 – от второй магистрали. При нейтральном положении золотников группы распределителей 9 поток рабочей жидкости насоса 11 питает исполнительные механизмы, управляемые с помощью группы распределительных устройств 10. Таким образом, участвующие в рабочем цикле исполнительные механизмы, управляемые с помощью группы распределительных устройств 9, питаются от одной магистрали делителя потока 12, а в механизмы стрелы, рукояти и ковша, управляемые группой распределительных устройств 10, может посту-

пать полный силовой поток рабочей жидкости насоса 11.

На основе положений дискретной гидравлики [5] авторами разработан принцип объемного деления потока рабочей жидкости, состоящий в дискретной подаче фиксированных объемов рабочей жидкости последовательно по напорным магистралям потребителей [6], [7], предложены основные технические решения дискретных гидрораспределителей роторного типа [8]. Конструктивно дискретный гидрораспределитель может быть реализован в виде отдельного агрегата (рис. 3), устанавливаемого на корпус насоса с приводом ротора дискретного гидрораспределителя от приводного вала насоса, на фланец насоса в качестве промежуточного агрегата между механизмом привода и насосом серийного исполнения, либо интегрироваться в конструкцию насоса [9], [10], [11] с доработкой существующей конструктивной схемы.

При работе дискретного гидрораспределителя рабочая жидкость насоса поступает через канал 7 в полости продольных каналов 4 равномерно вращающегося ротора 1, откуда периодически – в полости продольных каналов 5, 6 распредели-

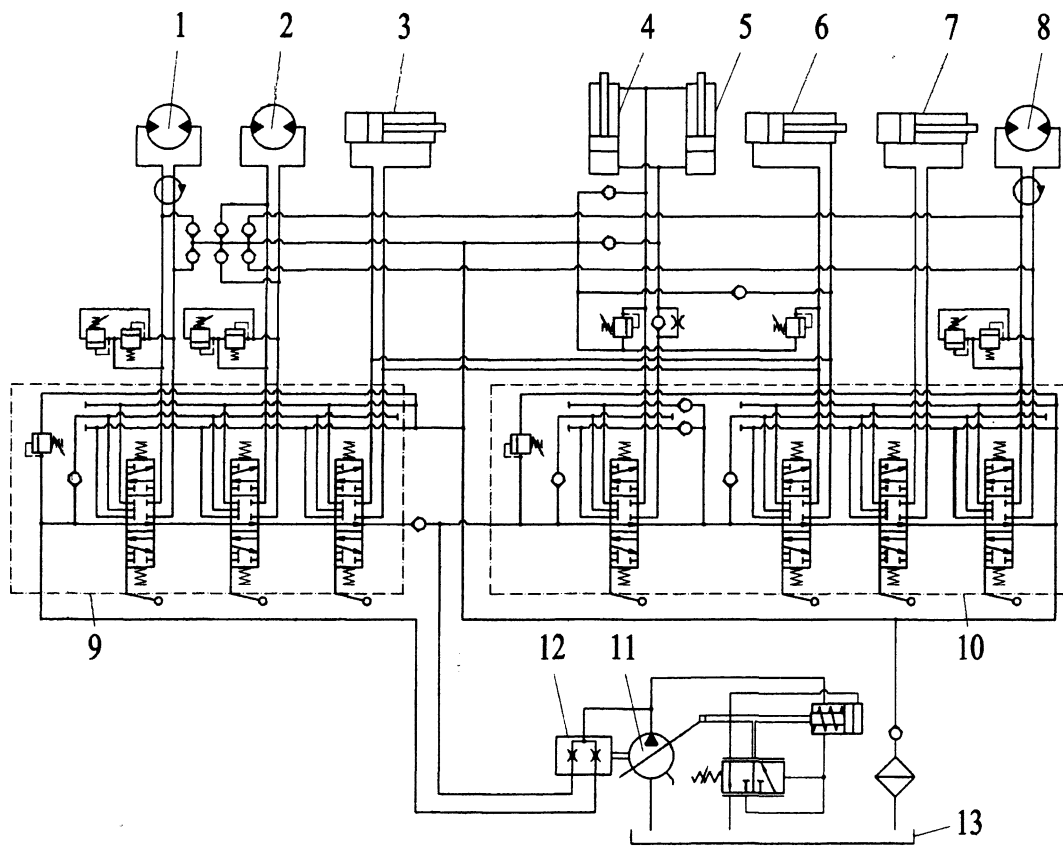


Рис. 2. Типовая гидравлическая схема универсального полноповоротного экскаватора: 1, 8 – гидромоторы усеничного хода; 2 – гидромотор поворота платформы; 3 – гидроцилиндр поворота верхней секции стрелы; 4, 5 – гидроцилиндр подъема-опускания стрелы; 6 – гидроцилиндр поворота рукояти; 7 – гидроцилиндр поворота ковша; 9, 10 – блоки гидрораспределителей; 11 – насос; 12 – делитель потока; 13 – бак

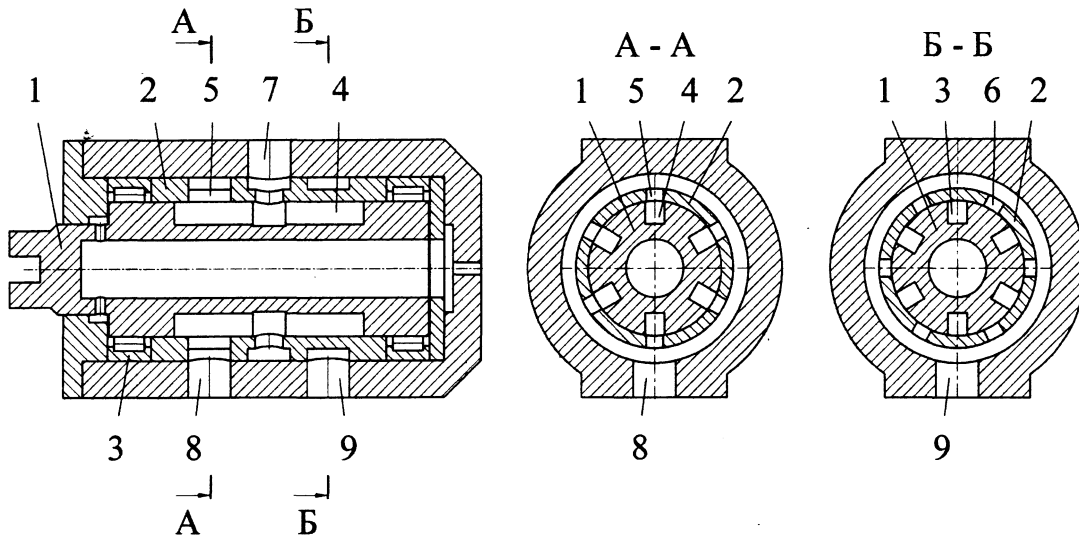


Рис. 3. Конструктивная схема ДГ:

1 – ротор; 2 – распределительная втулка; 3 – подшипник качения; 4, 5, 6 – продольный канал ротора, распределительной втулки; 7 – канал подключения насоса, бака; 8, 9 – канал подключения потребителя

тельной втулки 2 и через каналы 8, 9 – в напорные магистрали потребителей. Для определения основных параметров дискретного гидрораспределителя рассмотрим его работу в режиме деления потока рабочей жидкости насоса в двухмоторном гидроприводе [12] (рис. 4).

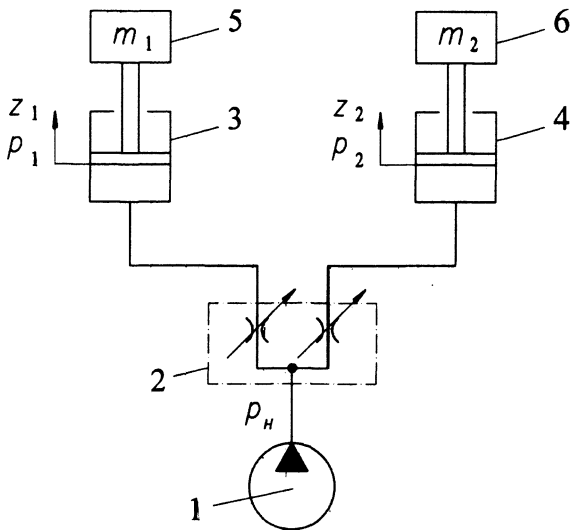


Рис. 4. Динамическая схема двухмоторного гидропривода при работе дискретного гидрораспределителя в режиме деления потока рабочей жидкости насоса:

1 – насос; 2 – дискретный гидрораспределитель; 3, 4 – исполнительный гидроцилиндр; 5, 6 – груз

Математическая модель двухмоторного гидропривода (1) [13] разработана на основании методик расчета [14]

$$\left. \begin{aligned} \frac{dp_n}{dt} &= \frac{Q_n - \sum_{i=1}^2 Q_{oi}}{\psi V_{zh}} \\ \frac{dp_i}{dt} &= \frac{Q_{oi} - F_i \frac{dz_i}{dt}}{\psi (F_i z_i + f l_i)} - \frac{\rho l_i}{f} \frac{d^2 Q_{oi}}{dt^2} - \frac{8 \pi \rho \nu l_i}{f^2} \frac{d Q_{oi}}{dt} \\ \frac{d^2 z_i}{dt^2} &= \frac{1}{m_i} \left( F_i p_i - P_i - k_u \frac{dz_i}{dt} - P_{mpi} \operatorname{sgn} \frac{dz_i}{dt} \right) \end{aligned} \right\} (1)$$

где  $z_i$  – координата поршня исполнительного цилиндра 3, 4;  $F_i$  – площадь поршня исполнительно-

го цилиндра 3, 4;  $m_i$  – масса груза 5, 6 и подвижных частей, приведенная к поршню;  $P_{mpi}$  – сила трения;  $P_i$  – сила сопротивления подъему груза 5, 6;  $p_n, p_i$  – давление в полости насоса 1, исполнительного гидроцилиндра 3, 4;  $Q_n$  – объемная подача насоса 1;  $Q_{oi}$  – подача рабочей жидкости в напорную магистраль  $i$ -го исполнительного гидроцилиндра 3, 4;  $\psi$  – коэффициент податливости рабочей жидкости;  $V_{zh}, l_n$  – объем гидравлического гасителя в цепи насоса 1 и длина трубопроводов, соединяющих насос 1 с гидравлическим гасителем и ДГ;  $f$  – площадь проходного сечения всех гидролиний;  $l_i$  – длина трубопровода от ДГ до исполнительного гидроцилиндра 3, 4;  $\rho$  – плотность рабочей жидкости;  $\zeta$  – коэффициент местного сопротивления;  $\nu$  – кинематический коэффициент вязкости.

Эффективность работы дискретного гидрораспределителя оценивается по величине гидравлического аппарата КПД<sub>ГА</sub> ( $\bar{\eta}_{га}$ ) [5], учитывающего потери мощности при течении рабочей жидкости через дискретный гидрораспределитель, и параметра  $k_{z2}$ , учитывающего рассогласования перемещения поршней исполнительных гидроцилиндров.

Параметры, определяющие работу двухмоторного гидропривода: режим нагружения двухмоторного гидропривода; дискретизация потока рабочей жидкости дискретным гидрораспределителем; соотношение геометрических параметров рабочих камер дискретного гидрораспределителя; объемы гидравлических полостей на участках насос – дискретный гидрораспределитель. Математическое моделирование двухмоторного гидропривода с дискретным гидрораспределителем, работающим в режиме деления потока рабочей жидкости, проводим для условий работы: насос 310.456 с подачей  $Q = 1330 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$  работает с двумя гидроцилиндрами с диаметрами поршней 0,12 м с нагрузкой, задаваемой параметром  $k_{но} = (P_1/P_2)$ , изменяющимся в пределах 0,125–1,00 при нагрузке  $P_2 = 200 \text{ кН}$ . При расчете принимались числовые значения параметров:  $f = 3,8 \times 10^{-4} \text{ м}$ ;  $\psi = 1,5 \times 10^{-9}$ ;  $P_{mpi} = 0,1 P_i$ ;  $k_u = 0,15$ ;  $\zeta = 0,5$  [14].

Решая систему дифференциальных уравнений (1), и аппроксимируя результаты математического моделирования, получим зависимости КПД<sub>га</sub> и параметра  $k_{z2}$  от параметров дискретного гидрораспределителя:

$$\left. \begin{aligned} \bar{\eta}_{za} &= 0,996 + 0,036k_{нд} + 0,005\kappa - 0,014k_{нд}^2 - 0,001k_{нд}\kappa. \\ k_{z2} &= 0,915 + 0,121k_{нд} - 0,063\kappa - 0,017k_{нд}^2 + 0,556k_{нд}\kappa. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \bar{\eta}_{za} &= 1,197 - 0,028k_{нд} - 0,284k_{Q2} - 0,094k_{нд}^2 + 0,034k_{Q2}^2 + 0,169k_{нд}k_{Q2}. \\ k_{z2} &= 0,292 - 0,237k_{нд} + 0,372k_{Q2} + 0,353k_{нд}^2 - 0,032k_{Q2}^2 + 0,303k_{нд}k_{Q2}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} \bar{\eta}_{za} &= 0,901 + 0,162k_{нд} + 0,268 \cdot 10^{-3}\omega - 0,091k_{нд}^2 - 0,291 \cdot 10^{-6}\omega^2 - 0,116 \cdot 10^{-3}k_{нд}\omega. \\ k_{z2} &= 0,876 + 0,361k_{нд} - 0,002\omega - 0,199k_{нд}^2 + 0,144 \cdot 10^{-5}\omega^2 + 0,002k_{нд}\omega. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} \bar{\eta}_{za} &= 0,982 + 0,024k_{нд} - 30,23V_{zn} - 0,012k_{нд}^2 + 21,42k_{нд}V_{zn}. \\ k_{z2} &= 0,791 - 0,062k_{нд} - 4266V_{zn} + 0,433k_{нд}^2 + 3811 \cdot 10^3V_{zn}^2 + 2715k_{нд}V_{zn}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где  $k_{нд} = (P_1/P_2)$  – параметр нагружения рабочих магистралей дискретного гидрораспределителя  $\kappa$  – параметр дискретизации потока рабочей жидкости;  $k_{Q2}$  – параметр, определяющий соотношение геометрических размеров рабочих камер дискретного гидрораспределителя;  $\omega$  – угловая скорость вращения ротора дискретного гидрораспределителя.

