

# ИНЖЕНЕР- МЕХАНИК

№ 4 (89)  
октябрь – декабрь  
2020

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 Чижик С.А.

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

Адрес редакции:

220141, Минск, ул. Ф. Скорины, 52/6

тел./ факс 262-64-28; 264-00-80

E-mail: mail@boim.by

Свидетельство о регистрации № 1132 от 21.04.1998

Подписной индекс 001392

Компьютерная верстка Н.В. Побяржина

Подписано в печать 29.12.2020.

Формат 60×84/8. Бумага офсетная.

Гарнитура «Таймс». Печать офсетная.

Усл. печ. л. 5,6. Уч.-изд. л. 4,7.

Тираж 50 экз. Заказ №

Цена номера договорная.

Отпечатано с оригинал-макета заказчика в ЧПТУП  
«Колорград»

Лицензия ЛП № 02330/474 от 08.09.2015 г.

220033, г. Минск, пер. Велосипедный, 5, оф. 904.

www.segment.by

## СОДЕРЖАНИЕ

### Разработки ученых и специалистов

Высокопроизводительные технологии прецизионного механо-физико-химического формирования и упрочнения поверхностей деталей. Чижик С.А., Акулович Л.М., Лавриненко В.И., Майборода В.С., Ивашки С., Казак Н.....2

О применении канатного транспорта. Вавилов А.В., Шавель А.А., Игнатович Н.С.....5

Эффективные базовые шасси для создания многофункциональных строительных машин в Беларуси. Вавилов А., Митрофан Г.....9

Методы и алгоритмы обработки радиолокационных сигналов при малых отношениях сигнала к шумам. Артемьев В.М., Наумов А.О., Костромицкий С.М.....17

Механика блочного лука. ч.3. Факторы, влияющие на качество выстрела. Доброго К.В.....23

### Материалы конференций и семинаров

Инновационные технологии в машиностроении. Из материалов международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию машиностроительных специальностей и 15-летию научно-технологического парка Полоцкого государственного университета. (Новополоцк, 21-22 апреля 2020 г.).....34

### Патентуем сами

К вопросу о нарушении патента изобретения или полезной модели. Павлович А.Э.....46

УДК 621.791.93: 621.81

## **ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕЦИЗИОННОГО МЕХАНО-ФИЗИКО- ХИМИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ**

*С.А. Чижик, Институт тепло- и массообмена им. А.В.Лыкова НАН Беларуси,  
Л.М. Акулович, Белорусский государственный аграрный технический университет,  
Институт прикладной физики НАН Беларуси,*

*В.И. Лавриненко, Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины,  
В.С. Майборода, Национальный технический университет Украины «КПИ им. И.Сикорского»  
С. Ивашку, Н. Казак, Институт прикладной физики АН Молдовы*

Разнообразие условий работы узлов трения обусловило появление множества способов упрочнения и восстановления размеров изнашиваемых поверхностей. Выбор технологии упрочнения и размерной обработки восстановленных поверхностей определяется условиями эксплуатации изделия. Одним из наиболее экономичных решений данной проблемы является использование поверхностного модифицирования деталей трибосопряжений с последующей финишной обработкой, а также разработка новых комбинированных способов, использующих совмещение различных технологических воздействий. Электромагнитные потоки наиболее просты в управлении и в этой связи особенно перспективны при создании установок для комбинированной упрочняюще-размерной технологии.

Предпочтительными являются технологии, пригодные как для упрочнения новых, так и для восстановления изношенных изделий. При этом учитываются возможность создания на детали такого покрытия, которое удовлетворяло бы эксплуатационным требованиям к рабочей поверхности и сохраняло бы физико-механические свойства основы. Одним из таких способов является магнитно-электрическое упрочнение (МЭУ), позволяющее осуществлять поверхностное упрочнение и восстановление металлических поверхностей.

МЭУ имеет ряд существенных достоинств: не требуется специальной подготовки поверхности

перед упрочнением; отсутствует температурная деформация детали; управление технологическими режимами производится достаточно просто.

Вместе с тем для процесса МЭУ свойственна неравномерность распределения по упрочняемой поверхности отдельных вкраплений материала композиционного ферромагнитного порошка (ФМП), вызванная спонтанным формированием токопроводящих цепочек из зерен ФМП и, как следствие, местом возникновения электрических разрядов. Это приводит как к снижению сплошности наносимого покрытия, так и к неэффективному использованию упрочняющего порошка.

Проведенные исследования процесса МЭУ были направлены на интенсификацию нанесения покрытий управлением электрическими разрядами, изменяющими усилия прижима зерен ФМП к упрочняемой поверхности. Однако комплексное влияние параметров магнитного поля, электрической проводимости рабочего зазора между упрочняемой поверхностью и полюсным наконечником магнита, на обеспечение сплошности наносимого покрытия, а затем на его износостойкость не установлена. Кроме того, на износостойкость упрочненной поверхности существенное влияние оказывают геометрические параметры качества, формируемые при ее последующей обработке.

Одним из эффективных методов повышения износостойкости рабочих поверхностей деталей является комбинирование МЭУ и магнитно-абра-

зивной обработки (МАО). Эти способы магнито-электрофизической обработки могут быть реализованы на одном оборудовании (рис. 1), в едином технологическом процессе.

К преимуществам МЭУ относятся высокая прочность сцепления покрытия с основой, отсутствие термической деформации и специальной подготовки поверхностей. Достоинствами МАО являются возможности управления плотностью и жесткостью режущего инструмента из зерен ферромагнитного порошка (ФМП), которые обеспечивают параметр Ra шероховатости обрабатываемых поверхностей в диапазоне 0,01 – 1 мкм, снижение волнистости в 8 – 10 раз и гранности до 2 раз.

Целью проведенного исследования являлось повышение износостойкости и контактной жесткости рабочих поверхностей деталей комбинированной магнито-электрофизической обработкой, сочетающей процессы магнито-электрического упрочнения и магнито-абразивной обработки шлифованной после упрочнения поверхности.

В результате исследований рассмотрены комбинированные методы и технологии нанесения покрытий на металлические поверхности электроискровыми разрядами и упрочняющей абразивной обработки в магнитном поле. Показаны возможности повышения износостойкости ме-

таллических поверхностей совместными методами легирования поверхностного слоя детали магнито-электрическим упрочнением и уменьшения его шероховатости магнито-абразивной обработкой.

Получены математические модели в виде многофакторных регрессионных уравнений второго порядка, адекватно описывающие: зависимости производительности процесса упрочнения и сплошности формируемых покрытий из ферромагнитного порошка Fe-2%V на поверхностях образцов из стали 30ХГС от технологических факторов магнито-электрического упрочнения, а также зависимости производительности процесса и изменения шероховатости шлифованных поверхностей этих образцов от технологических факторов магнито-абразивной обработки. Определены рациональные технологические режимы процессов магнито-электрического упрочнения и магнито-абразивной обработки по различным критериям оптимальности, характеризующим производительность и качество обработки.

Выявлено, что наибольшее влияние на производительность процесса магнито-электрического упрочнения и сплошность формируемого покрытия оказывает величина магнитной индукции в рабочем зазоре. Анализ полученных зависимо-

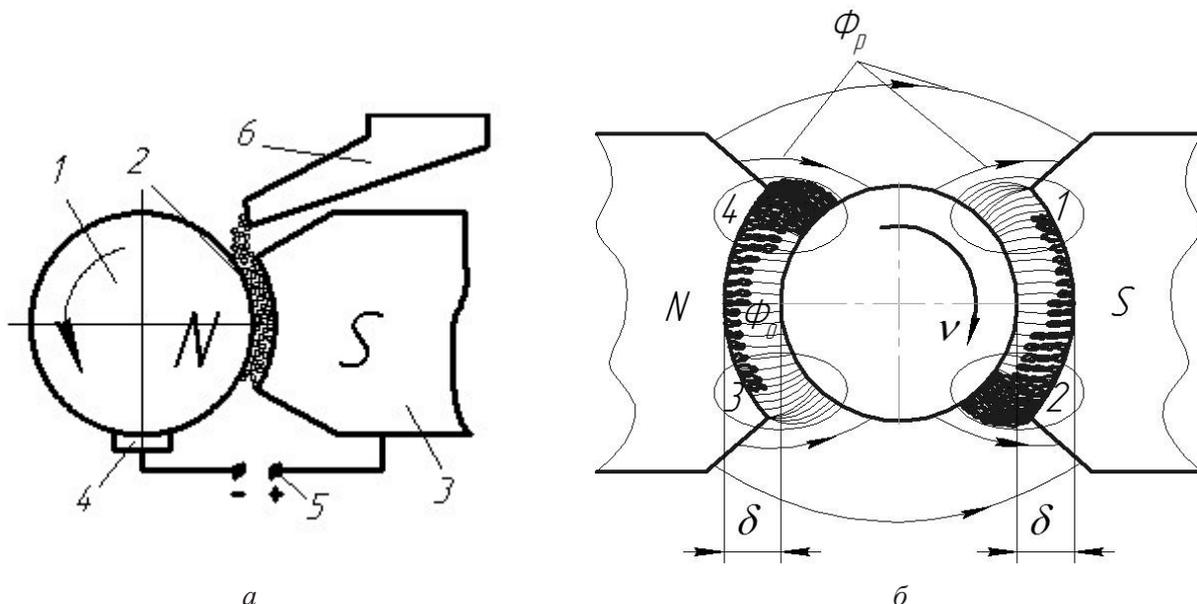


Рис. 1. Схемы магнито-электрофизической обработки наружных цилиндрических поверхностей в магнитном поле: МЭУ (а), МАО (б):

1 – заготовка, 2 – токопроводящие «цепочки» из ФМП, 3 – полусферический наконечник магнита, 4 – скользящий контакт, 5 – источник технологического тока, 6 – бункер-дозатор ФМП, Φ<sub>0</sub> – основной магнитный поток, Φ<sub>p</sub> – поток рассеивания, δ – рабочие зазоры, 1–4 – зоны формирования режущего инструмента

стей с экстремумами показывает, что с увеличением магнитной индукции наиболее интенсивно возрастает сплошность покрытия и повышается производительность процесса упрочнения. Такой характер изменения исследуемых параметров объясняется одновременным формированием множества токопроводящих цепочек-микроэлектродов с различной электрической проводимостью, ряд которых имеют направление, непараллельное силовым линиям магнитного поля в рабочем зазоре. Поэтому в результате одновременного разнонаправленного действия сил магнитного поля на цепочки-микроэлектроды, а также взаимодействия токов в цепочках и увеличения магнитной индукции в рабочем зазоре, происходит их разрыв до момента начала расплавления зерен ферромагнитного порошка.