Анализ уравнений регрессии (2) показал, что дискретный гидрораспределитель обеспечивает независимость нагрузочного режима работы кон-

тура данного потребителя от нагрузочного режима контура второго потребителя в широком диапазоне изменения нагрузок. Максимальное значение КПДга достигается при равенстве нагрузок напорных магистралей потребителей (рис. 5) и увеличивается с увеличением параметра  $\kappa$ , что объясняется уменьшением дискретного объема рабочей жидкости, поступающей в напорную магистраль потребителя при каждом цикле работы дискретного гидрораспределителя, и снижения динамичности работы гидропривода.

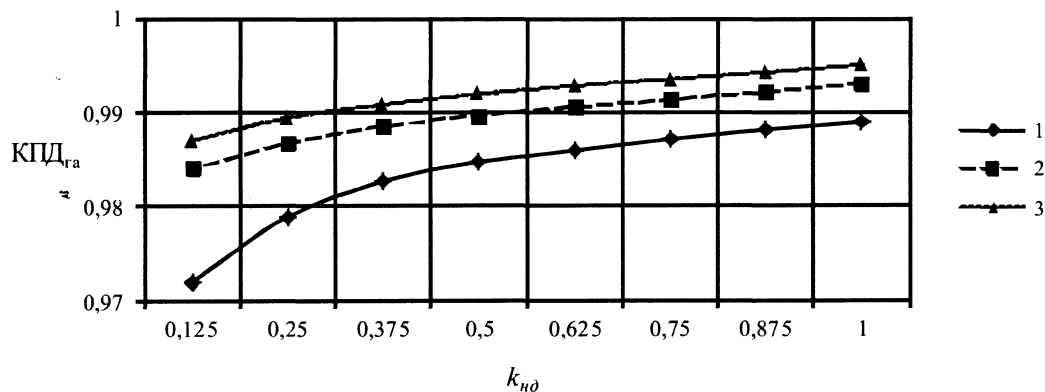


Рис. 5. Зависимость КПДга от параметров нагружения  $k_{нд}$  и дискретизации  $k$  потока рабочей жидкости: 1 –  $k = 3$ ; 2 –  $k = 6$ ; 3 –  $k = 9$

Следует отметить, что наиболее существенно КПДга увеличивается при увеличении параметра  $\kappa$  с 1 до 3. При дальнейшем увеличении параметра  $\kappa$  величина КПДга изменяется незначительно. Уменьшение параметра  $k_{нд}$  и увеличение параметра  $\kappa$  приводит к пропорциональному уменьшению параметра  $k_{z2}$ . На основании полученных результатов можно считать рациональным интервал значений параметра  $\kappa = 4-6$ , обеспечивающий высокое значение КПДга и относительно не-

большое снижение параметра  $k_{z2}$  при изменении нагрузок напорных магистралей потребителей в широком диапазоне.

Анализ работы многомоторного гидропривода (3) при синхронизации работы исполнительных гидроцилиндров ( $k_{z2} = 1$ ) показывает, что диапазон изменения параметра  $k_{Q2}$  и КПДга при уменьшении параметра нагружения  $k_{нд}$  исполнительных гидроцилиндров уменьшается при уменьшении параметра  $\kappa$  (рис. 6).

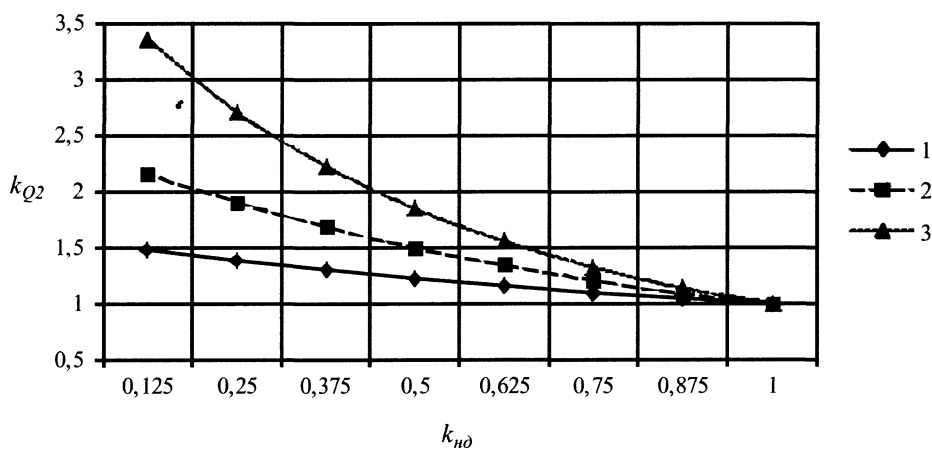


Рис. 6. Зависимость параметра  $k_{Q2}$  от параметров нагружения  $k_{н0}$  и дискретизации  $k$  потока рабочей жидкости: 1 –  $\kappa = 3$ ; 2 –  $\kappa = 6$ ; 3 –  $\kappa = 9$

Конструктивную схему дискретного гидрораспределителя, обеспечивающего синхронизацию работы исполнительных гидроцилиндров, следует формировать со значениями параметра  $\kappa = 3-4$ , обеспечивающими минимальное снижение КПД<sub>ра</sub> при изменении параметра нагружения  $k_{н0}$  в широком диапазоне.

При увеличении  $\omega$  параметр КПД<sub>ра</sub> увеличивается благодаря снижению динамичности работы гидропривода (4), а параметр  $k_{z2}$  уменьшается. Максимальное значение КПД<sub>ра</sub> достигается при  $\omega = 188,4-314,0$  рад/с, что соответствует рабочему диапазону угловых скоростей вращения вала насоса.

При увеличении объема  $V_{зн}$  параметр  $k_{z2}$  уменьшается (5). Увеличение объема  $V_{зн}$  способствует появлению дифференциального эффекта. Рациональные значения параметра  $k_{z2}$  достигаются при  $V_{зн} = (0,5-1,0)q$  (здесь  $q$  – рабочий объем насоса), что эквивалентно длине рукава высокого давления  $l_i = 0,07-0,14$  м. КПД<sub>ра</sub> имеет максимальное значение при  $V_{зн} = (0,5-1,0)q$ , и снижается при увеличении объема  $V_{зн}$ . Дискретный гидрораспределитель должен устанавливаться рядом с насосом, либо интегрироваться в его конструкцию. Моделирование показало, что изменение величин  $f_i$  не влияет на параметры КПД<sub>ра</sub> и  $k_{z2}$ .

Проведенный анализ работы двухмоторного гидропривода, оснащенного дискретным гидрора-

спределителем, работающим в режиме деления и суммирования потоков рабочей жидкости, показал: дискретный гидрораспределитель обеспечивает независимость нагрузочного режима работы контура данного потребителя от нагрузочного режима контура второго потребителя в широком диапазоне изменения нагрузок; рациональным значением параметра дискретизации потока рабочей жидкости является интервал значений параметра  $\kappa = 4-6$ ; дискретный гидрораспределитель должен устанавливаться возле насоса, либо интегрироваться в его конструкцию; максимальное значение параметров эффективности КПД<sub>ра</sub> и  $k_{z2}$  достигается при угловой скорости ротора, совпадающей с угловой скоростью вала насоса; дискретный гидрораспределитель обеспечивает возможность изменения параметров подачи рабочей жидкости по напорным магистралям потребителей в широком диапазоне за счет изменения геометрических параметров.

Таким образом, разработка и применение насосной установки в составе насоса и дискретного гидрораспределителя гидравлического привода технологического оборудования экскаватора позволит уменьшить количество насосов гидропривода, отказаться от крупногабаритного и материалоемкого раздаточного редуктора привода насосов. На основании математического моделирования определены рациональные параметры дискретного гидрораспределителя.

#### Литература

1. Белецкий, В.Ф. Строительные машины и оборудование: Справочное пособие для производственников-механизаторов, инженерно-технических работников строительных организаций, а также студентов строительных вузов, факультетов и техникумов. Изд. второе, перераб. и дополн. / В.Ф. Белецкий, И.Г. Булгакова. – Ростов н/Д: Феникс, 2005 – 608 с. – (Строительство).

2. Добронравов, С.С. Строительные машины и основы автоматизации: Учеб. для строит. вузов / С.С. Добронравов, В.Г. Дронов. – М.: Высш. шк., 2001. – 575 с.
3. Строительные машины: Справочник: В 2 т. Т. 1: Машины для строительства промышленных, гражданских сооружений и дорог / А.В. Раннев, В.Ф. Корелин, А.В. Жаворонков и др.; Под общ. Ред. Э.Н. Кузина. – 5-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1991 – 496 с.
4. Гидравлическая система экскаватора: пат. 4818 Респ. Беларусь, F16H 61/40, F15B 11/00 / А.И. Чапля, А.Я. Котлобай, Ю.В. Костко, С.В. Кондратьев, В.Ф. Тамело, А.А. Котлобай; заявитель Белорусский национальный технический университет. – № и 20080350; заявл. 25.04.2008; опубл. 30.10.2008 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – № 5.
5. Навроцкий, К.Л. Теория и проектирование гидро- и пневмоприводов: Учебник для студентов по специальности «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика» / К.Л. Навроцкий. – М.: Машиностроение, 1991 – 384. с.
6. Коробкин, В.А. Агрегаты дискретного действия гидроприводов строительных и дорожных машин / В.А. Коробкин, А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай // Строительные и дорожные машины. – 2010. – №5. – С. 43–46.
7. Бусел, А.В. Моделирование дискретного гидрораспределителя гидропривода строительных и дорожных машин / А.В. Бусел, А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ф. Тамело // Новости науки и технологий. – 2014. – №2. – С. 22–30.
8. Модульная дозирующая система: пат. 63880 Российская Федерация, МПК F15B 11/22 / В.А. Коробкин, А.Я. Котлобай, А.Н. Ивановский, Ю.А. Андрияненко, Б.А. Луцков, А.А. Котлобай; заявитель Республиканское унитарное предприятие «Минский тракторный завод». – № и 2006146474/22; заявл. 25.12.2006; опубл. 10.06.2007. Бюл. №16.
9. Гидронавесная система технологической машины: пат. 72029 Российская Федерация, МПК F16H 61/44 / В.А. Коробкин, А.Я. Котлобай, Ю.А. Андрияненко, Б.А. Луцков, А.А. Котлобай; заявитель Республиканское унитарное предприятие «Минский тракторный завод». – № и 2007142825/22; заявл. 19.11.07; опубл. 27.03.08 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – № 9.
10. Насос шестеренный: пат. 66449 Российская Федерация, МПК F15B 11/22 / В.А. Коробкин, А.Я. Котлобай, А.Н. Ивановский, Ю.А. Андрияненко, Б.А. Луцков, А.А. Котлобай; заявитель Республиканское унитарное предприятие «Минский тракторный завод». – № и 2007115524/22; заявл. 24.04.2007; опубл. 10.09.2007. Бюл. №25.
11. Аксиально-поршневая гидромашинa: пат. 66448 Российская Федерация, МПК F15B 11/22 / В.А. Коробкин, А.Я. Котлобай, А.Н. Ивановский, Ю.А. Андрияненко, Б.А. Луцков, А.А. Котлобай; заявитель Республиканское унитарное предприятие «Минский тракторный завод». – № и 2007114103/22; заявл. 13.04.2007; опубл. 10.09.2007. Бюл. №25.
12. Богданович, Л.Б. Гидравлические приводы: Учеб. пособие для вузов / Л.Б. Богданович. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1980. – 232 с.
13. Коробкин, В.А. Модернизация строительных и дорожных машин на основе создания гидравлических агрегатов нового поколения / В.А. Коробкин, А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ф. Тамело // Новости науки и технологий. – 2012. – №1. – С. 20–27.
14. Метлюк, Н.Ф. Динамика пневматических и гидравлических приводов автомобилей / Н.Ф. Метлюк, В.П. Автушко. – М.: Машиностроение, 1980. – 231 с.

УДК 621.3.088

## АЛГОРИТМ ОЦЕНИВАНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПОГРЕШНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

*В.Л. Соломахо, С.С. Соколовский,*

*Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь, г. Минск*

Одним из наиболее важных этапов при разработке методик выполнения измерений (МВИ) является оценивание погрешностей измерений, что необходимо при проектировании МВИ, сопоставлении конкурирующих вариантов МВИ, проведении метрологической экспертизы средств измерений (СИ) и МВИ и в некоторых других случаях [1–2]. Как правило, количественная оценка погрешности осуществляется экспериментальным путем в ходе проведения тех или иных метрологических процедур, например, метрологической аттестации. Такой подход усложняет проектирование как собственных МВИ, так и подбор или разработку средств измерений, включаемых в МВИ.

Предлагается метод аналитического расчета погрешности средств измерения, базирующийся на концепции метрологического моделирования, который в ряде случаев является единственно возможным путем оценивания. При разработке методики выполнения измерений возникает необходимость создания модели объекта измерений контролируемого параметра, представленного той или иной физической величиной.

Общий подход к решению задачи оценивания погрешностей средств измерений, на базе принятой концепции, заключается в моделировании (с использованием аналитических, графических либо графоаналитических методов) процессов преобразования измерительной информации в измерительной цепи исследуемого средства измерений. По сути, речь идет о моделировании механизмов проявления различных источников инструментальной составляющей погрешности измерений. Весь процесс такого моделирования и исследования погрешностей средства измерений представляет собой следующую последовательность процедур:

- поддетальная декомпозиция конструкции средства измерения;
- моделирование средства измерения в виде иерархической информационной «пирамиды»;
- моделирование (графическая интерпретация) механизмов проявления источников первичных (элементарных) погрешностей средства измерений;
- аналитическое моделирование первичных (элементарных) погрешностей средства измерений (описание первичных погрешностей средства измерений в виде уравнений связи таких погрешностей с некоторыми влияющими параметрами средства измерений);
- количественная оценка первичных (элементарных) погрешностей средства измерений;
- комплексирование первичных (элементарных) погрешностей средства измерений и получение интегральной количественной оценки погрешности средства измерений.

Общая стратегия оценивания искомой комплексной инструментальной погрешности измерения предполагает:

- выделение источников элементарных (первичных) инструментальных погрешностей;
- графическую интерпретацию механизмов их возникновения;
- расчетные схемы и аналитические зависимости для их количественной оценки.

Проиллюстрируем данный подход на примере анализа источников инструментальной погрешности, возникающей при применении инструментальной головки специального средства измерения для контроля номинально сферических элементов деталей, изображенного на рис. 1.



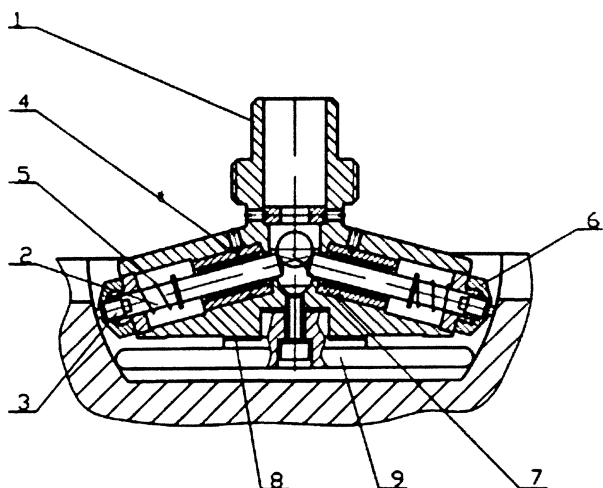


Рис. 1. Конструкция инструментальной головки специального средства измерения для контроля номинально сферических элементов деталей:

- 1 – корпус; 2 – стержень измерительный;
- 3 – наконечник измерительный;
- 4 – направляющие качения; 5 – пружина;
- 6 – колпачок; 7 – шарик передаточный; 8 – шайба юстировочная; 9 – мостик центрирующий

Конструкция головки рассматриваемого СИ состоит из корпуса 1, в котором установлены три подвижных, подпружиненных измерительных стержня 2, имеющих возможность осевого перемещения в точных направляющих качения 4, причём ось каждого измерительного стержня направлена по нормали к измеряемой поверхности, т.е. по её радиусу, а угол между проекциями осей измерительных стержней на плоскость, перпендикулярную оси СМСИ, равен  $120^\circ$ . Измерительные стержни в рассматриваемом СМСИ являются зависимыми щупами.

Измерения с помощью данного СИ осуществляются методом сравнения с мерой, для чего оно настраивается на ноль по специальной образцовой мере. После настройки устройство устанавливается на контролируемую деталь таким образом, чтобы его базировочное приспособление

плотно прилегало к контролируемой конической поверхности детали, а измерительные наконечники упирались в контролируемую поверхность. При отклонении радиуса окружности, образованной в определенном сечении конической поверхности, от номинального, измерительные наконечники переместятся в радиальном направлении. Возникающее перемещение измерительных наконечников посредством «плавающего» шарика передается измерительному стержню и преобразуется измерительным преобразователем перемещения.

Возникающие при использовании инструментальные головки данной конструкции источники первичных погрешностей приведены в табл. 1.

Пример графической интерпретации механизмов возникновения элементарных составляющих инструментальной погрешности измерений, расчетные схемы и аналитические зависимости для их количественной оценки представлен в табл. 2.

На основании полученных оценок элементарных (первичных) инструментальных погрешностей можно провести оценивание комплексной инструментальной погрешности средства измерения с использованием следующей аналитической модели:

$$\Delta_{\text{и}\Sigma} = 0,85 \sqrt{\sum_{i=1}^n C_i^2 \cdot \Delta_{\text{и}i}^2},$$

где  $C_i^2$  – коэффициент влияния  $i$ -той элементарной (первичной) инструментальной погрешности;

$\Delta_{\text{и}i}^2$  – количественная оценка  $i$ -той элементарной (первичной) погрешности.

Принятый алгоритм при расчете погрешности средств измерений, базирующееся на модели средства измерения, позволяет реализовать системный подход к исследованию источников инструментальной погрешности, что гарантирует выделение всех значимых элементарных (первичных) составляющих, облегчает их аналитическое описание и, на этой базе, количественное оценивание.

Табл. 1

Источники первичных инструментальных погрешностей

№ п/п	Конструктивный элемент	Источники первичных инструментальных погрешностей
1.	Шарик передаточный	Отклонение формы рабочей поверхности шарика
2.	Стержень измерительный	Отклонения от прямолинейности образующих номинально конических рабочих поверхностей измерительных стержней
3.		Отклонения от круглости поперечных сечений номинально конических рабочих поверхностей в измерительных стержнях
4.		Отклонения профиля продольного сечения направляющих наружных номинально цилиндрических поверхностей измерительных стержней (их бочкообразность)
5.		Отклонения от круглости направляющих наружных номинально цилиндрических поверхностей измерительных стержней (их овальность)
6.		Разноразмерность шариков в направляющих
7.	Тела качения шариковых направляющих	Отклонения формы рабочих поверхностей шариков в направляющих (отклонения их от сферичности)
8.	Направляющие втулки	Отклонения профиля продольного сечения внутренних рабочих номинально цилиндрических поверхностей направляющих втулок (их седлообразность)
9.		Отклонения от круглости внутренних рабочих номинально цилиндрических поверхностей направляющих втулок (их овальность)
10.		Отклонения от соосности наружной и внутренней номинально цилиндрических поверхностей направляющих втулок
11.		Зазоры в сопряжениях направляющих втулок с корпусом
		и др.

Табл. 2

Аналитическая оценка элементарных инструментальных погрешностей

Источники элементарных (первичных) инструментальных погрешностей	Графическая интерпретация механизма возникновения составляющей инструментальной погрешности	Расчетная схема и аналитическое моделирование составляющей инструментальной погрешности
Отклонения от соосности наружной и внутренней номинально цилиндрических поверхностей направляющих втулок		$T_{\circ} = L_{\gamma} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{10}$ $\varphi_{10} = \operatorname{arctg} \frac{T_{\circ}}{L_{\gamma}}$ $\Delta_{\text{и}10} = \Delta_{\text{xt}} \left( \frac{1}{\cos \varphi_{10}} - 1 \right)$

**Литература**

1. Соколовский, С.С. Метрологическое моделирование как основа проектирования и реализации методик выполнения измерений / С.С. Соколовский, Д.В. Соломахо, Б.В. Цитович // «Приборы и методы измерений» / Минск: БНТУ, 2010. – №1. – С. 147–152
2. Соколовский, С.С. Классификация метрологических моделей // С.С. Соколовский, Д.В. Соломахо, Е.А. Герман // Наука – образованию, производству, экономике – 2010: материалы 8 МНТК / БНТУ. – Минск. – С. 341.

УДК 621.01: 658.512

## ПОСЛОЙНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСКРОЙНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*Бородавко В.И., Пынькин А.М., Пуйман Д.В., Хейфец М.Л.  
ГНПО «Центр» НАН Беларуси, г. Минск*

Изготовление масштабных макетов, легко разрушаемых прототипов и заготовок деталей машин из композиционных материалов с рабочими поверхностями сложного профиля «прямым вращиванием» без использования дорогостоящей формообразующей оснастки, сокращая стадии технологической подготовки производства, наилучшим образом удовлетворяет требованию снижения материальных и трудовых затрат [1, 2].

Изучение методов получения деталей машин без формообразующей оснастки, сравнение их преимуществ и недостатков, определение областей рационального применения синтезируемых изделий позволили выделить три основных направления развития методов послойного синтеза изделий, связанные с применением [3, 4]:

- 1) концентрированных потоков энергии в качестве источников формообразования;
- 2) различных видов и форм материалов заготовки;
- 3) распределения потоков энергии по поверхности и глубине обрабатываемого объекта.

В результате при проектировании технологии послойного синтеза применяются как методы получения деталей из конструкционных материалов, использующие концентрированные потоки энергии, так и методы автоматизации и управления процессами оперативного макетирования и производства изделий [5, 6].

Анализ с позиций использования концентрированных потоков энергии в качестве источников формообразования (первое направление развития) особенностей традиционных методов получения деталей машин без формообразующей оснастки стереолитографией (Stereolithography

Application – SLA), селективным лазерным спеканием (Selective Laser Sintering – SLS), послойной заливкой экструдированным расплавом (Fused Deposition Modeling – FDM), послойным формированием моделей из листового материала (Laminated Object Manufacturing – LOM) и другими процессами позволил рассмотреть частные и выделить общие принципы построения различных методов технологии послойного синтеза [2, 7].

Для повышения качества поверхности формируемого изделия и снижения длительности процессов макетирования и производства (SLA, SLS, FDM, LOM и др.) с позиций видов и форм заготовок применяемых материалов (второе направление развития) рассмотрено рациональное разбиение на слои, с учетом оценки качества поверхности, зависящей от формы изделия.

Анализ разбиения в различных методах послойного синтеза обеспечивает выбор наиболее рациональных процессов макетирования и производства конкретного изделия [3].

Рассмотрим схему алгоритма разбиения изделия на слои. Она состоит из блоков:

1. Компьютерная модель изделия, включающая его геометрическое описание, определение критериев оптимальности конструкции путем выявления «мертвых» зон для потоков энергии или вещества, в которых достижение требуемых параметров качества поверхности проблематично.

2. Выделение слоя максимально возможной толщины  $h$  тах с проверкой и корректировкой слоя, если он является последним. При этом рассматривается разбивка на слои одинаковой толщины и разными углами наклона кромок, вписанных в геометрический профиль (рис. 1, а), и

неравномерной толщины различных слоев (рис. 1, б). Разбивка непосредственно влияет на геометрические параметры качества поверхности ( $R_{max}$ ,  $R_z$ ,  $R_a$  и др.).

3. Оценка рельефа поверхности  $R_{max}$  по периметру слоя осуществляется путем проверки параметров качества поверхности, получаемых в текущем слое.

4. Корректировка путем изменения толщины слоя с использованием коэффициентов понижения  $a$  производится при недопустимых параметрах рельефа поверхности (например:  $a = 0,7...0,8$  для SLA- и SLS-процессов;  $a = 3/4, 1/2, 1/4, ...$  – для FDM- и LOM- процессов).

5. Присоединение слоя к предыдущему или подложке сопровождается проверкой сцепления текущего слоя с предыдущим по размеру площади перекрытия слоев.

6. Проверка завершения синтеза изделия заканчивает цикл послойного «выращивания» и подсчитывает общее количество слоев изделия.

7. Верификация модели – завершающий этап компьютерного сопоставления «выращенной» модели и исходной.

Расчет общего количества слоев (блок 6) позволяет оценить эффективность процесса, выбираемого для послойного синтеза изделия заданной формы одним из предлагаемых методов (SLA, SLS, FDM, LOM и др.). Верификация модели послойного синтеза (блок 7) дает возможность проверить удовлетворение требований к геометрическим параметрам качества сложнопрофильных поверхностей, заложенных в компьютерную модель изделия (блок 1).

Регулирование толщины слоя (блок 4) и угла «разделки» его кромок (блок 2) позволяет управлять геометрическими параметрами качества сложнопрофильной поверхности (блок 3) и вносить корректировки в начальный выбор метода

оперативного макетирования и производства.

Проверка сцепления слоев изделия в ряде случаев требует, помимо определения площади их перекрытия (блок 5), также анализа рельефа плоской или сложнопрофильной поверхности. Последний вариант обычно используется при нанесении оболочек или покрытий на послойно «выращенное» изделие.

Анализ достижимости точности формирования поверхностей с позиций влияния плотности мощности применяемых концентрированных потоков энергии (третье направление развития) позволяет рекомендовать ряд источников энергии для использования в раскройном оборудовании.

Практически непрерывный ряд по плотности мощности обеспечивают следующие технологические источники: газовое пламя и плазменная дуга; сварочная дуга и искровые разряды; непрерывный и импульсно-периодический лазеры. Особый интерес вызывают потоки абразивных частиц, реализующие при взаимодействии высоконапорной струи с поверхностью, процессы аналогичные изнашиванию и выкрашиванию при интенсивном трении и приработке [2]. Это обусловило, в зависимости от решаемых задач, достаточно активное применение в раскройном оборудовании: газопламенных, плазменных, электроискровых (эрозионных), лазерных источников энергии. Альтернативу этим источникам в большом диапазоне плотности мощности для широкого круга задач могут обеспечить гидроабразивные потоки высокоскоростной водной струи (рис. 2).