Установлено, что наибольшее влияние на производительность магнитно-абразивной обработки оказывает скорость главного движения, а вторым по значимости фактором является время обработки. Интенсивность съема металла магнитно-абразивной обработкой со шлифованной поверхности детали линейно уменьшается в те-

чение времени обработки, однако временной фактор взаимодействует со скоростью главного движения и интервалами включения дополнительной магнитной системы. Поэтому уменьшение это можно «затормозить», если при больших скоростях обработки применять малые интервалы подключения дополнительной магнитной системы.

Определено, что износостойкость покрытий из ферромагнитного порошка ФБХ-6-2, сформированных магнитно-электрическим упрочнением с последующим шлифованием и магнитно-абразивной обработкой в 1,7 – 1,9 раза выше износостойкости эталона из термообработанной Стали 45, а износостойкость покрытий из порошка ФМП Fe-2%V по сравнению с эталоном больше в 1,3 – 1,5 раза. В этой связи для пар трения скольжения рекомендована упрочняющая технология с нанесением покрытия из ферромагнитного порошка ФБХ-6-2 магнитно-электрическим упрочнением и последующее шлифование с магнитно-абразивной обработкой, а для неподвижных соединений, целесообразна та же технология с нанесением покрытия порошком ФМП Fe-2%V.

## О ПРИМЕНЕНИИ КАНАТНОГО ТРАНСПОРТА

*Вавилов А.В., Шавель А.А., Игнатович Н.С.*

*Белорусский национальный технический университет*

В настоящее время ни один из существующих традиционных видов транспорта (железнодорожный и автомобильный, воздушный, электро-транспорт и др.) не являются социально-ориентированными, поскольку транспорт такой является дорогим и проезд на нем также дорожает. Внедрение в транспортную систему урбанизированной среды канатных дорог позволяет создать совершенно новый вид социально ориентированного, дешевого при строительстве и эксплуатации транспорта.[1]

К канатным транспортным установкам принято относить транспортирующие устройства с канатной тягой в том числе и подвесные канатные дороги.

Подвесные канатные дороги (ПКД) – это транспортирующие машины, тяговым и грузонесущим элементом которых является канат, подвешенный на опорах над поверхностью земли.

Подвесные канатные дороги классифицируют по следующим признакам:

- по назначению: грузовые и пассажирские;
- по характеру движения грузонесущих элементов: кольцевые; маятниковые;
- по конструкции: одноканатные; двухканатные.

Пассажирские подвесные канатные дороги (ППКД) – канатные дороги, служащие для перевозки пассажиров в подвижном составе, который перемещается по несущему канату или посредством несущего-тягового каната. По типу движения ППКД разделяются на кольцевые, маятниковые и пульсирующие. Кольцевые дороги обеспечивают движение подвижного состава с постоянной скоростью, в одном направлении – по или против часовой стрелки, с применением фиксированных или отцепляемых зажимов подвижного состава. Маятниковые дороги обеспечивают возвратно-поступательное движение подвижного состава с его остановкой на конечных станциях для посадки/высадки пассажиров. Пульсирующие дороги

обеспечивают кольцевое движение подвижного состава с постоянной скоростью на линии и с замедлением ее на конечных станциях для посадки/высадки пассажиров. При этом используется подвижной состав с фиксированным зажимом. Буксировочные канатные дороги (БКД) – канатные дороги, предназначенные для перемещения пассажиров по грунту или иной поверхности посредством тягового каната. Наземные канатные дороги (НКД, фуникулеры) – канатная дорога, предназначенная для перемещения пассажиров в вагонах по рельсовому пути/эстакаде тяговым канатом. Трассы канатных дорог проектируют, принимая во внимание технико-экономический анализ, который опирается на обоснованность и оптимальность выбора дороги. При строительстве пассажирских канатных дорог немало важным фактором является перспектива развития прилегающей территории в целом.[2] 3].

Канатные дороги строят на территориях, где развитие наземных дорог стеснено, а также при прокладке пути по кратчайшему расстоянию через препятствия (шоссе, железную дорогу, озеро, реки, болота и др.). Старейшая канатка была построена в 1664 в г. Данциг (ныне Гданьск). В России первая грузовая канатная дорога длиной 2 км использовалась при сооружении Волховской ГЭС (1921-24); строительство подвесных канатных дорог начало расширяться в 1970-х гг. в связи с развитием горнолыжного спорта.

В Швеции существовала самая длинная в мире 96-километровая дорога, доставлявшая железную руду из Лапландии на берег Ботнического залива. Участок длиной 13,2 километра переделан в самую длинную в мире пассажирскую дорогу.[2].

Осенью 2010 года в Армении состоялось открытие Татевской канатной дороги, самой длинной маятниковой дороги в мире (5,7 км) [4].

Наибольшие применения нашли двухканатные грузовые подвесные дороги с кольцевым движением.

Характерной особенностью двухканатных грузовых подвесных дорог с кольцевым движением является наличие гибких подвесных путей - несущих канатов, по которым совершает кольцевое движение подвижной состав (вагонетки), перемещаемый между станциями тяговым канатом, замкнутым в кольцо (рис. 1).

На погрузочной станции А вагонетки с помощью выключателя освобождают от тягового каната и загружают из бункера. Здесь вагонетки снова

переходят на жесткий рельсовый путь, соединяющий несущие канаты грузовой и холостой ветвей, разгружаются в бункер, обходят обратный шкив тягового каната, подключаются к нему и по несущему канату холостой ветви возвращаются в пункт А. Концы несущих канатов закреплены на станции А, а на станции Б натянуты грузами.

У однопутной двухканатной подвесной дороги (рис. 2) маятниковое (реверсивное) движение по несущему канату совершает только одна вагонет-

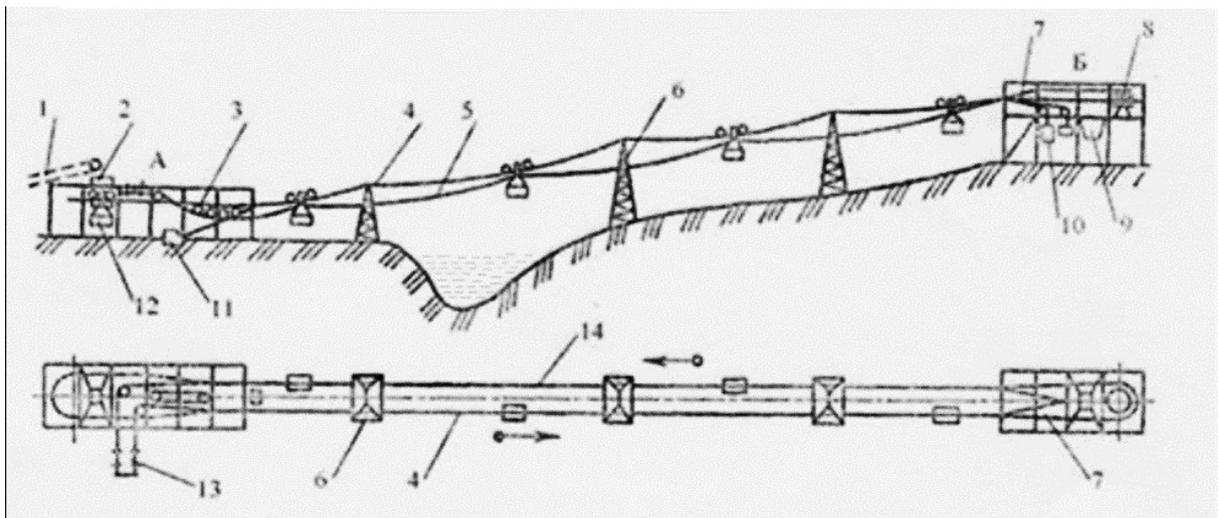


Рис. 1. Двухканатная грузовая подвесная дорога с кольцевым движением:  
 1 – загрузочный конвейер; 2, 9 – бункер; 3, 7 – рельсовый путь; 4, 14 – несущие канаты;  
 5 – тяговый канат; 6 – опоры; 8 – обратный шкив; 10 – грузы натяжного устройства;  
 11 – закрепляющие якоря; 12 – вагонетки; 13 – фрикционный привод

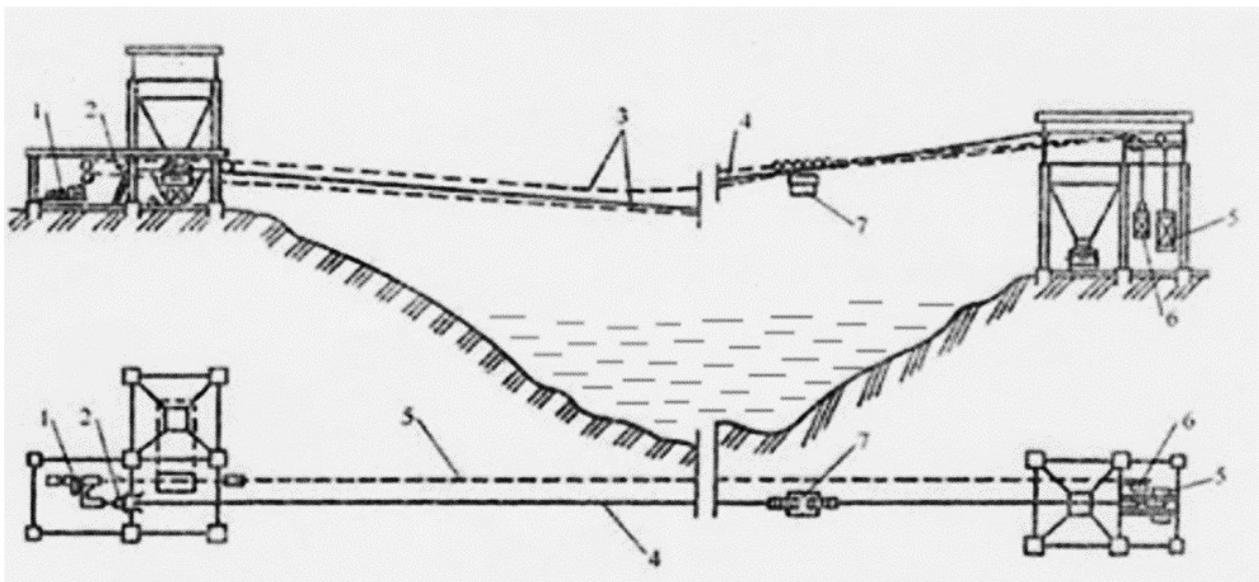


Рис. 2. Двухканатная подвесная канатная дорога с маятниковым движением:  
 1 – фрикционный привод; 2 – якорь; 3, 5 – тяговый канат; 4 – несущий канат; 6 – контргруз; 7 – вагонетка

ка, несущий канат прикреплен к якорю и натянут контргрузом. Тяговый канат (как на дорогах с кольцевым движением) отводится на одной из станций к приводу, а на другой натягивается контргрузом.

Наибольшее распространение грузовые подвесные канатные дороги (ГПКД) получили в горных, пересеченных, труднодоступных местностях, где они обеспечивают перевозки по кратчайшему расстоянию и с наименьшими затратами.

Грузовые подвесные канатные дороги являются одним из видов промышленного транспорта для перевозки сыпучих полезных ископаемых [1].

К основным факторам, определяющим преимущество ГПКД по сравнению с другими видами транспорта (автомобильным, конвейерным, железнодорожным, пневмоконтейнерным), можно отнести:

- значительное сокращение дальности перевозки, так как трассы прокладываются по кратчайшему пути между конечными пунктами с допустимым уклоном 45°;
- бесперебойная работа независимо от погодных условий (за исключением очень сильного ветра);
- сравнительно низкий объем единовременных капитальных вложений и эксплуатационных расходов, необходимых для строительства и эксплуатации ГПКД;
- сокращение отводов земельных угодий и предотвращение вырубки крупных массивов леса;
- стимулирование развития высокогорных районов;
- исключение загрязнения окружающей среды;
- снижение шума от работы машин.

В настоящее время ГПКД успешно эксплуатируются во всем мире: как в южных широтах (например, при открытой разработке никеля на о. Новая Каледония), так и на севере, в том числе за Полярным кругом (например, на острове Шпицберген). В Норвегии за Полярным кругом построена канатная дорога «Скороват» длиной 44,5 км для транспортирования пирита. Канатная дорога «Кристенберг Болиден» (Швеция) длиной 96 км служила для транспортирования рудного концентрата. В Чили на высоте 5900 м над уровнем моря с помощью ГПКД перевозят сырую серу. В Индии (штат Бихар) построена восьмисекционная канатная дорога длиной 53,5 км и производительностью 400 т/ч.

Эксплуатационная долговечность ГПКД исчисляется тридцатью годами и более. Следует отметить, что в последнее время ГПКД становятся

в определенных условиях достаточно серьезным конкурентом автомобильному транспорту.

Кроме традиционных транспортных канатных систем появились новые нетрадиционные их виды, такие как воздушные канатно-монтажные транспортные системы, а также струнные транспортные системы.

Аэростатные канатно-монтажные транспортные системы предназначены для транспортирования до 7,5 млн т в год грузов со скоростью до 300 км/ч.

Принцип действия пассажирских подвесных канатных дорог аналогичен принципу действия грузовых подвесных канатных дорог. Принципиальное отличие пассажирских канатных дорог от грузовых состоит в конструкции подвижного состава и повышенных требованиях к безопасности.

По конструкции подвижного состава пассажирские подвесные канатные дороги делятся на кресельные и кабинные.

Кресельные – посадка и высадка пассажиров происходит на ходу. Кабинные канатные используются в качестве транспортных магистралей для преодоления водных преград и горных ущелий.

С учетом требований действующих Правил безопасности скорость движения канатных дорог с неотцепляемыми кабинами с кольцевым пульсирующим движением групп 2–6-местных кабин не должна превышать 4 м/с; посадка и высадка пассажиров на станциях осуществляется при остановленном подвижном составе или на скорости 0,2–0,5 м/с.

Кабины крепятся к канату с помощью специальных отцепляющихся зажимов, не требующих никакого технического обслуживания. При входе гондолы на станцию ее зажим отцепляется от тягово-несущего каната, и она переходит на станционный подвесной конвейер, при этом скорость кабины уменьшается до 0,3 м/с, ее двери автоматически открываются и пассажиры выходят, затем гондола продолжает свое движение на станционном конвейере на другую сторону станции, пассажиры заходят в кабину, двери автоматически закрываются, гондола разгоняется конвейером до скорости каната, зажим захватывает канат и гондола выходит со станции.[3]

В Беларуси канатный транспорт может быть использован для преодоления водных и болотных препятствий при организации переправ через реки с широкими поймами, а также в лесном и агропромышленном комплексе.

*Литература*

1. Детали машин: электронный учебный курс для студентов очной и заочной форм обучения / Сост.: к.т.н., доцент кафедры теоретической и прикладной механики Каримов Ильдар.
2. Концепция инновационной системы городского транспорта «КАНАТНОЕ МЕТРО ГОРОДА БРЯНСКА» / А.В. Лагерев [и др.]
3. Афуksenов, Г.А. Краткий анализ видов канатных дорог, их достоинства и недостатки / Г.А. Афуksenов, Е.Н. Лагутина // Молодой ученый. – 2017. – №11. – С. 51–54. – URL <https://moluch.ru/archive/145/40539/> (дата обращения: 09.02.2020).
4. Журнал «Горная Промышленность» №2 2004. Источник: <https://mining-media.ru/ru/article/transport/1408-perspektivy-ispolzovaniya-gruzovykh-podvesnykh-kanatnykh-dorog>.

## ЭФФЕКТИВНЫЕ БАЗОВЫЕ ШАССИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН В БЕЛАРУСИ

*А. Вавилов, Г. Митрофан,*

*Белорусский национальный технический университет*

Наиболее приспособлен для создания многофункциональных строительных машин – одноковшовый полноповоротный гидравлический экскаватор. Кроме его получили развитие в направлении многофункциональности базовые шасси одноковшовых фронтальных погрузчиков, неполноповоротных гидравлических экскаваторов, а также специальные шасси, автомобили и тракторы [1–8].

ОАО «АМКОДОР» – управляющая компания холдинга за последние годы создало ряд перспективных моделей одноковшовых гидравлических экскаваторов на гусеничном ходу: Амкодор ЭО-3223, Амкодор 923, Амкодор-Sinomach 3255 и на пневмоколесном – Амкодор EW-1400.

Общий вид и устройство экскаватора Амкодор 923 показаны на рис. 1.

Экскаватор состоит из трех основных составных частей: привода с системой управления, расположенных на поворотной платформе 1, гусеничного хода 2, и рабочего оборудования 3.

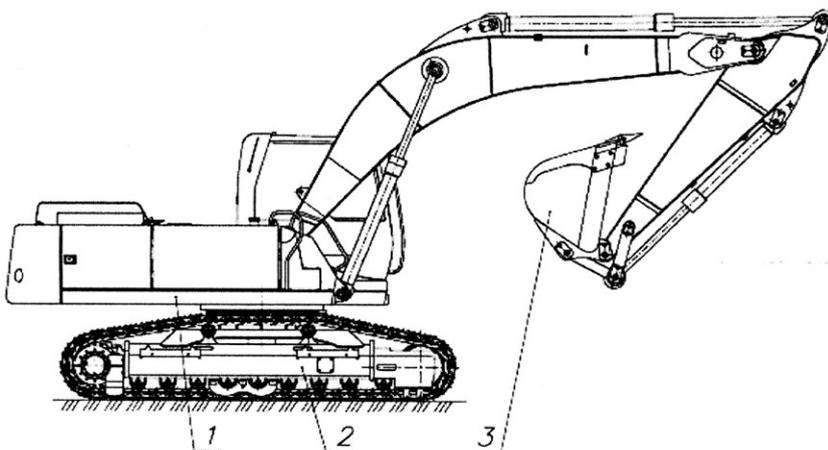


Рис. 1. Общий вид экскаватора Амкодор 923

Конструкция экскаватора предусматривает возможность использования различных видов сменных рабочих органов, в том числе обратной лопаты, грейфера, гидромолота, гидробои, гидробура и др.

Привод всех рабочих движений, а также управление исполнительными органами экскаватора – гидравлическое.

Техническая характеристика экскаватора с основным экскавационным ковшом приведена в табл. 1.

В табл. 2 приведена техническая характеристика экскаватора Амкодор-Sinomach 3255, также представляющий интерес для многофункциональности.

Кроме Амкодора в Беларуси одноковшовый гидравлический экскаватор Днепр EW 1901 производит ОАО «Жлобинский механический завод «Днепр», который также может быть многофункциональным. В табл. 3 приведена его краткая техническая характеристика.

Экскаваторы-планировщики одноковшовые гидравлические с телескопическим рабочим оборудованием на гусеничном и автомобильном шасси в Беларуси выпускает предприятие «Свято-вит» и ранее на автомобильном шасси такие экскаваторы выпускал Белорусский экскаваторный завод (пос. Коханово, Толочинский р-н Витебской области). Такие экскаваторы-планировщики наиболее приспособлены для работы с большим набором легкоъемных рабочих органов различного функционального назначения.