Для расширения технологических возможностей раскройного оборудования в ОАО «Центр» разработан 5-координатный порталный манипулятор, обеспечивающий резку под углом криволинейных поверхностей плазменной поворотной головкой (рис. 3).

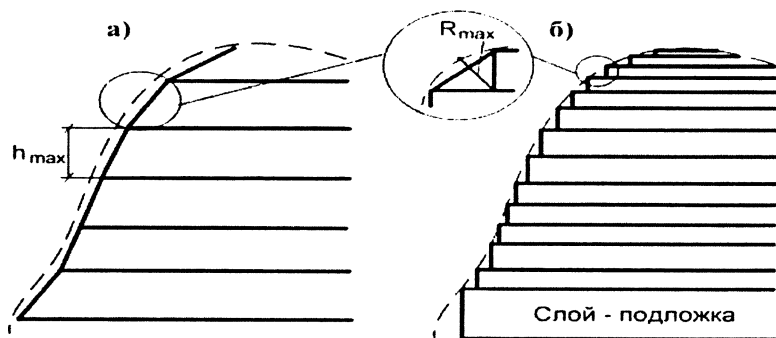


Рис. 1. Разбивка изделия на слои

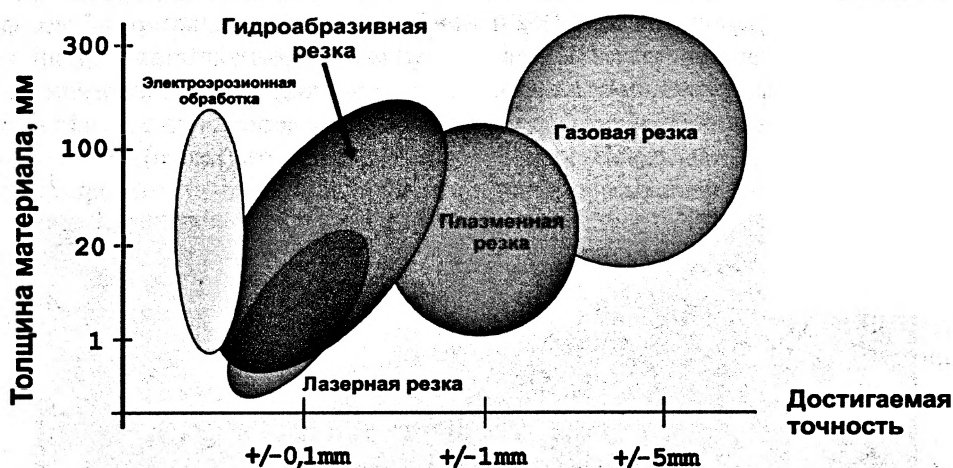


Рис. 2. Использование концентрированных потоков энергии в раскройном оборудовании

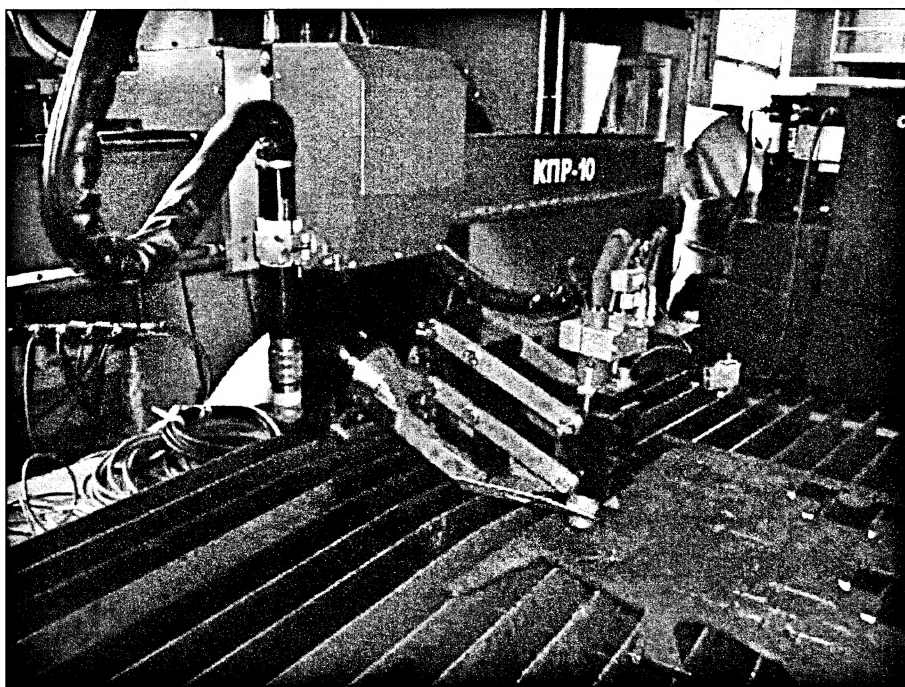


Рис. 3. Система резки под углом криволинейных поверхностей плазменной головкой

Это позволяет проводить разделку и подготовку кромок перед сварочными операциями, существенно расширяет возможности технологических комплексов при обработке толстолистовых заготовок и обеспечивает переход к широкому применению технологий «прямого выращивания» путем листового раскроя и сборки изделий [4].

Рассмотрим пример изготовления детали, с использованием автоматизированного комплекса, оборудованного поворотным 5-координатным манипулятором.

Исходной информацией служит твердотельная модель изделия (рис. 4), подготовленная в графическом редакторе – Creo, КОМПАС 3D, SolidWorks, Unigraphics и т.п.

Готовое изделие состоит из ряда фигурных пластин (рис. 5). Контур каждой пластины будет формироваться на автоматизированном комплексе с 5-координатным манипулятором. Для программирования обрабатываемого контура, необходимо использовать САМ (Computer-aided manufacturing) модуль, предназначенный для

подготовки управляющих программ для станков с числовым программным управлением (ЧПУ), и разработанный для конкретной системы ЧПУ автоматизированного комплекса, постпроцессор [8, 9]. Сборка всех пластин изделия осуществляется на конусном штоке.

Рассмотрим пример создания цельной твердотельной 3D-модели, которая будет формироваться путем сборки элементов различной формы и толщины, полученных путем листового раскроя. Изделие будет собираться на подставке с разборным каркасом (рис. 6).

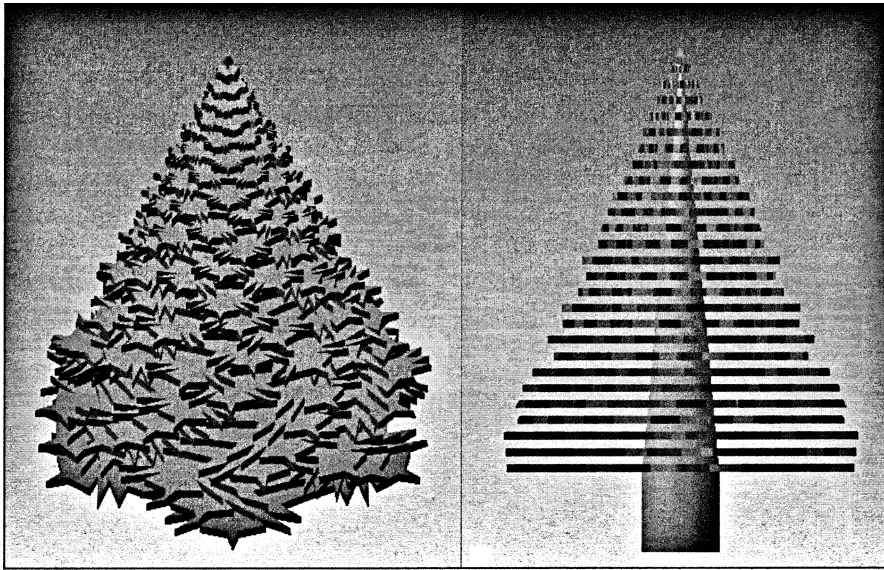


Рис. 4. Сборочная 3D модель изделия в различных проекциях

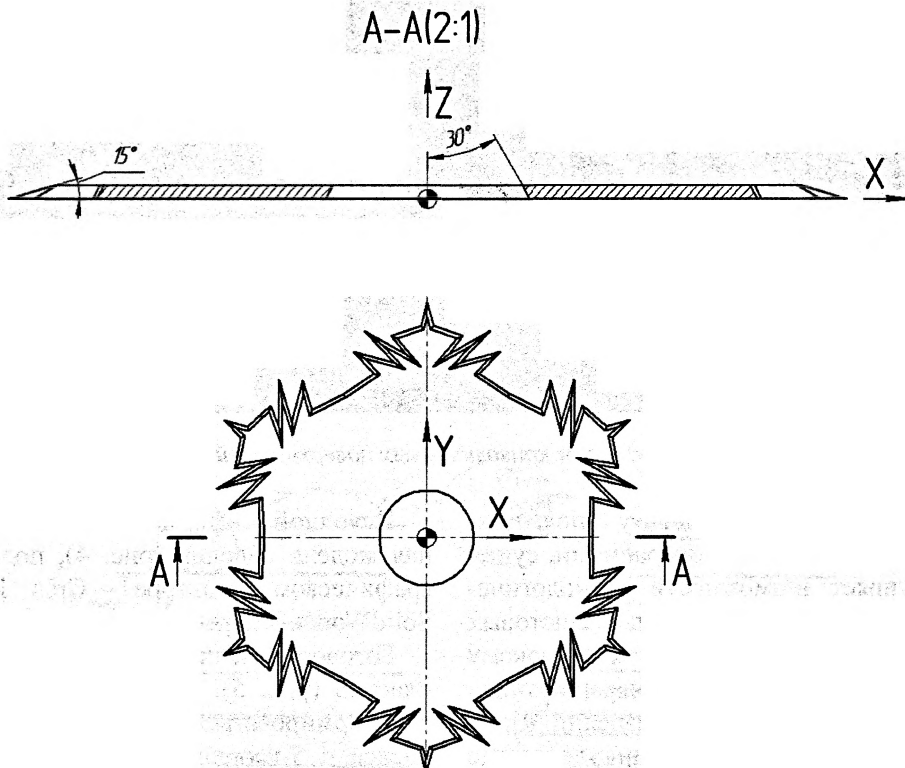


Рис. 5. Пластина, получаемая при листовом раскрое на автоматизированном комплексе, с использованием 5-координатного манипулятора

Для более точного представления изделия, с учетом его сложной геометрии, модель разбивается на слои (рис. 7). При обеспечении заданной точности воспроизведения поверхности сечения получатся разной толщины. После чего, для правильного выбора количества листового материала, необходимо произвести оценку толщин всех сечений. Сечения с одинаковой толщиной объединяются в группы. Каждая группа сечений раскладывается на листовом материале необходимой толщины. Для этого используется графический редактор. В каждом сечении делается по два технологических отверстия для сборки (рис. 8).

Используя САМ-пакет (Hypermill; Unigraphics; Turbonest и др.) готовится программа обработки для каждого контура сечений [10]. Написание кода программы зависит от используемой, в автоматизированном комплексе, системы ЧПУ (Sinumerik; Fanuc; Heidenhain). Программирование осуществляется при помощи G-кода. Обработка производится в 5-осях: линейное перемещение манипулятора по координатным осям и углы поворота головки под разделку кромок и вращения при обходе по контуру.

Действия повторяются для каждой группы сечений. Полученные пластины последовательно собираются на подставке.