Табл. 1

Техническая характеристика экскаватора Амкодор 923

Наименование показателей	Значения
Эксплуатационная масса, кг, не более	23000
Геометрическая (номинальная) вместимость ковша, м <sup>3</sup>	0,65(1,0)
Мощность двигателя, кВт (л.с.), не менее	121 (164,5)
Номинальная частота вращения коленчатого вала двигателя, мин <sup>-1</sup>	2500
Продолжительность рабочего цикла, с, не более	20
Частота вращения поворотной платформы, мин <sup>-1</sup>	9
Техническая производительность экскаватора, м <sup>3</sup> /ч, не менее	180
Транспортная (технологическая) скорость передвижения, км/ч, не менее	5,5 (2,5)
Среднее давление на грунт при ширине гусениц 600 (800) мм, кПа, не более	50
Наибольший преодолеваемый уклон твердого сухого пути, не менее	35°
Усилие на режущей кромке ковша, кН, не менее	100
Наибольшее тяговое усилие, кН, не менее	190
Глубина копания, м, не менее	6,8
Радиус копания на уровне стоянки, м, не менее	9,8
Высота выгрузки, м, не менее	6,7
Высота копания, м, не менее	9,6
Максимальный угол разгрузки ковша на максимальной высоте разгрузки, не менее	170°
Габаритные размеры в транспортном положении, м, не более	
– длина	9,9
– ширина при ширине гусениц 600 (800) мм	3,0 (3,2)
– высота	3,1

Табл. 2

Техническая характеристика экскаватора Амкодор-Sinomach 3255

Наименование показателей	Значения
Мощность, л.с.	178
Частота вращения вала двигателя, об/мин	2200
Максимальный преодолеваемый уклон, град.	35
Частота вращения поворотной платформы, мин <sup>-1</sup>	10,5
Масса эксплуатационная, кг	25000
Удельное давление на грунт, при ширине гусениц 600 мм, кПа	45
Скорость передвижения: технологическая/транспортная, км/ч	3,0/4,9
Техническая производительность, м <sup>3</sup> /ч	216
Продолжительность рабочего цикла, с	20
Габаритные размеры в транспортном положении, мм:	
– длина	9840±200
– ширина	3180±50
– высота	2996±50

Краткая техническая характеристика экскаватора «DNEPR EW 1901»

Наименование показателей	Значения
Выходная мощность	121 кВт (164,6 л.с)
Скорость передвижения, км/ч	От 0 до 35
Рабочая масса, т	19
Вместимость ковша, м <sup>3</sup>	1,2

На рис. 2 показан экскаватор-планировщик с телескопической стрелой на базе шасси МАЗ-631705 предприятия «Святовит», а на рис. 3 его рабочий диапазон. В табл. 4 приведена его краткая техническая характеристика.

В Беларуси продолжают эксплуатироваться экскаваторы с телескопическим рабочим оборудованием ЭО-3533 на шасси МАЗ-5337, аналогичные по конструкции с экскаватором EW-25-M1.



Рис. 2. Экскаватор-планировщик с телескопической стрелой EW-25-M1

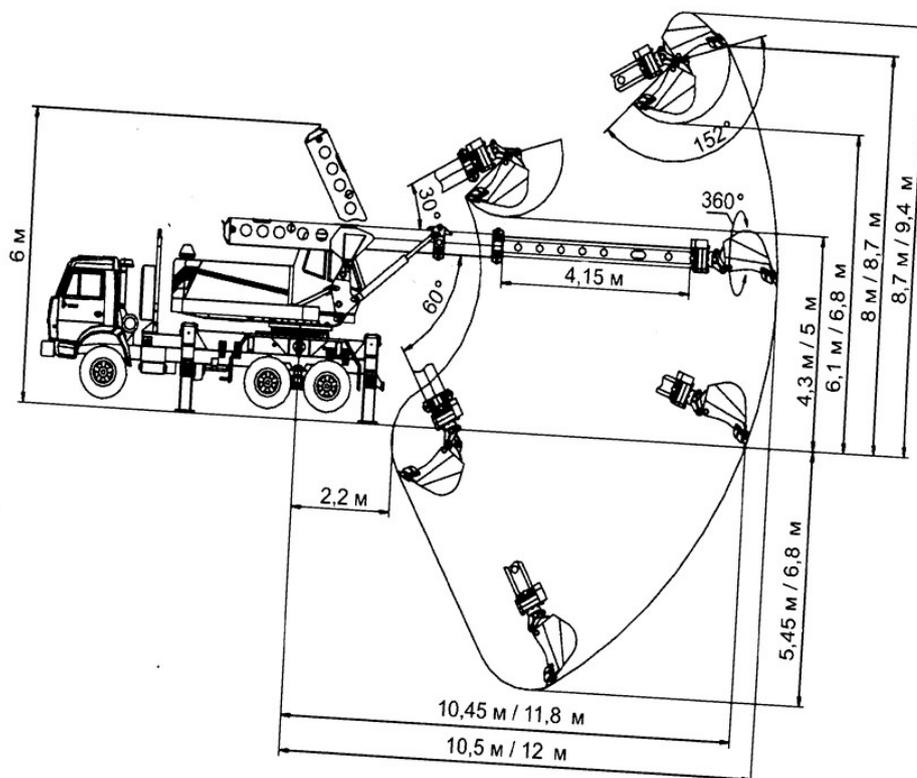


Рис. 3. Рабочий диапазон экскаватора EW-25-M1

Техническая характеристика экскаватора EW-25-M1

Наименование показателей	Значения
Колесная формула	6х6
Скорость движения экскаватора, км/ч	60
Габаритные размеры в транспортном положении, мм	
– длина	10 300
– высота	4 000
– ширина	2 550
Распределение массы по осям, кг	
– передняя ось	7 000
– задняя тележка	18 400

Неполноповоротные гидравлические экскаваторы на базе тракторов Беларус, которые также являются базовыми многофункциональными шасси выпускаются в основном на ОАО «Амкодор» – управляющая компания холдинга и на ОАО «Дорэлектромаш» (г. Смолевичи, Минской области).

Перспективным для многофункциональности неполноповоротным гидравлическим экскаватором является экскаватор-погрузчик ДЭМ 310 предприятия «Дорэлектромаш» (рис. 4).

Экскаватор-погрузчик ДЭМ 310 – рамной конструкции, комплектуется узлами и агрегатами, положительно зарекомендовавшими себя на всемирно известных машинах:

- трансмиссия гидромеханическая 4-скоростная, передний и задний мост – производство «Сагтаго», Италия;
- в базовой комплектации устанавливается

двигатель Д-245 производства Минского моторного завода мощностью 77 кВт (105 л.с.).

В последнее время широко стали применяться многофункциональные шасси – шасси одноковшовых фронтальных погрузчиков, выпускаемых на предприятиях ОАО «АМКОДОР» – управляющая компания холдинга и МАЗ-МАН (БМЕ-Дизель).

На ОАО «АМКОДОР» – управляющая компания холдинга выпускается типоразмерный ряд одноковшовых фронтальных погрузчиков. Такие погрузчики нашли широкое применение в строительстве, как многофункциональные – от малогабаритного Амкодор 211 (рис. 5) до погрузчика Амкодор 352С (рис. 6).

На предприятии МАЗ-МАН выпускается востребованный в строительстве, как многофункциональный, фронтальный погрузчик ВМЕ-1560 (рис. 7).

В табл. 4 приводится техническая характеристика погрузчика ВМЕ-1560.

Специальным отечественным многофункциональным шасси является шасси Ш-406, разработанное на Минском тракторном заводе (рис. 8), техническая характеристика которого приведена в табл. 5.

ОАО «Минский автомобильный завод» (ОАО «МАЗ» – управляющая компания холдинга «БЕЛАВТОМАЗ») производит 2-х и 3-х осные шасси, которые оборудованы системой «Мульти-лифт», что обеспечивает их применение, как многофункциональных с большим набором легкоъемного технологического оборудования.



Рис. 4. Экскаватор-погрузчик ДЭМ 310

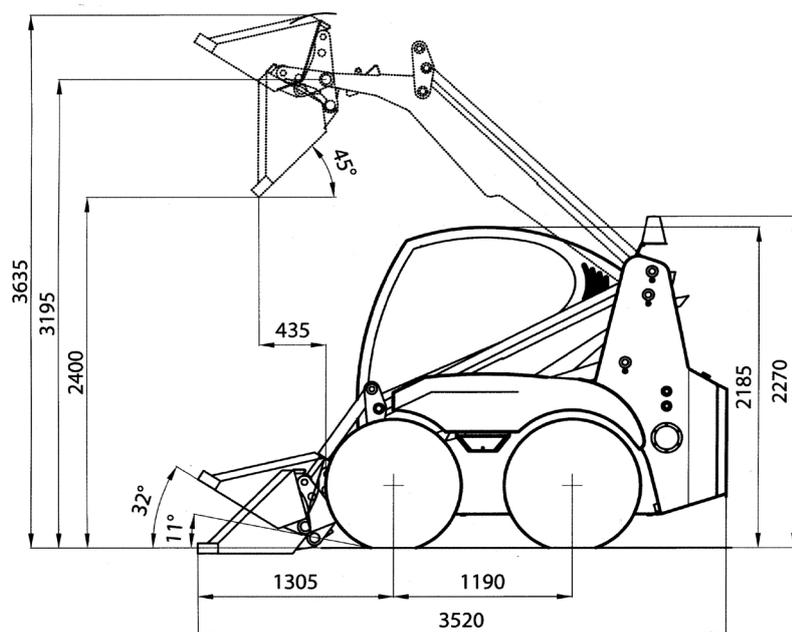


Рис. 5. Погрузчик Амкодор 211 и его рабочий диапазон

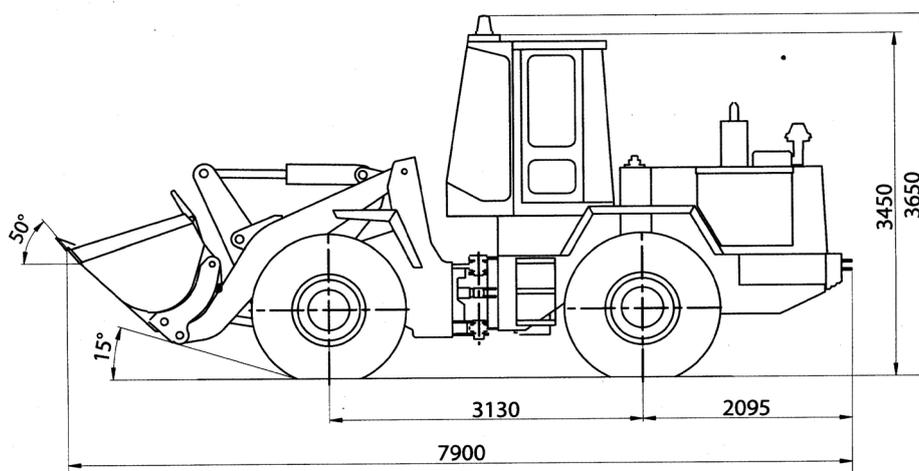


Рис. 6. Погрузчик Амкодор 352С

Табл. 4

Техническая характеристика погрузчика ВМЕ-1560

Наименование показателей	Значения
Мощность, кВт (л.с.)	60(81)
Максимальный крутящий момент, Нм (кгсм)	290,4 (29,6)
Удельный расход топлива при номинальной мощности, г/кВт*ч (г/л.с.ч.)	220 (161.8)
Скорость движения вперед-назад, км/ч	2,0–3,0/2,8–20,0
Номинальная грузоподъемность, кг	1500
Вырывное усилие, кг	3000

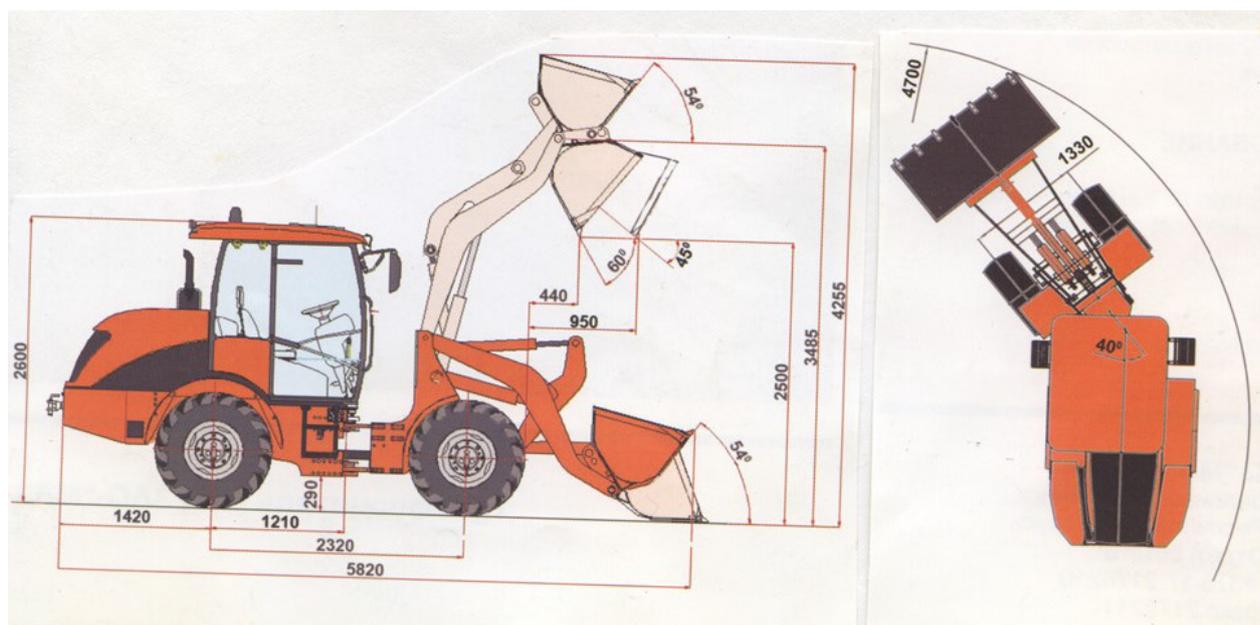


Рис. 7. Погрузчик ВМЕ-1560 и его рабочий диапазон



Рис. 8. Шасси Ш-406

Кроме автомобилей МАЗ в Беларуси производятся как базовые шасси многофункциональных строительных машин МАЗ-МАН и МЗКТ.

Ниже приводятся востребованные шасси МАЗ-МАН (рис. 9).

В строительстве, дорожной отрасли и жилищно-коммунальном хозяйстве Беларуси задействовано колесное шасси МЗКТ-692371-210, что является предпосылкой для его использования как многофункционального (рис. 10).

Кроме автомобилей в качестве базовых шасси многофункциональных машин задействованы тракторы Минского тракторного завода (табл. 6).

Табл. 6

Тракторы МТЗ – базовые шасси для многофункциональных машин

Показатели	Беларус-82.1	Беларус-89.2	Беларус-1221	Беларус-1523	Беларус-2022
Мощность дизеля эксплуатационная, л.с./кВт	81/59,6	88,4/65,0	130/96	148/109	212/156
Масса трактора эксплуатационная, кг	3845	4150	5570	6000	7220

Техническая характеристика шасси Ш-406

Наименование показателей	Значения
Колёсная формула	4x4
Эксплуатационная масса (без кузова), кг	6300
Мощность двигателя, кВт (л. с.)	88 (120)
Скорость движения, км/ч вперёд/назад	3,5–50,0/7,28–17,1
с ходоуменьшителем вперёд/назад	0–1,2/0–2,35
Габаритные размеры, мм	
– длина	5250
– ширина	2400
– высота	2880
Грузоподъёмность кузова, кг	3500
Грузоподъёмность навесных систем, кг	
– передней	1200
– задней	1100
– боковой	500
Передний ВОМ обороты, мин–1	1000

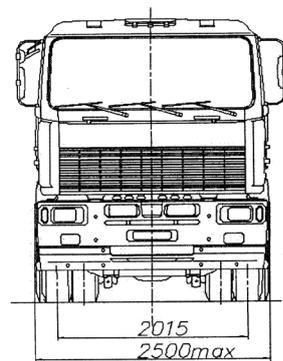
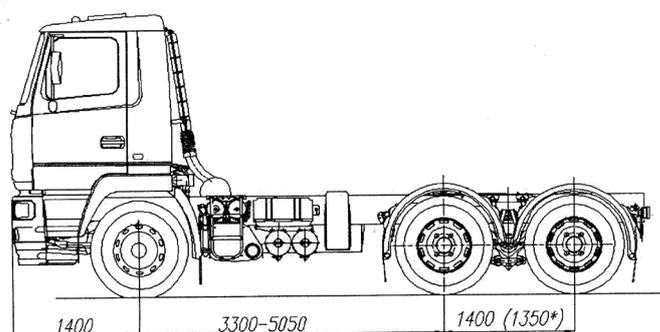


Рис. 9. Шасси МАЗ-МАН 631268 (6x4) с мощностью двигателя 301 кВт

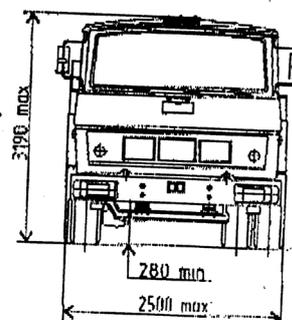
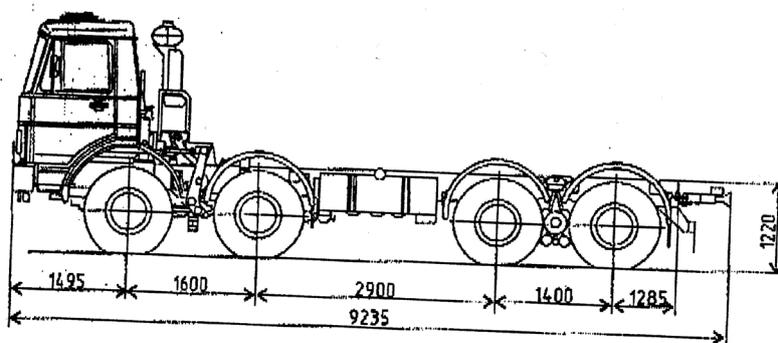


Рис. 10. Шасси МЗКТ-692371-210 (8x4) с мощностью двигателя 294 кВт

*Литература*

1. Передня, Л.И. Строительные и дорожные машины многоцелевого назначения / Л.И. Передня, А.В. Вавилов // Минск, БПИ 1991. – 47 с.
2. Добронравов, С.С., Машины для городского строительства / С.С. Добронравов, В.Г. Дронов // Высшая школа, 1985. – М. –360 с.
3. Кириллов, Г.В. Сменные рабочие органы непрерывного действия к одноковшовому гидравлическому экскаватору / Г.В. Кириллов [и др.] // Строительные и дорожные машины. – 1990. № I. – С. 3–4.
4. Кузин, Э.Н. Многоцелевое манипуляторное оборудование на базе экскаватора ЭО-3322А / Э.Н. Кузин [и др.] // Строительные и дорожные машины. – 1986. – № 4. – С. 6–7.
5. Беляков, Ю.И. Технологические возможности и номенклатура сменных рабочих органов погрузчиков / Ю.И. Беляков, В.Л. Хазанет // Механизация строительства. – 1989. – № 1. – С. 13–15.
6. Додин, Л.Г. Функциональные возможности малогабаритных землеройно-транспортных машин / Л.Г. Додин., Н.А. Скворцов // Строительные и дорожные машины. – 1989. – № 10. – С.7–9.
7. Иванов А.Н., Основные принципы создания многоцелевого автодорожного шасси / А.Н. Иванов [и др.] // Строительные и дорожные машины. – 1990. – № 6. – С.16–19.
8. Иванов А.Н., Многоцелевые шасси с оборудованием для ремонта и содержания дорог; / А.Н. Иванов [и др.] // Обзорная информация. – Сер. II Дорожные машины. – Вып. 2. – М.: ЦНИИЭстроймаш, 1990. – 46 с.