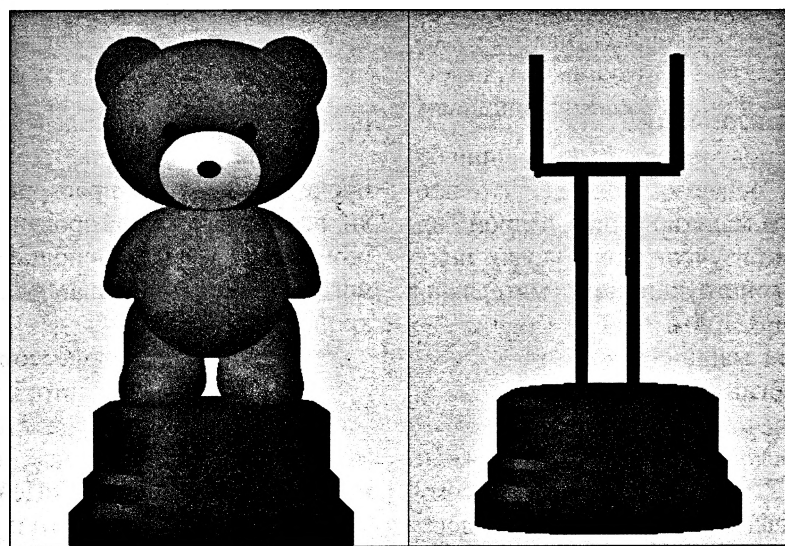


Рис. 6. 3D-модель в сборе и подставка с каркасом для сборки изделия

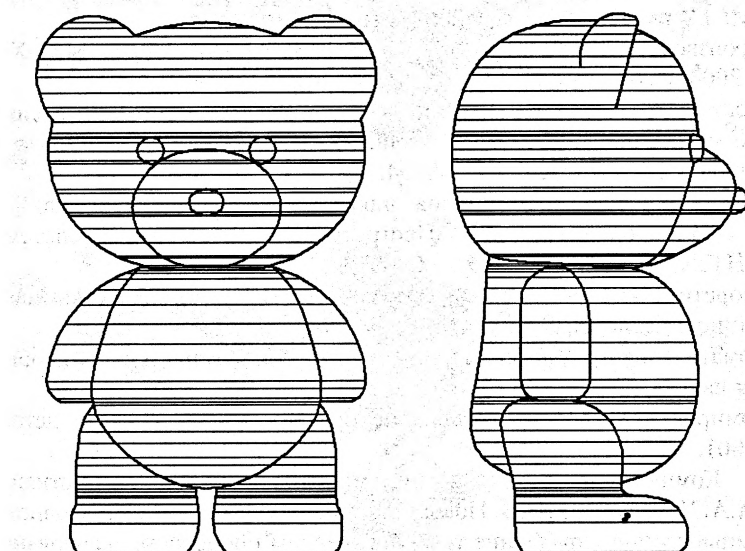


Рис. 7. Рассечение 3D-модели на слои

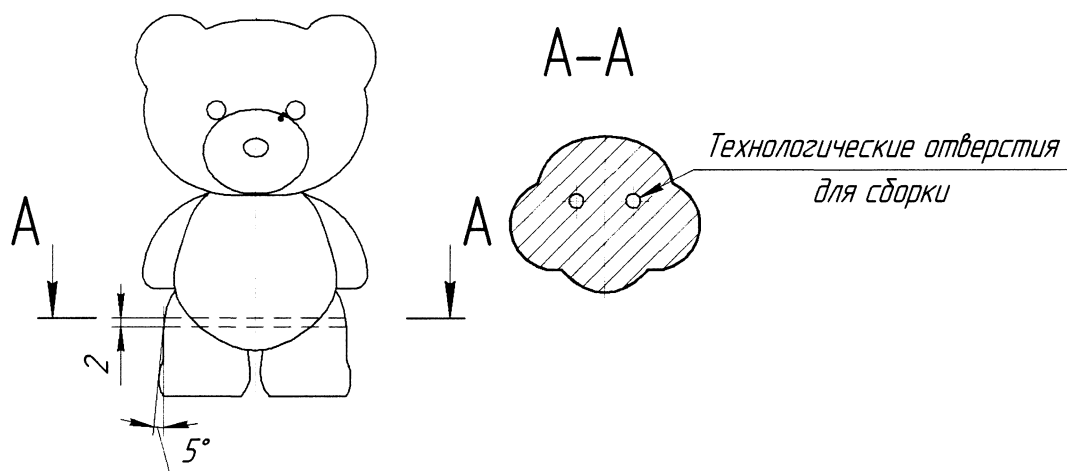


Рис. 8. Выделение пластины под раскрой

### Заключение

Анализ методов получения деталей машин без формообразующей оснастки показал, что процессы оперативного макетирования и производства требуют, кроме изучения технологии получения изделия из конструкционных материалов для масштабных макетов и легко разрушаемых прототипов деталей машин, разработки информационных технологий их моделирования.

Для технологии LOM (Laminated Object Manufacturing) – послойного формирования из листового материала, с целью обеспечения высокой точности геометрической формы, рекомендован алгоритм разбиения изделия на слои различной тол-

щины, учитывающий разделку их кромок под углом.

Рассмотрено компьютерное проектирование процессов листового раскроя и послойной сборки, на примерах формирования изделий сложной геометрии, с учетом использования 5-координатного манипулятора в автоматизированном раскройном комплексе.

Для управления процессом листового раскроя концентрированными потоками энергии на автоматизированном комплексе, целесообразно использовать дополнительный модуль, реализованный на установке ГНПО «Центр» НАН Беларуси в качестве 5-координатного портального манипулятора, обеспечивающего резку под углом.

### Список использованных источников

1. Норенков, И.П. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии / И.П. Норенков, П.К. Кузмик. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 320 с.
2. Интеллектуальное производство: состояние и перспективы развития / под ред. М.Л. Хейфеца, Б.П. Чемисова. – Новополоцк: ПГУ, 2002. – 268 с.
3. Чижик, С.А. Перспективы развития технологических комплексов аддитивного синтеза композиционных материалов и формообразования изделий / С.А. Чижик, М.Л. Хейфец, С.А. Филатов // Механика машин, механизмов и материалов, 2014, №4(29). – С. 68–74.
4. Проектирование технологических комплексов для формообразования изделий концентрированными потоками энергии / В.И. Бородавко [и др.] // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2014. – Вып. 3(49). – С. 31–37.
5. Русецкий, А.М. Теоретические основы проектирования технологических комплексов / под общ. ред. А.М. Русецкого. – Минск: Беларуская навука, 2012. – 239 с.
6. Русецкий, А.М. Автоматизация и управление в технологических комплексах / под общ. ред. А.М. Русецкого. – Минск: Беларуская навука, 2014. – 375 с.
7. Хейфец, М.Л. Формирование свойств материалов при послойном синтезе деталей / М.Л. Хейфец. – Новополоцк: ПГУ, 2001. – 156 с.
8. Черепашков, А.А. Компьютерные технологии, моделирование и автоматизированные системы в машиностроении / А.А. Черепашков, Н.В. Носов. – Волгоград: Изд. дом «Ин-Фолио», 2009. – 640 с.
9. Денисенко, В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / В.В. Денисенко. – М.: Горячая линия-Телеком, 2009. – 608 с.
10. Харазов, В.Г. Интегрированные системы управления технологическими процессами / В.Г. Харазов. – СПб.: Профессия, 2009. – 592 с.



## ТРЕНАЖЕРЫ ДЛЯ ОЗДОРОВЛЕНИЯ И СПОРТА

*Павлович А.Э., патентный поверенный Республики Беларусь, к.т.н.*

Инженер-механик Козлов Андрей Александрович и руководитель спортивно-оздоровительного клуба «Маговей» Дубровский Сергей Николаевич изобрели, запатентовали и недавно внедрили тренажеры для оздоровления и спорта.

В так называемом «Шагающем тренажере» (рис. 1) есть оригинальный привод имитато-

ра ходьбы [1] для восстановления двигательных функций пациентов, преимущественно инвалидов, имеющих парез или паралич нижних конечностей. Тренажер применяется для выполнения комплексных реабилитационных упражнений пациентом и может использоваться в отделениях реабилитации медицинских учреждений и в домашних условиях.

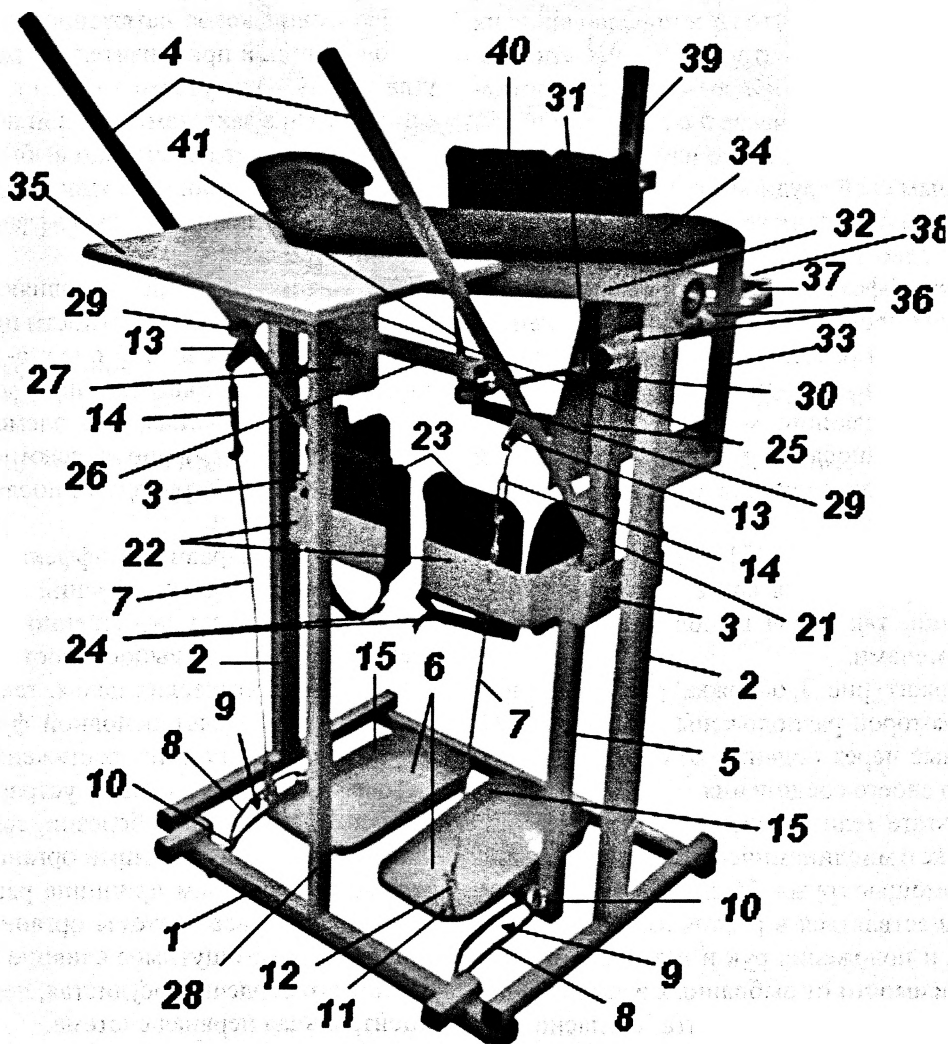


Рис. 1. «Шагающий тренажер»

Такой тренажер, содержит станину 1, к двум стойкам 2 которой подвижно, через качающиеся плечи 3 закреплены рукоятки 4 и рычаги 5, на которых установлены педали 6 с возможностью своего качательного движения относительно рычагов 5. При этом концы педалей 6 с помощью эластичных жгутов 7 соединены с рукоятками 4.

Причем рычаги 5 соединены со станиной 1 с помощью дополнительных эластичных жгутов 8. Дополнительными эластичными жгутами 8 образованы петли 9, пропущенные через кольцевые крюки 10, установленные на рычагах 5 и станине 1.

При совершении «ходьбы» за счет натяжения эластичных жгутов 7 осуществляется подъем и опускание педалей 6 (рис. 2, обложка) вместе со стопами 16 пациента, т.е. обеспечивается имитация естественного их движения при ходьбе человека.

Одновременно с этим, при отведении ноги пациента назад происходит растяжение дополнительных эластичных жгутов 8 и прослабление их при ведении ноги пациента вперед. Т.е. этим изменяется с нарастанием и ослаблением сопротивление перемещению рычагов 5 с педалями 6, при этом пациент чувствует такие изменения, тренируя тем самым свой грудной отдел, руки, мышцы живота, спины и нижних конечностей со стороны имитатора ходьбы.

Высокая эффективность такого имитатора ходьбы в тренировке и реабилитации пациентов с двигательными расстройствами связана с тем, что кинезитерапия (лечение движением) – это особый метод, дающий мощные специфичные стимулы к восстановлению утраченных функций и существенно повышающий качество жизни человека.

Другой тренажер [2], под названием «Правило», применяется как в травматологии и реабилитации, так и для выполнения упражнений спортсменами.

Он содержит (рис. 3, обложка) раму 7, на верхней части которой расположены гибкие тяги 11, пропущенные через подвижные блоки 12 с возможностью своего соединения

В результате тело тренирующегося подвергается вытяжке с миодинамическим на него воздействием с помощью грузов 16. Данное воздействие может осуществляться в различной комбинации количества и положения рук и ног тренирующегося, в зависимости от выбранных элементов позвоночно-двигательного сегмента, согласно схе-

ме, показанной на рис. 4.

Причем предельные положения конечностей в точках 40 анатомически ограничиваются индивидуально для каждого тренирующегося по границам проекции задействованных мышц и органов на горизонтальную или другую поверхность ложемента 9 тренажера.

Тренировочному или реабилитационному воздействию, таким образом, подлежит, выбранная дифференцированно по тренировочной или лечебной задаче, цепочка мышц и сухожилий, связанная с проблемной областью или органом.

Приведенное усилия (F<sub>np</sub>) от соединенных с этими гибкими тягами 11 четырех устройств для задания нагрузки (манжет или рукояток) по продольной оси тренирующегося, расположенного лежа на ложементе 9, равно:

$$F_{np}=4F_T \times 1/\tan\alpha,$$

где F<sub>T</sub> – одинаковое натяжение гибких тяг 11; α – угол, который приблизительно равен половине угла между натянутыми гибкими тягами 11, соединенными с захватами рук или ног.

Это позволяет изначально выбирать места избирательной установки подвижных блоков 12 и точек 40 соединений с целью эффективного применения тренажера.

На таком тренажере выполняются упражнения на растягивание, в частности при вытяжении или выравнивании костей опорно-двигательного аппарата тренирующегося при локальном вытяжении позвоночника, его элементов, других связок и фасций с периодическим сокращением, удержанием под нагрузкой и с последующим расслаблением мышц.

Тренажер «Правило» эффективен для тренировки мышц, связок, фасций и суставов, что позволяет выйти на качественно новый уровень тренировки силовой выносливости. Применяется как в профилактических целях, так и в лечебной физкультуре. За счет основной функции тренажера, направленной на растяжение тренирующегося, можно эффективно устранять мио-фасциальные напряжения; болезни, связанные с позвоночником и внутренними органами. В связи с целебным действием принципа растяжения гармонизируются все системы организма человека, при этом самое осязаемое влияние на себе испытывают его сердечнососудистая, периферическая и центральная нервная система.