УДК 004.942

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ ПРИ МАЛЫХ ОТНОШЕНИЯХ СИГНАЛА К ШУМАМ****Артемьев В.М., Наумов А.О.***Институт прикладной физики НАН Беларуси***Костромицкий С.М.***Центр радиотехники НАН Беларуси***Введение**

Обработка радиолокационных измерений с целью обнаружения сигналов объектов и измерения их координат осуществляется на основе теории статистических решений [1]. При этом для получения оптимального решения используется энергетический признак в виде отношения сигнала к шумам (ОСШ) в полосе ширины спектра полезного сигнала. Как правило, в соответствии с критерием Немана-Пирсона, на практике задаются малыми значениями вероятностей ложных тревог ( $F_c \sim 10^{-7} - 10^{-5}$ ) и стремятся получить максимальные уровни вероятностей правильного обнаружения сигналов ( $D_c$ ). Этого можно добиться при ОСШ по мощности  $\rho > 30$  [2], что обеспечивает однозначность обнаружения. Для повышения ОСШ используют три основных способа: увеличение мощности излучения, некогерентное или когерентное накопление энергии принятого сигнала и использование сложных сигналов. В принципе накопление позволяет получать желаемые величины ОСШ, однако требует, чтобы за время накопления параметры сигнала и координаты объекта оставались неизменными. Их изменение снижает допустимое время накопления и тем самым приводит к малым значениям ОСШ.

Одним из способов решения задачи повышения ОСШ движущихся объектов является использование дополнительного признака обнаружения в виде учета параметров движения объекта, например, коррелированности во времени координат траектории движения. Это приводит к использованию метода одновременного обнаружения и сопровождения (track before detect) [3]. В имеющихся публикациях, например [4, 5], решение такой задачи осуществляется на основе апостериорного статистического (байесовского) подхода, что требует знания априорной статистики, как входных сигналов, так и параметров траектории движущегося объекта. Для такого подхода ха-

рактерно использование метода многоточечной аппроксимации функций плотности распределения вероятностей (partial filtering) [6]. При этом анализу подвергаются все элементы разрешения исследуемого пространства, что приводит к решению задач высокой размерности и требует больших вычислительных затрат.

В данной работе для обнаружения движущихся объектов, в отличие от критерия Немана-Пирсона, задаются высоким уровнем правильного обнаружения сигнала  $D_c \sim 0.8 \div 0.9$ . Это требует использования низкого порога обнаружения, что приводит к существенному росту числа ложных тревог. Для решения задачи обнаружения предлагается использовать метод селекции, являющийся одним из принципов самоорганизации [7]. В результате задача обнаружения сводится к селекции полезного сигнала среди совокупности ложных тревог, для чего можно использовать признаки параметров движения объекта.

Для учета этих параметров требуется периодическая последовательность измерений, на основе которых строятся траектории движения всех сигналов (полезного и ложных тревог), осуществляется селекция наиболее подходящей из них к траектории объекта и производится решение об обнаружении по траекторным признакам.

**Формулировка задачи**

Измерения в радиолокации могут осуществляться путем сканирования пространства по координатам дальности, радиальной скорости и угловым координатам периодически во времени. Первоначально производится быстрое сканирование во всех диапазонах изменения координат объекта с интервалом  $\tau_0$ , в течение которого их значения можно полагать постоянными. Затем оно повторяется с периодом  $T_0 \gg \tau_0$  и за это время значения координат могут изменяться за счет движения

объекта. Сканирование может осуществляться отдельно по каждой из координат (одномерный случай) или совместно (многомерный случай). Непрерывный по времени выходной сигнал приемника в пределах интервала  $\tau_0$  представляется в виде смеси шума и полезного сигнала, который обрабатывается пороговым устройством (квантователем), преобразующим непрерывный сигнал в бинарный. В дальнейшем полагаем, что элементы разрешения и длительности квантованных сигналов много меньше интервала  $\tau_0$ , поэтому бинарные сигналы на оси координат  $x$  можно полагать точечными.

При низких порогах  $h$  за счет возрастания вероятностей ложных тревог появляются шумовые точечные сигналы, которые при бинарном представлении будут неотличимы от полезного, что приводит к неоднозначности в обнаружении полезного сигнала. Для одномерного случая процедура формирования точечных сигналов изображена на рис. 1. На этом рисунке горизонтальная ось является осью непрерывного времени  $t$  с периодами  $T_0$ . Дискретные моменты времени  $k=0, 1, 2, \dots$  являются началом интервалов сканирования  $\tau_0$ , которые при условии  $\tau_0 \ll T_0$  полагаются точками на оси  $t$ . Значения координат  $x$  бинарных случайных точек откладываются на вертикальной оси в диапазоне от  $x_{\min}$  до  $x_{\max}$ . На  $k$ -ом периоде сканирования появляется случайное число точек  $n_k$ , координаты которых

обозначаются символом  $x_k(j)$ ,  $j = \overline{1, n_k}$ , где индекс  $j$  является номером случайной точки. Траектория объекта показана штриховой линией и в местах ее пересечения вертикальными линиями отмечено положение точек сигналов объекта  $x_{ck}$ . Поскольку вероятность  $D$  превышения порога квантования сигналом объекта меньше единицы, то имеют место пропуски точек объекта за счет замираний полезного сигнала. Для примера, такая ситуация приведена на рис. 1 в момент  $t = r$ . Ситуация, аналогичная изображенной, может быть представлена и для многомерного случая, при котором координату  $x_k$  можно рассматривать как вектор.

Сущность предлагаемого метода состоит в том, что по результатам сканирования строятся траектории всех точечных сигналов, как объектов, так и шумовых. В силу предположения о коррелированности координат точек сигналов объектов, в сравнении со статистической независимостью координат шумовых точек, в среднем длительности участков траектории объекта между моментами замирания полезных сигналов могут быть сделаны большими, чем у шумовых. На этой основе проводится селекция траектории объекта и осуществляется принятие решения об обнаружении. Вероятность правильного обнаружения по траекторным признакам  $D_m$  будет меньше, чем по сигнальным  $D_c$  и требуется минимизировать их разницу.

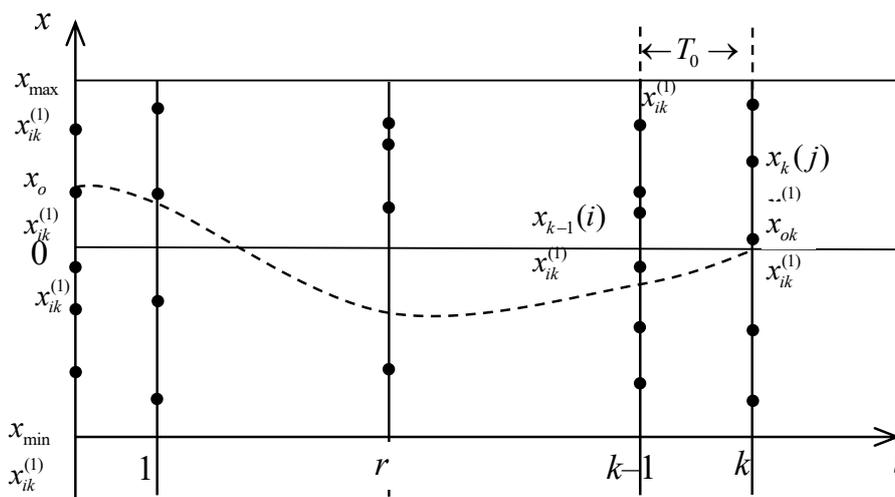


Рис. 1. Положения случайных точечных сигналов при одномерном сканировании

Таким образом, решение задачи обнаружения движущихся объектов состоит из этапов: периодического получения совокупности бинарных сигналов; формирования их траекторий во времени; селекции траекторий; принятия решений об обнаружении движущихся объектов по характеристикам выделенных траекторий.

### Формирование траекторий

В многомерном случае в момент  $k$  каждая точка объекта или шумов задается посредством координат в  $m$ -мерном пространстве и представляется вектором

$$\mathbf{x}_k(j) = [x_{1k}(j); x_{2k}(j); \dots; x_{mk}(j)]^T, \quad (1)$$

где  $j = \overline{1, n_k}$  есть номер точки, а верхний индекс  $T$  определяет операцию транспонирования. Пусть вектор координат траектории объекта в момент  $k-1$  равен  $\mathbf{x}_{ck-1}(j)$ , а в последующий момент имеет значение  $\mathbf{x}_{ck}(i)$ . Траектория объекта является коррелированной во времени функцией и это условие может задаваться различными способами. В данной работе оно определяется следующим образом: предполагается, что в дискретные моменты времени компоненты вектора приращения  $\mathbf{x}_{ck} - \mathbf{x}_{ck-1}$  не могут быть больше заданного и лежат в пределах  $\pm \delta_{lk}$  ( $l = \overline{1, m}$ ). При этом считается, что значения координат в этой области являются случайными величинами с равномерным законом распределения вероятностей. В этом случае уравнение значений  $\mathbf{x}_{ck}$  можно представить в виде уравнения первого порядка:

$$\mathbf{x}_{ck} = \mathbf{x}_{ck-1} + \mathbf{f}_k, \quad (2)$$

где  $\mathbf{f}_k$  есть  $m$ -мерный дискретный белый шум с равномерным законом распределения в области с компонентами  $\pm \delta_{lk}$ .

Подобная модель может быть усложнена, если полагать что значение вектора  $\mathbf{x}_{ck}$  будет зависеть не только от предыдущего значения  $\mathbf{x}_{ck-1}$ , но и от скорости изменения  $\mathbf{x}_{ck-1} - \mathbf{x}_{ck-2}$ . Уравнения второго порядка такой траектории определяется соотношением

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_{ck} &= \mathbf{x}_{ck-1} + [\mathbf{x}_{ck-1} - \mathbf{x}_{ck-2}] + \mathbf{f}_k = \\ &= c_1 \mathbf{x}_{ck-1} + c_2 \mathbf{x}_{ck-2} + \mathbf{f}_k, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $c_1 = 2$ ,  $c_2 = -1$ . Аналогичным образом возможен учет и других более высоких уровней приращений, приводящих к уравнению

$$\mathbf{x}_{ck} = \sum_{r=1}^R c_r \mathbf{x}_{ck-r} + \mathbf{f}_k. \quad (4)$$

Рост числа приращений приводит к увеличению степени коррелированности траектории.