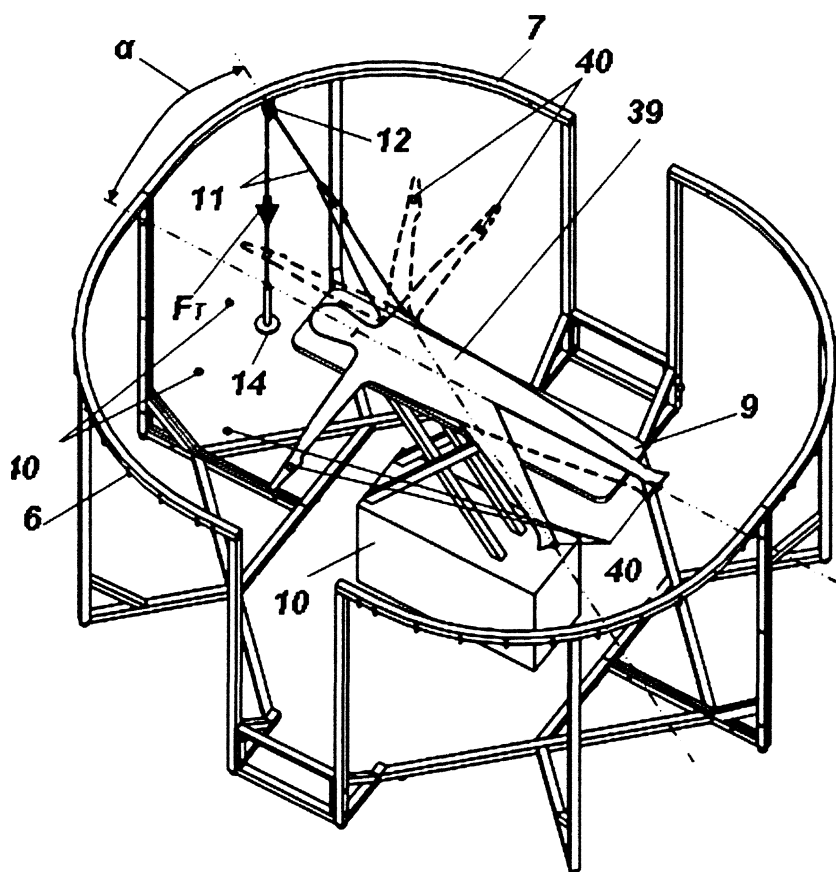


Рис.4. Схема

**Источники информации**

1. Патент ВУ 10451 U, МПК А63В 22/06, приоритет 16.09.2014. опубликован 30.12.2014, О.Б. НЦИС РБ №6, 2014 г.
2. Патент ВУ 10576 U, МПК А63В 21/06, приоритет 03.09.2014. опубликован 28.02.2015, О.Б. НЦИС РБ №1, 2015 г.

## О ПРОБЛЕМНЫХ ВОПРОСАХ В ЛИФТОВОМ ХОЗЯЙСТВЕ

*Липский Н.В.*

*Главный государственный инспектор  
отдела надзора Минского городского управления*

Решением комиссии Таможенного Союза 18 октября 2011 г. № 824 с 15 февраля 2013 года на территории стран Содружества вступил в действие технический регламент Таможенного союза ТР ТС 011/2011 «Безопасность лифтов» (далее – ТР ТС 011/2011). Указанным решением (абзац 3 пункта 3.3) установлено что, лифты, введенные в эксплуатацию до вступления в силу ТР ТС 011/2011 и не отработавшие назначенный срок службы, должны быть приведены в соответствие требованиям ТР ТС 011/2011 до окончания назначенного срока службы. Кроме того, ТР ТС 011/2011 установлено, что лифты, введенные в эксплуатацию до вступления в силу указанного технического регламента и отработавшие назначенный срок службы, должны быть приведены в соответствие требованиям технического регламента не позднее 15 февраля 2020 г.

Приведу некоторые требования безопасности, изложенные в ТР ТС 011/2011 и которые не учтены в конструкции лифтов, введенных в эксплуатацию до принятия данного регламента:

1.6 наличие средств для освещения кабины, предназначенной для перевозки людей, в том числе при перебое в электроснабжении;

1.14 оборудование кабины, предназначенной для перевозки людей, средствами для подключения к двухсторонней переговорной связи, при помощи которой пассажир может вызвать помощь извне;

1.19 обеспечение воздухообмена в кабине, предназначенной для перемещения людей;

1.30 предел огнестойкости дверей шахты должен устанавливаться в соответствии с требованиями пожарной безопасности.

По состоянию на 30.06.2015 г. года в Минском городском управлении зарегистрировано 18956 лифтов из которых 15901 установлены в жилом фонде г. Минска, (отработали нормативный срок службы и подлежат замене и (или) модернизации – 6104 лифта (38 %).

В системе жилищно-коммунального хозяйства замена лифтов осуществляется в плановом порядке. Несмотря на то, что с 2007 года замена пассажирских лифтов увеличилась, темпы их замены на сегодняшний день не достаточны. Так, в 2007 году заменено 103 пассажирских лифта (при плане – 103 лифта, реализация составила 100 %), соответственно, в 2008 – 243 лифта (при плане – 243 ед., реализация – 100 %), в 2009 – 289 ед. (при плане – 392 ед., реализация – 73 %), в 2010 – 311 ед. (при плане 311 ед., реализация – 100 %), в 2011 – 343 ед. (при плане 343 ед., реализация составила 100 %), в 2012 – 308 ед. (при плане 308, реализация составила 100 %), в 2013 – 190 ед. (при плане 190 ед., реализация составила 100 %), в 2014 – 138 ед. (при плане 138 ед., реализация составила 100 %), в 2015 – запланировано к замене 144 лифта, отработавших нормативные сроки эксплуатации, при этом по представленной информации за 6 месяцев заменено 71 ед. при плане 83. Не выполнили план замены лифтов за полугодие следующие ЖРЭО г. Минска: Московское, Первомайское, Советское, Фрунзенское.

Если вопрос приведения лифтов в соответствие требованиям ТР ТС 011/2011 в системе жилищно-коммунального хозяйства находится под контролем, то данный вопрос с лифтами, установленными в административных зданиях, учреждениях здравоохранения, производственных помещениях субъектов хозяйствования находится в неудовлетворительном состоянии, так за 2014–2015 год из указанной категории заменено всего лишь 46 лифтов.

Обеспечить выполнение требований ТР ТС 011/2011, в части приведения лифтов в соответствие с установленными требованиями безопасности, можно путем замены лифтов, а также проведением их модернизации. При этом модернизация лифтов в соответствии с ТР ТС 011/2011 на территории Республики Беларусь практически не применяется.

При сохранении имеющихся темпов замены лифтов выполнение требований ТР ТС 011/2011 в г. Минске может быть обеспечено не ранее 2027 года, что недопустимо.

Для выполнения поставленной задачи по приведению лифтов в соответствие требованиям ТР ТС 011/2011 владельцам лифтов с участием специализированных по лифтам организациями необходимо активизировать деятельность в этом направлении и составить планы замены (модернизации) лифтов в г. Минске с окончательным сроком их реализации не позже 15 февраля 2020 года.

## ТРУЖЕНИК НЕБА

(продолжение)

Клеванец Ю.В.

### 3. Война

#### 3.1 Великая Отечественная

Итак, ситуация на 22.06.1941. ВВС и авиация флота имели около 50 самолётов типа ПС-84, которые в основном использовались как штабные. «Аэрофлот» располагал 82 машинами ПС-84 и ДС-3. Все или почти все были в пассажирском варианте. С 1939 г. разрабатывались и испытывались десантный и транспортный, а также санитарный варианты. Все со снятыми креслами, с усиленным полом, без туалетов, теплозащиты и системы обогрева. Десантный позволял перевозить 25–30 (в перегрузку) парашютистов с оружием, которые внутри рассаживались на длинные скамейки по центру пола спиной друг к другу. Десантирование производилось в 2 двери в хвостовой части фюзеляжа, те, что сидели лицом к левому борту, прыгали через левую дверь, остальные в правую. Вся операция занимала 16–20 секунд, десант за это время не сильно разлетался в воздухе и приземлялся на площадку 500×500 м.

До войны в СССР на учениях отрабатывалось десантирование парашютистов, однако с началом боевых действий оказалось, что опыт применения этого рода войск всё-таки недостаточен. Во-первых, не хватало секретности. Если противник узнавал о предполагаемой выброске парашютистов, то одного–двух истребителей хватало, чтобы сорвать операцию, даже и самую крупную. Ну, а во-вторых – пилоты и без вражеских истребителей не всегда хорошо ориентировались, не всегда выдерживали правильный курс, высоту и скорость. В результате десантники разлетались на большие расстояния и вместо того, чтобы выполнять задание после приземления, ещё долго собирались, искали потерявшихся.

ПС-84К (так называли транспортно-десантный вариант) был в этом смысле лучше других самолётов в СССР, но и в случае его применения некоторое время нужно было затратить на предварительные тренировки.

Со снятыми десантными скамейками ПС-84К мог перевозить грузы в тюках и в ящиках или, к примеру, 76,2-мм пушку со снарядным ящиком. В самолёте имелась грузовая дверь 1500×162 мм и кран-балка для грузов.

Санитарный вариант ПС-84И мог перевозить 18 носилочных раненых с сопровождающим.

Реальное производство вариантов «И» и «К» до войны только разворачивалось, а серийный выпуск начался с июля для варианта «К» и с сентября для варианта «И».

Теперь несколько слов об истории тех самолётов, что поступили в эксплуатацию до начала войны.

23 июня Указом СНК СССР ГВФ подчинялся Народному комиссару обороны. 26.06 последовал приказ Ставки ГВК о формировании Московской авиационной группы особого назначения (МАГОН) в количестве 50 самолётов ПС-84, отобранных у ГВФ. Первое крупное задание для этой группы – помощь топливом, боеприпасами и продовольствием, вывоз раненых из котла в районе Волковиск – Новогрудок, в который попали части 10-й и 3-й советских армий. В реальности было несколько полётов на поддержку окружённых войск, эти полёты можно назвать жертвенными. Невысотные, нескоростные, невооружённые, но тяжело гружёные самолёты летали без прикрытия истребителей, в результате – первые потери.

Вообще 30-летние «пиджаки» (так на авиационном жаргоне называли гражданских лётчиков) были, конечно, не столь боевыми ребятами, как 20–25-летние военные пилоты, однако имели гораздо больший и жизненный, и профессиональный опыт. Их не смущали полёты в облаках, в сложных метеоусловиях и ночью, они лучше ориентировались на местности.

Но у «пиджаков» были и специфические недостатки. Гражданские пилоты, к примеру, привыкли ориентироваться в воздухе по линиям желез-

ных дорог и по станциям, а в условиях полётов над занятой врагом территорией это было смертельно опасным делом, так как немцы всегда заботились о хорошем прикрытии своих перевозок силами ПВО. Пришлось переучиваться на ориентирование по рекам и озёрам.

Ну и, конечно, сами ПС-84, равно как и «Дугласы», очень устойчивые в полёте, но соответственно, инертные при маневрировании, требовали обязательного истребительного прикрытия при выполнении боевых заданий.

Следующее важное задание для МАГОН и экипажей ГВФ – это налаживание воздушных мостов для снабжения окружённых городов: сперва Ленинграда, а потом и Севастополя. Уже летом 1941 года первые полёты в Ленинград добавили список потерь экипажей транспортников. В результате с августа 1941 года все выпускаемые самолёты ПС-84 стали оснащаться верхней стрелковой точкой, турелью МВ-1 (конструкции Можаровского-Веневидова) с пулемётом ШКАС (Шпитального-Комарницкого, авиационный, скорострельный; скорострельность 1800 выстрелов в минуту, запас 1500 патронов). В следующем месяце добавили ещё 2 ШКАСа в боковых окнах. В экипажи стали включать стрелков. Находящиеся в эксплуатации самолёты тоже переоборудовались и дооснащались стрелковыми точками силами заводских бригад и аэродромных техников. При этом вследствие отсутствия ШКАСов в боковые окна порой ставились пулемёты ДА (Дегтярёва авиационный). В это же время кресла пилотов усилили 8-мм броневыми спинками.

Продолжим рассказ об истории эксплуатации. Осенью 1941 года была организована Ленинградская АГОН в составе 30 самолётов. Московская группа в это время была подключена к снабжению Севастополя. Всего экипажами МАГОН было сделано 229 вылетов на аэродром Херсонес, перевезено более 300 тонн грузов, вывезено 2168 раненых. Ленинградская группа с 10.10 по 25.12 1941 года, как сообщается в литературе, перевезла в осаждённый город 6 тыс. тонн грузов, вывезла из города 50 тысяч жителей и раненых. Но, кроме того, в Ленинграде в это время продолжали работать военные заводы, в частности завод авиационного приборостроения. Самолёты АГОН снабжали заводы материалами и вывозили их продукцию на Большую землю.

В перерывах между участием в крупных транспортно-десантных операциях самолёты МАГОН по заданиям НКВД и ГРУ забрасывали в тыл противника диверсионные и разведыватель-

ные группы. Так, в частности, в сентябре 1941 года в Любанский район Минской области была заброшена группа Г.М. Линькова, а в феврале следующего, 1942 года группы В.В. Щербины и Д. Кеймаха.

В октябре 1941 года все наличные на московских аэродромах транспортные самолёты были задействованы в переброске под Орёл воздушно-десантного корпуса. Самолёты взлетали с перегрузкой, так как брали на борт по 30 бойцов. Всего было перевезено 5440 человек.