Формирование траекторий движения точек по результатам измерений производится следующим образом. В начальный момент времени  $k=0$  относительно положений каждой точки вектора  $\mathbf{x}_0$  задается строб  $\Delta_0$  с компонентами  $\pm \delta_0$  в области которого могут находиться или отсутствовать точки из следующего момента времени  $k=1$ . Если такие точки имеют место, то от каждого элемента вектора  $\mathbf{x}_0$  строятся траектории до соответствующих элементов каждой из точек, находящихся в стробе. Таким образом, происходит завязка шумовых траекторий или траекторий объектов. В последующие моменты времени  $k=1, 2, \dots$  процедура повторяется для всех точек. Здесь возможны несколько основных случаев.

Если точка  $\mathbf{x}_k$  соответствует координате объекта  $\mathbf{x}_{ck}$ , то следующее значение этой координаты в момент  $k+1$  с вероятностью  $D_c$  попадет в строб  $\Delta_{k+1}$  в силу заданной модели движения и построенный участок будет продолжением траектории объекта. При замираниях сигнала она прерывается. Таким образом, сформированная траектория объекта будет прерывистой.

Если исходная точка шумовая и в следующем за ней стробе точка вновь окажется шумовой, то произойдет формирование шумовой траектории, которая прервется, если в последующем стробе шумовой точки не будет. Поскольку положения шумовых точек случайны и статистически независимы, то в среднем длина шумовой траектории может быть меньше средней длины участка траектории объекта. Если после шумовой точки в стробе окажется точка объекта, то шумовая траектория переключается на траекторию объекта. Если длительность шумовой траектории меньше длительности объектовой, то это несущественно повлияет на формирование траектории объекта. Когда в стробе после шумо-

вой точки появятся как шумовая, так и точка объекта или несколько шумовых, то формируются несколько траекторий, из которых шумовые будут в среднем короче объектовой.

Таким образом, в результате формирования траекторий в области изменения координат появятся отрезки как шумовых, так и траекторий объектов. В среднем первые должны быть короче вторых и на этом факте основана процедура селекции траекторий объектов относительно шумовых.

Главным фактором предлагаемого метода является обеспечение того, чтобы средняя длительность шумовых траекторий была меньше средней длительности участков траектории объекта. Если траектории компонент вектора  $x_{ck}$  статистически независимы, то задача обнаружения может рассматриваться отдельно по каждой из них, что и делается в дальнейшем.

Ширину одномерного постоянного во времени строга обозначим через  $\Delta = 2\delta$  и будем определять его размеры числом элементов разрешения в нем. Если в строге находится точка объекта, то из-за замирания сигналов вероятность ее появления

$$p_c = D_c < 1. \quad (5)$$

Полагая, что замирания статистически независимы от одного периода сканирования к другому (быстрые флуктуации), то средняя длительность отрезка траектории  $\tau_c$  между

соседними замираниями будет равна величине [8]

$$\tau_c = \frac{1}{1 - D_c}. \quad (6)$$

Вероятность появления шумовой точки в элементе разрешения равна  $F_c$  и их положение полагаем статистически независимыми величинами как относительно координат, так и времени. Вероятность появления в строге  $\Delta$  хотя бы одной шумовой точки определяется соотношением

$$p_{ш} = 1 - (1 - F_c)^\Delta. \quad (7)$$

Средний размер длительности шумовой траектории будет определяться формулой

$$\tau_{ш} = \frac{1}{(1 - F_c)^\Delta}. \quad (8)$$

Рассматриваемый метод будет работоспособен при значениях  $\tau_{ш} < \tau_c$  и это условие можно выразить посредством коэффициента

$$\alpha = \frac{\tau_{ш}}{\tau_c} = \frac{1 - D_c}{(1 - F_c)^\Delta} < 1. \quad (9)$$

Соотношение можно конкретизировать, если процесс на входе квантователя имеет распределение Релея. Для этого случая справедлива формула связи между  $D_c$ ,  $F_c$  и  $\rho$  [1]:

$$F_c = D_c^{1+\rho}. \quad (10)$$

На рис. 2 приведены зависимости коэффициента  $\alpha$  от величины ОСШ  $\rho$  при значениях вероятностей правильного обнаружения  $D_c = 0.5 - 0.9$  и  $\Delta = 4$ .

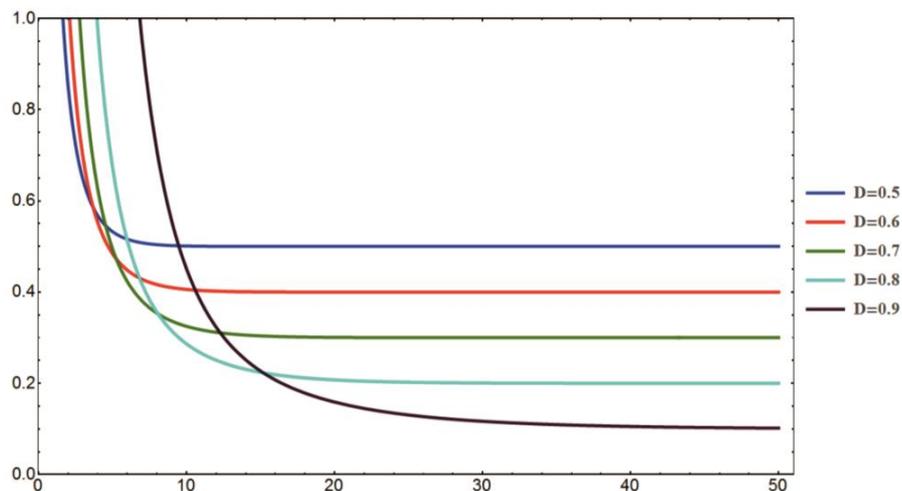


Рис. 2. Отношение средней длительности шумовой траектории к средней длительности участка траектории объекта  $\alpha$  от ОСШ  $\rho$  при  $\Delta = 4$

Из формулы (9) следует, что при  $\rho = \infty$  имеет место минимальное значение

$$\alpha_{\min} = 1 - D_c < 1. \quad (11)$$

Таким образом, величина вероятности правильного обнаружения  $D$  задает минимальную величину коэффициента  $\alpha$ , ниже которой предлагаемый метод будет неработоспособен.

### Селекция траектории объекта

Полагая, что условие  $\alpha > \alpha_{\min}$  выполнено, селекцию траектории объекта относительно шумовых можно выполнить путем фильтрации (отсеивания) траекторий по их длительностям с размерами  $\tau_{ui} < l < \tau_c$ . В силу статистического характера длительностей фильтруемых участков возможны случайные ошибки фильтрации двух типов: прохождение через фильтр шумовых траекторий; подавление фильтром траекторий объектов. Эти ошибки можно оценивать соответствующими вероятностями.

Вероятность появления хотя бы одной шумовой точки в составе  $\mathcal{Q}$  последовательных стробов, с учетом формулы (7), определяется выражением  $[1 - (1 - F_c)^\Delta]^\mathcal{Q}$ . На ее основе можно получить выражение для функции плотности распределения вероятности длительностей шумовых траекторий  $w_{ui}(\mathcal{Q})$  в виде

$$w_{ui}(\mathcal{Q}) = \frac{(1 - F_c)^\Delta}{1 - (1 - F_c)^\Delta} [1 - (1 - F_c)^\Delta]^\mathcal{Q}, \quad (12)$$

где первый множитель является коэффициентом нормировки, обеспечивающим равенство  $\sum_{\mathcal{Q}=1}^{\infty} w_{ui}(\mathcal{Q}) = 1$ . Если фильтр отсеивает траектории с длительностью, меньшей чем  $l$ , то вероятность ошибок первого типа, с учетом формулы (8), равна

$$P_{ui}(l) = \sum_{\mathcal{Q}=l}^{\infty} w_{ui}(\mathcal{Q}) = [1 - (1 - F_c)^\Delta]^\mathcal{Q} = \left( \frac{\tau_{ui} - 1}{\tau_{ui}} \right)^l \quad (13)$$

Вероятность появления подряд точек объекта в  $\mathcal{Q}$  последовательных стробах равна  $p_c(\mathcal{Q}) = D_c^\mathcal{Q}$ . Тогда функция плотности распределения вероятности длительностей участков траектории объекта  $w_c(\mathcal{Q})$  получается в виде

$$w_c(\mathcal{Q}) = (1 - D_c) D_c^{\mathcal{Q}-1}. \quad (14)$$

Вероятность  $P_c(l)$  подавления фильтром участков траектории объекта равна

$$P_c(l) = \sum_{\mathcal{Q}=1}^l w_c(\mathcal{Q}) = 1 - D_c^l = 1 - \left( \frac{\tau_c - 1}{\tau_c} \right)^l. \quad (15)$$

Графики функций (13) и (15) для значений  $\tau_c = 5 \div 10$  и  $\tau_{ui} = 2 \div 5$  приведены на рис. 3.

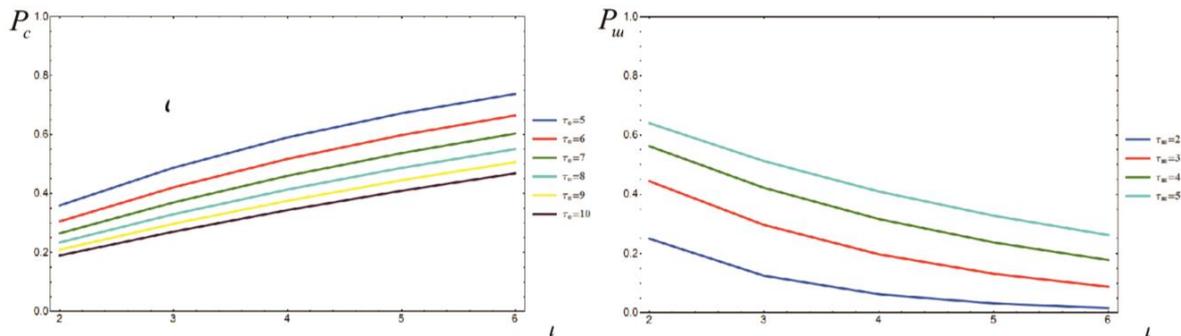


Рис. 3. Вероятности ошибок фильтрации отрезков траекторий объектов  $P_c(l)$  (а) и шумовых  $P_{ui}(l)$  (б) для фильтров размером  $l$

### Литература

1. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. М.: Радио и связь, 1982, 624 с.
2. Blackman S.S. Multiple-target tracking with radar applications. MA: Artech House, 1986, 464 p.