В том же октябре фронт приблизился к Химкам. 14.10 был получен приказ на эвакуацию завода №84 в Ташкент. Часть работников участвовала в перевозке и погрузке оборудования, часть достраивала самолёты из имеющихся заделов. Всего с 14.10 по 18.11 1941 года в Ташкент было отправлено 996 вагонов с оборудованием и материалами. В Химках до прекращения работ было построено 237 самолётов. Из 9332 работников завода в Ташкент приехали 4373. Часть осталась на месте для ремонта самолётов, несколько сотен погибли или были покалечены немецкими бомбами во время переезда. Весь декабрь в Ташкенте шла подготовка производства. Отдельно надо отметить, что А.А. Сеньков, как работник ЦАГИ, эвакуировался вместе со своим институтом в Куйбышев, а на Ташкентский завод был назначен новый главный конструктор И.П. Мосолов. Уже в январе 1942 года здесь были выпущены первые 8 ПС-84К. В феврале были построены ещё 16, а с марта начался ритмичный выпуск по самолёту в сутки. Бывший нарком авиапромышленности А.И. Шахурин в своих мемуарах пишет, что наркоматом был даже организован выпуск кинофильма о том, как следует организовывать ритмичную работу авиационного производства на примере Ташкентского завода.

В то же время произошла ещё одна реорганизация эксплуатирующих подразделений. В марте 1942 года приказом Ставки была сформирована Авиация дальнего действия (АДД). В апреле, опять же по приказу Ставки, в АДД влилась Московская АГОН. Она стал теперь называться Первой воздушно-транспортной дивизией. Дивизия эта состояла из 2 полков, 101-го и 102-го. 101 полком командовала Валентина Степановна Гризодубова, Герой Советского Союза.

Авиация ГВФ в то же время была переименована в Военно-транспортную авиацию (ВТА) и делилась по-военному: на полки и дивизии. Отдельная дивизия (до того – авиаотряд в 60 самолётов типа ПС-84) была передана в ведение

Наркомата авиационной промышленности, экипажи этого подразделения, по воспоминаниям наркома А.И. Шахурина, отнюдь не сидели без дела.

В настоящей работе мы будем больше всего внимания уделять именно 101 полку АДД и самолётам ГВФ-ВТА, поскольку их чаще всего привлекали для снабжения белорусских партизан (конечно, в ГВФ были самолёты разных типов, а не только ПС-84).

Один из самолётов 101 полка в апреле 1942 года на подмосковном аэродроме оборудовали подфюзеляжными держателями авиационных бомб, прямо в одном из окон установили бомбардировочный прицел, произвели несколько испытательных полётов на бомбометание. Результат получился неплохой. Нарком авиапромышленности Шахурин лично пошёл к Сталину с докладом об этом эксперименте. Именно в тот момент в связи с эвакуацией на фронте крайне не хватало бомбардировщиков. Сталин одобрил инициативу, и с этого времени на Ташкентском заводе стали выпускать модификацию ПС-84 НБ (ночной бомбардировщик). Надо заметить: что новая модификация могла участвовать и в транспортных, и в десантных операциях, поскольку бомбы крепились только на наружных подвесках. Первые самолёты НБ стали поступать в подразделения Авиации дальнего действия уже в мае 1942 года. Один такой самолёт поднимал 4 бомбы калибра 250 кг, радиус действия при этом составлял 1000–1200 км. В перегрузку возможно было использование и четырёх 500-килограммовых бомб. Немного позже вариант НБ начали оснащать дополнительно подкрыльевыми направляющими для реактивных снарядов. Три задних пулемёта заменили одним, но калибра 12,7 мм. В носу был установлен неподвижный ШКАС для стрельбы вперёд. Самолёты с таким вариантом размещения вооружения строились затем в течение всей войны.

Дальность полёта со всем вооружением и с 1 тонной бомб составляла до 1200 км, с 2 тоннами около 500 км, скорость рейсовая 220–240 км/ч, максимальная до 340 км/ч, высота полёта средняя 2000–2500 м, мощность моторов АШ-62: взлётная 1000 л. с., нормальная на высоте 1500 м – 840 л. с., нормальная расчётная 738 л. с. Потребная длина ВПП 400–450 м, посадочная дистанция с высоты 25 м – 1300 м.

Во время войны была выпущена серия машин с моторами М-88 с максимальной мощностью 1100 л. с. Прототип этого мотора с названием

«Мистраль-Мажор К14» был закуплен у французской фирмы «Гном-Рон» в 1932 году примерно тем же порядком, что и «Циклон» у американцев и выпускался на Запорожском моторном заводе под индексом М-85. Прототип 14-цилиндровый, как и мотор «Твин Уосп» фирмы «Пратт-Уитни», о котором говорилось выше. Поскольку французский двигатель более ранней разработки чем американский, то у него несколько меньше степень сжатия и обороты. Советские инженеры немедленно принялись устранять этот недостаток, так появились моторы М-87 и М-88 в разных вариантах. Ценным свойством мотора М-88 было то, что его нагнетатель позволял «держаться» максимальной мощностью до высоты 4500 метров. Все лётные параметры с такими моторами были несколько выше, например, максимальная скорость возросла до 350–360 км/ч.

Когда в 1-ой транспортной дивизии АДД самолётов варианта НБ стало больше, чем просто транспортных, её переименовали в Ночную бомбардировочную. Уже в июле 1942 года ночных бомбардировщиков ПС-84 было 150 машин. «Ночники» АДД набирались опыта в бомбардировках железнодорожных станции. А в августе 1942 года они уже участвовали в оборонительной фазе Сталинградской битвы, бомбили переправы на Дону.

В мае 1942 года начал действовать Центральный штаб партизанского движения (ЦШПД). С мая же Авиация дальнего действия приступила к регулярной заброске десантов на территорию, оккупированную противником. Так, в частности, были заброшены десанты в окрестности Минска, в Любанский, Мозырский, Бобруйский районы Белорусской ССР. В состав десантов входили радисты с рациями. В мемуарах ветеранов партизанского движения это событие отмечается как отдельная важная веха.

В Кличевском районе к этому времени уж действовала партизанская зона. Поэтому было принято решение об организации там партизанского аэродрома, для чего в Кличев вылетели офицеры-техники. Аэродром (лучше сказать посадочную площадку) строили всем миром: и партизаны, и окрестное население, а в ночь на четвёртое июня 1942 года здесь приземлился первый самолёт с Большой земли. Это был ПС-84К 101-го полка АДД, командир экипажа Виталий Павлович Бибикив. Если появление радистов в партизанских отрядах расценивается авторами-мемуаристами как важное событие, то прилёт самолёта стал настоящим праздником. На площадку шли

делегации окрестных деревень, чтобы только посмотреть на самолёт. Мемуаристы пишут, что появление связи с Большой землёй принесло партизанам надежду: теперь каждым обратным рейсом из Кличева вывозились раненные, больные, дети, семьи командиров.

С середины июля в Кличев вылетало до 12 самолётов разных типов ежедневно. В это же время строилась площадка в Любанском районе (Альбинский лес). Бегомльские партизаны пытались отбить довоенный ещё аэродром и закрепить вокруг него; началось строительство площадки в районе Могилёва. Также в разных районах Белорусской ССР расчищались площадки для выброски грузов. ЦШПД посылал на оккупированную территорию десятки специалистов. Было признано целесообразным на площадке для парашютной выброски организовать обслуживающую команду в 15–20 человек. На посадочной площадке должны были работать постоянно 40–45 человек. При этом каждая посадочная площадка прикрывалась силами 1000–2000 партизан в две–три линии. Также проявилась потребность организации метеослужбы в партизанских зонах. ЦШПД начал посылать на оккупированную территорию специалистов и офицеров – метеорологов.

Партизанам везли не только оружие, но и кинопередвижки с советскими фильмами, и просто газеты. В литературе сообщается, к примеру, что номер газеты «Правда» с докладом Сталина к 24 годовщине Октябрьской революции прочитали в 3 районах Витебской области не менее 40 тысяч человек.

С приобретением опыта экипажи АДД, ГВФ и фронтовой авиации, обеспечивающие партизан, демонстрировали во время выполнения заданий высокую выучку и бесстрашие. Так, в литературе отмечается подвиг экипажа 101-го полка АДД под командованием М.И. Поповича, перевозившего боеприпасы для партизан бригады Заслонова. В день его вылета немцы атаковали партизанскую посадочную площадку. Узнав об этом, командир экипажа принял решение продолжать выполнение задания. Самолёт сел под огнём, разгрузился под огнём и взлетел под огнём противника.

Надо отметить, что враг вообще не сидел сложа руки. Кроме постоянных попыток отбить посадочные площадки или устроить диверсии немцы

и местные коллаборанты делали ложные площадки, чтобы сбить с толку лётчиков. Экипажи должны были находить ночью среди горящих в нескольких местах костров нужные, чтобы не попасться врагу.

Некоторым экипажам удавалось на своих тяжёло гружёных машинах не только уходить от огня немецких ночных истребителей, но и сбивать самолёты противника.

В сентябре 1942 года вышел приказ Главкома ВВС о переименовании самолётов типа ПС-84 в Ли-2 по имени Б.П. Лисунова, главного инженера Химкинского, а затем Ташкентского авиационных заводов.

В том же месяце был совершён первый массовый вылет на перевозках грузов к партизанам, в котором были задействованы все самолёты 101-го полка АДД.

Осенью 1942 года немецким оккупационным командованием на территории Белорусской ССР проводилась первая крупномасштабная карательная операция. Соответственно, усилилась и боевая работа советской военно-транспортной и дальней авиации по снабжению партизан. Сообщается, что только 101 полк АДД совершил в ноябре–декабре 1942 года совершил 200 самолёто–вылетов к партизанам.

Всего в декабре 1942 года на территории БССР действовали уже 13 посадочных площадок, в том числе одна на льду озера Червонное.

В начале следующего, 1943 года Ли-2 получили последнее за время войны крупное усовершенствование: был разработан глушитель-пламегаситель ГАМ-10, в апреле прошли испытания, после чего этими агрегатами стали оснащать серийные самолёты.

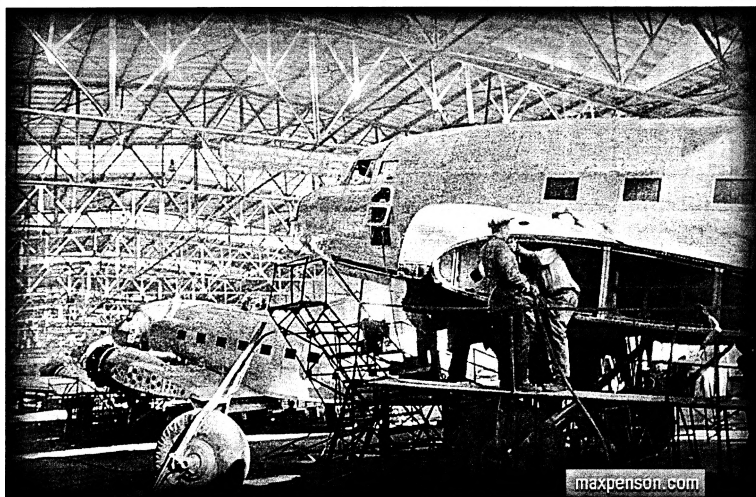


Рис. 1. Сборка самолётов Ли-2



Всю зиму 1942–43 годов не прекращалось снабжение партизан самолётами Ли-2 Авиации дальнего действия. В литературе отмечаются самые удивительные случаи. Так, сообщается, что в ночь на 18.03.1943 года экипаж Ли-2 101-го полка АДД, командир корабля С.С. Запыленов, вывозил из-под Могилёва раненных и женщин. Во время перелёта линии фронта машина попала под обстрел с земли. От испуга у одной из женщин, жены командира партизанского отряда №620, начались роды. Экипажу пришлось и пробиваться через огонь, и оказывать медицинскую помощь. Самолёт благополучно приземлился на свой аэродром в 4 часа утра.

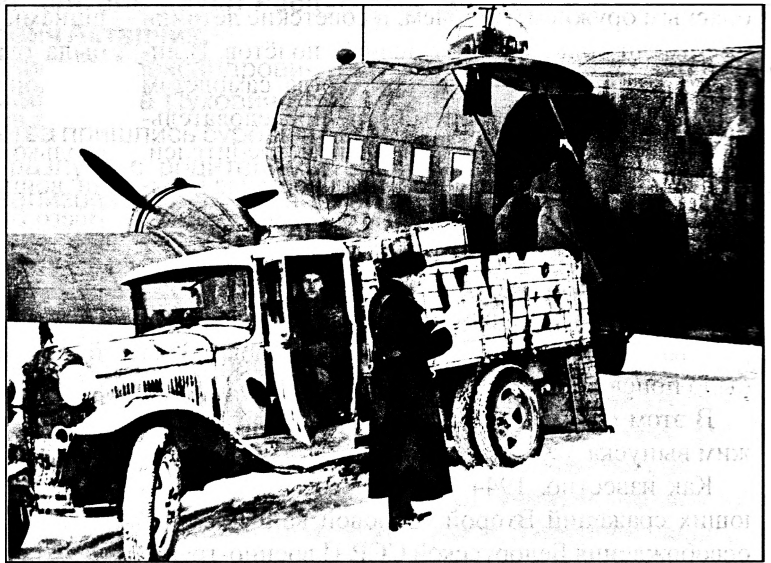


Рис. 2. На прифронтовом аэродроме

В следующем месяце ЦШПД организовал первую крупную операцию по нарушению железнодорожного сообщения в тылу врага. Соответственно, к транспортным самолётам АДД была подключена целиком 1-я авиационная транспортная дивизия, входившая ранее в ГВФ, под командованием М.П. Казьмина. Эта дивизия также оснащалась самолётами Ли-2. Всего АДД и ГВФ-ВТА за апрель месяц доставили белорусским партизанам 373 т грузов и перевезли 48 специалистов-подрывников.

В то же время в части ночной бомбардировочной и транспортной авиации начали поступать американские самолёты Си-47, «родные братья» Ли-2, полученные по Ленд-Лизу. Надо заметить, что для перегонки истребителей, бомбардировщиков и транспортных машин с Аляски на советский Дальний Восток И. Сталин распорядился снять с фронта две лучшие авиадивизии. Перегонка осуществлялась так: самолёт Си-47 перевозил наших лётчиков на Аляску, затем, на обратном пути он же становился самолётом-лидером, так как в его экипаже был штатный штурман. Остальные машины гуськом летели за лидером. Действовал также и трансатлантический маршрут перегонки, через Марокко. Всего за годы войны СССР получил от США около 700 «Дакот» Си-47 (встречается цифра 719, но неизвестно, учитываются ли здесь те «Дугласы», что были закуплены ранее).

К этому времени на самолёты «Дугласа» устанавливались двигатели фирмы «Пратт-Уиттни», дальнейшее развитие упоминавшегося ранее «Твин Уосп» мощностью от 1200 до 1400 л. с. Поэтому американские «Дугласы» были несколь-

ко быстрее и грузоподъёмнее советских, могли перевозить в качестве нормальной нагрузки 28 десантников. На «Дакотах», кроме того, были более мощные радиостанции, на них не текли краны. Лучше работала антиобледенительная система, ресурс воздушных винтов фирмы «Гамильтон» был в пять раз больше, чем у советских ВИШ-21. За всё за это американский «Дуглас» был любим советскими техниками.

Летом 1943 года, во время проведения крупных наступательных операций Красной Армии, продолжилось снабжение партизан самолётами ночной бомбардировочной и транспортной авиации. При этом ночные бомбардировщики по-прежнему бомбили по ночам транспортные объекты противника. Транспортники на своих Ли-2 в сентябре 1943 года, во время проведения Киевской операции, перебрасывали крупные десанты на Барвенковский плацдарм на правом берегу Днепра. В этой операции участвовали Ли-2 трёх дивизий ГВФ-ВТА.

Нужно сказать, что и противник в это время не терялся, а наращивал свои силы. Со второй половины 1943 года на Восточном фронте появляются специальные ночные истребители с радиолокаторами «Лихтенштейн». Это были переделанные бомбардировщики Ю-88, До-17 и истребители Ме-110. Система «Лихтенштейн» позволяла «захватывать» цель на расстоянии 4 км, до того истребитель наводился по командам с земли. Ещё и раньше немецкие самолёты оснащались высокочастотной радиосистемой опознавания «свой-чужой». Локаторы вместе с системой опознавания делали немецкие ночные истребители весьма

опасным оружием. Впрочем, и советские лётчики уже имели большой опыт ночных полётов. В литературе приводятся примеры, когда самолётам Ли-2 удавалось уклониться от последовательных шести атак немецких ночных истребителей. Противник впустую расстреливал боезапас и выходил из боя. Однако в 1943 году с задания не вернулись 22 самолёта 101 полка АДД.

Всего за 1943 год этот полк совершил 622 вылета к белорусским партизанам, вывез более 1600 раненых. Группе лётчиков и штурманов полка было присвоено звание Героя Советского Союза.

В этом году Ташкентский завод вышел на режим выпуска двух самолётов в сутки.

Как известно, 1944 год стал временем решающих сражений Второй Мировой войны, годом освобождения Белорусской ССР. И военно-транспортная, и дальняя авиация в это время наращивают интенсивность снабжения партизан. В литературе говорится, что АДД перебросила партизанам в январе 14,8 т грузов, в феврале 40,7 т, в марте 58,1 т, забросила 34 десантника, вывезла 93 раненных. Только в марте 1944 года транспортная авиация совершила не менее 300 вылетов к партизанам, при этом потеряв 3 самолёта. Кроме перевозки грузов самолёты Ли-2 с приближением фронта стали ещё и буксировщиками планеров.

Многие экипажи 101 полка АДД и транспортной авиации были награждены в 1944 году по ходатайству партизан медалями «Партизану Великой Отечественной войны», несколько экипажей были символично зачислены в партизанские отряды, а одному из соединений барановичских партизан присвоено имя Валентины Гризодубовой.

В начале 1944 года был окончательно деблокирован Ленинград, военные действия переместились на территорию Финляндии. Ночные бомбардировщики Авиации дальнего действия в это время большими группами бомбили Хельсинки, Турку, Оулу, Котку. Самолёты во избежание столкновений шли на задание длинными вереницами с большими интервалами между отдельными ма-

шинами. Заметим, что если в 1942 году в АДД была одна дивизия ночных бомбардировщиков, то к концу 1944 года их стало 5.

Во время операции «Багратион» Ли-2 уже не столько снабжали партизан, сколько перевозили воинские части для ускорения наступления. Всего было перевезено около 42 тыс. человек. В сентябре 1944 года штаб партизанского движения Белоруссии был перевезён на самолётах Ли-2 из Гомеля в Минск, а это около тысячи человек и 95 тонн разных грузов.

В том же сентябре ночные бомбардировщики АДД в массовом порядке применялись для ударов по Венгрии, бомбили Будапешт, Дебрецен, Сегед. Они же снабжали болгарских, словацких и югославских партизан оружием, горючим, продовольствием. В начале 1945 года те же Ли-2 применялись для бомбардировки Кёнигсберга, позднее сбрасывали десанты в Чехию.

Всего заводом №84 было произведено в 1941 году 102 самолёта в пассажирском и 135 в транспортном варианте, в 1942 – 386 ночных бомбардировщиков и военно-транспортных машин, в 1943 – уже 641 машина, в 1944 было вновь выпущено 10 пассажирских самолётов и 617 самолётов военного назначения, в 1945 – соответственно 40 гражданских и 458 военных машин.

На 22.06.41 ГВФ имел 82 самолёта типа «Дуглас» и ПС-84, на 01.06.1945 в ГВФ-ВТА насчитывалось 357 самолётов типа Ли-2 и С-47, общие потери 257 машин, из них сбито в бою 107.

На вооружении АДД на 01.01 1943 было 84 самолёта Ли-2, в июле того же года – 150, ещё через год – 400, в мае 1945 года – 593. Ночные бомбардировщики были самой многочисленной частью Авиации дальнего действия. Общие потери самолётов типа Ли-2 в АДД за время войны 387.

Общий налёт за время войны самолётов типа Ли-2 составил около 2 млн часов, перевезено 1,5 млн бойцов и командиров, 123 тыс. тонн грузов, эвакуировано более 360 тыс. раненых, в том числе 12 тыс. партизан, к партизанам отправлено 66 тыс. человек.



**Белорусская наука понесла тяжелую утрату – 1 декабря ушел из жизни известный ученый и организатор науки, доктор технических наук, профессор, академик НАН Беларуси, заслуженный деятель науки Республики Беларусь Станислав Александрович Астапчик.**

Станислав Александрович родился 7 сентября 1935 года в городе Марьино Горка Пуховичского района Минской области. На годы его детства пришлось суровые испытания – оккупация родной земли, долгая разлука с родителями. Закаленный невзгодами подросток смог реализовать свой потенциал и блестяще пройти жизненный путь – физфак БГУ, ФТИ АН БССР, заведующий лабораторией, директор института, академик-секретарь Отделения физико-технических проблем машиностроения и энергетики НАН Беларуси.

Он начал трудовую деятельность в 1960 году в Физико-техническом институте, где прошел все ступеньки роста – от старшего инженера, младшего научного сотрудника, старшего научного сотрудника, заведующего лабораторией металловедения до заместителя директора и с 1983 по 2002 год директора института.

Именно здесь он сформировался как ученый, нашел научное направление, ставшее делом всей жизни, создал авторитетную научную школу. В научном мире широко известны работы академика С.Астапчика по физике метастабильных состояний в металлах и сплавах, физическим основам фазовых и структурных превращений при воздействии интенсивных потоков энергии, влиянию больших скоростей нагрева и охлаждения на критические точки и интервалы фазовых и структурных превращений. Не менее важны работы по механизмам и кинетике гетерогенных фазовых и структурных превращений в мартенситно-стареющих, нержавеющей сталях, по скоростному непрерывному отжигу электротехнических и листовых сталей, цветных сплавов.

За создание научных основ, разработку и промышленное внедрение технологических процессов термического упрочнения сталей и сплавов в 1986 году С.Астапчик в авторском коллективе был удостоен Государственной премии СССР в области науки и техники.

Последние годы его деятельности связаны с разработкой научных и технологических основ поверхностной модификации материалов с использованием мощных потоков лазерного излучения и плазменного воздействия. Под руководством С.Астапчика созданы и внедрены в производство высокоэффективные технологические процессы и оборудование лазерной резки и сварки, лазерного углубления и восстановления быстроизнашивающихся деталей авиакосмической, автомобильной и сельскохозяйственной техники.

Глубокие знания позволили С.Астапчику достичь впечатляющих результатов в образовательном и научно-организационном процессе. Им подготовлено 15 кандидатов и 5 докторов наук в Беларуси, России и Украине, из которых двое стали академиками и один – членом-корреспондентом Академии наук.

За время двадцатилетнего директорства Станислава Александровича в ФТИ, на которые пришлось годы реформ и многочисленных преобразований в жизни страны, институту удалось не только сохранить тематику научных направлений и костяк ведущих специалистов, но и развернуть работы по новым перспективным научным направлениям.

С 1987 по 1997 год С.Астапчик являлся академиком-секретарем Отделения физико-технических проблем машиностроения и энергетики (ныне ОФТН). На этом посту им вложено немало сил в развитие исследований и разработок по приоритетным направлениям науки и техники – машиностроению, энергетике, приборостроению, по созданию новых материалов, внесен весомый вклад в развитие научной, экономической, социальной и общественной жизни Национальной академии наук.

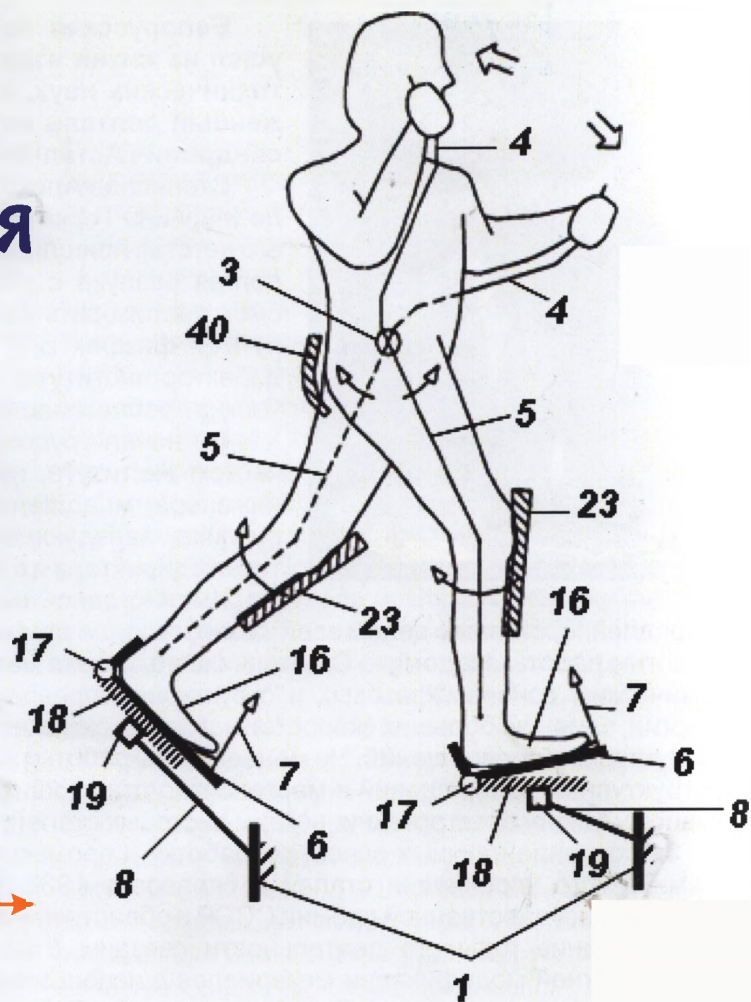
Активная научная и научно-организационная деятельность С.Астапчика неоднократно отмечалась государственными наградами. За заслуги в развитии науки и техники, внедрение результатов исследований в народное хозяйство, подготовку кадров он отмечен высокими правительственными наградами: орденами Октябрьской революции, Знак почета, орденом Почета, многочисленными медалями и почетными грамотами. Ему присуждено звание «Заслуженный деятель науки Республики Беларусь».

За всем, им содеянным, стояли не личные амбиции, не собственные интересы, а дело науки, которой он преданно служил 60 лет.

В его личности сочетались широчайшая профессиональная эрудиция, аналитический ум и энциклопедические знания с тонким пониманием и глубоким знанием литературы и искусства. Он не переставал удивлять коллег и друзей активной жизненной позицией, широтой интересов, темпераментом и остротой оценок, принципиальным и при этом доброжелательным отношением к окружающим, чем на протяжении своего жизненного пути снискал глубокое уважение и искреннюю симпатию людей разных возрастов, профессий и званий.

Светлая память о Станиславе Александровиче Астапчике навсегда сохранится в наших сердцах.

# Тренажеры для оздоровления и спорта



«Шагающий тренажер»



Тренажер «Правило»