3. Hadzagic M., Michalska H., Lefebvre E. Track-before detect methods in tracking low-observable targets: A survey // Sensors Trans Mag 54 (1), 2005, pp. 374-380.
4. Zwaga J.H., Driessen H., Meijer W.J.H. Track-Before Detect for Surveillance Radar: a Recursive Filter Based Approach // Proc. SPIE. 4728, Signal and Data Processing of Small Targets, 2002.
5. Boers Y., Driessen H., Torstensson J., Trieb M., Karlsson R., Gustafsson F. Track-before-detect algorithm for tracking extended targets // IEE Proceedings - Radar, Sonar and Navigation, 2006, vol. 153, no. 4, pp. 345-351.
6. Boers Y., Driessen H. Partical filters based track before detect algorithms // Signal and data processing of small targets Proceedings of SPIE, Vol. 5204, 2003. – p. 20-30.
7. Принципы самоорганизации. Под ред. ред. А.Я. Лернер. М.: Мир, 1966, 622 с.
8. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. М: Наука, 1991. 383 с.

# МЕХАНИКА БЛОЧНОГО ЛУКА

## Ч.3. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА КАЧЕСТВО ВЫСТРЕЛА

*К.В. Добрего*

Статья посвящена рассмотрению блочного лука как механической системы, обсуждению факторов, влияющих на качество выстрела с точки зрения физики.

В первой части рассматривался вопрос геометрии траектории толчка стрелы как важнейшего фактора стабильности и точности выстрела. Во второй части лук рассматривался как колебательная система, изучался вопрос предотвращения нежелательных вибраций при прицеливании и выстреле. В третьей части обсуждаются другие технические моменты, определяющие качество выстрела, а также вопросы общего характера.

Статья носит научно- популярный характер и адресована любителям лучного спорта, желающим углубить понимание механических процессов, происходящих в луке и их влияние на качество стрельбы. Более опытные стрелки могут найти научные основания для совершенствования техники стрельбы. Читатели, не интересующиеся математическими выкладками, могут их пропускать, а останавливаться только на результатах, оценках значений конкретных характеристик лука, иллюстрациях и выводах.

### Введение

В предыдущих статьях были рассмотрены вопросы механики блочного лука, имеющие наибольшее значение для обеспечения стабильной стрельбы, – особенности траектории толчка стрелы и сглаживание вибраций. Помимо этого имеется большое количество других технических факторов и механизмов, влияющих на качество стрельбы, – начиная от относительного размера и расположения скопа и пип-сайта, вопросов клиренса стрелы, блуждания точки опоры лука, толчка стрелы при ее схождении с тетивы и т.п. Наконец имеются вопросы, имеющие общий интерес для лучников, например, как зависит скорость вылета стрелы от параметров и конструкции лука, как зависит величина сброса усилия натяжения лука от геометрии блоков и модулей и другие. В данной статье рассмотрены подобные вопросы.

Следует понимать, что углубляясь в поставленную в начале данной работы проблему, можно находить все новые и новые физико-механические факторы, мешающие «идеальному» выстрелу. Однако исправлять или компенсировать многие из них не имеет смысла в силу их второ-

степенного значения. Ведь, очевидно, что начиная с определенного уровня совершенства оружия, главным препятствием улучшения качества стрельбы становится ограниченность возможностей стрелка.

Информация может быть полезна стрелкам для совершенствования техники выстрела, а также для понимания возможностей и ограничений лука.

### 1. Схождение стрелы с тетивы

Завершающей фазой метания стрелы, оказывающей влияние на качество выстрела, является ее схождение с тетивы. Очевидно, что незначительное усилие срыва концевика с тетивы, направленное по оси стрелы, не влияет на направление вылета и, соответственно, качество выстрела (при этом в практических руководствах по стрельбе рекомендуется контролировать это усилие и оставлять его малым). Однако наличие тормоза тетивы, а точнее, его несимметричное расположение снизу от оси лука, может приводить к толчку концевика стрелы и изменению направления ее вылета. Действительно, резкое торможение тетивы при ее ударе о тормоз, приводит к толчку тетивы вниз, который передается стреле

если к моменту прихода этого возмущения к гнезду она находится в жестком сцеплении с тетивой. В связи с этим, оценим характеристики процесса схождения стрелы с тетивы и возможность невозмущенного вылета стрелы при наличии тормоза.

Схематически система представлена на рис. 1, оценим ее параметры.

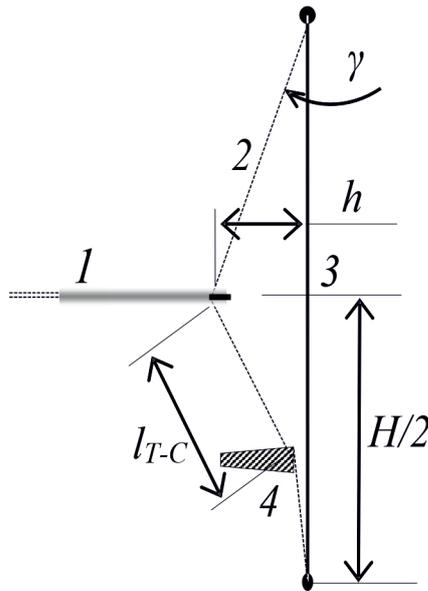


Рис. 1. Торможение тетивы и схождение с ней стрелы:

1 – стрела, 2 – тетива, 3 – начальное положение тетивы, 4 – тормоз тетивы, h – высота прогиба тетивы

Длина тетивы в начальном («нулевом») положении –  $H = 0.7$  [м]; масса свободной части тетивы –  $m_s = 5 \cdot 10^{-3}$  [кг]; материал тетивы – «фастфлайт» с плотностью  $\rho_T = 1000$  [кг/м<sup>3</sup>]; площадь сечения тетивы –  $S = 3 \cdot 10^{-6}$  [м<sup>2</sup>]; модуль упругости тетивы (Юнга) –  $E = 10^9$  [Н/м<sup>2</sup>]; коэффициент упругости тетивы (Гука) –  $k = ES/H \approx 4286$  [Н/м] [2]. Скорость распространения возмущений (продольных волн звука) в тетиве –  $c_0 = \sqrt{E/\rho_T} \approx 1000$  [м/с]. Считаем, что блоки и плечи после полного спуска тетивы неподвижны вследствие их инерции, поэтому, модуль упругости тетивы соответствует упругости материала тетивы. Скорость вылета стрелы –  $v_{\max} = 60$  [м/с], средняя скорость тетивы в конце разгона с учетом неподвижности ее концов  $\bar{v} = v_{\max}/2 = 30$  [м/с].

Время схождения концевика стрелы с тетивы:

$$t_{rel} \approx \frac{l_{кон}}{v_{\max}} \approx 0.17 \cdot 10^{-3} \quad [с], \quad (1)$$

где  $l_{кон} = 10^{-2}$  [м] – длина замка концевика стрелы.

Время прохождения импульса от удара о тормоз тетивы до концевика стрелы определяется скоростью звука в тетиве и длиной участка  $l_{T-C}$ :

$$t_{shock} \sim \frac{l_{T-C}}{c_0} = 0.15 \cdot 10^{-3} \quad [с]. \quad (2)$$

Из оценок (1) и (2) видно, что времена  $t_{rel}$  и  $t_{shock}$  примерно одинаковы, следовательно, для предотвращения толчка стрелы при ее схождении с тетивы необходимо, чтобы концевик разъединился с тетивой очень быстро.

Рассмотрим динамику тетивы и концевика стрелы после прохождения «нулевой» позиции тетивы. Найдем прогиб тетивы  $h$  (рис. 1) в случае отсутствия тормоза из закона сохранения энергии

$$\frac{m_s \bar{v}^2}{2} = \frac{k \cdot \Delta x^2}{2} \quad (3)$$

где  $\Delta x = 2hs \sin \gamma$  – удлинение тетивы, рис.1. Из геометрии следует  $\gamma = \arctg\left(\frac{2h}{H}\right)$ , поэтому

$$\Delta x = h \frac{4h/H}{\sqrt{1+(2h/H)^2}}, \quad \text{а для малых отклонений}$$

$$\Delta x \approx \frac{4h^2}{H}. \quad (4)$$

Из (3) и (4) следует:

$$h = \sqrt[4]{\frac{m_s \bar{v}^2 H^2}{8k}}. \quad (5)$$

Расчет согласно (5) дает высоту прогиба  $h \approx 0.09$  [м], а максимальное ускорение, соответствующее максимальному усилию на тетиве –  $a_{\max} \approx 39000$  [м/с<sup>2</sup>]. С другой стороны, при равноускоренном движении тетивы ее ускорение и время до остановки найдется из простейших уравнений движения  $h = v_0 t - at^2/2$  и  $0 = v_0 t - at$ :

$$a \approx 1200 \text{ [м/с}^2\text{]}, \quad t \approx 5 \cdot 10^{-3} \text{ [с]}.$$

Поскольку две оценки ускорения сильно различаются, ускорение тетивы неравномерное. Предполагаем, что ускорение линейно растет с высотой прогиба тетивы до величины  $a_{\max}$ :

$$a = \frac{a_{\max}}{h} x. \quad (6)$$

Считая усилие срыва стрелы с тетивы 1 Ньютон и используя (6), видим, что стрела начнет расцепляться с тетивой после прохождения нескольких миллиметров после «нулевого» положения. Определим момент полного разделения концевика стрелы и тетивы. Для этого найдем решение (6) как дифференциального уравнения:

$$x = \frac{v_0}{\sqrt{a_{\max}/h}} \sin(\sqrt{a_{\max}/h} \cdot t). \quad (7)$$

Расстояния между тетивой и концевиком запишем в соответствии с (7):

$$\Delta h = v_0 \cdot t - \frac{v_0}{\sqrt{a_{\max}/h}} \sin(\sqrt{a_{\max}/h} \cdot t). \quad (8)$$

На рис. 2 представлены графики положения тетивы и концевика стрелы после прохождения «нулевой» позиции, рассчитанные по (7), а также расстояние между ними согласно (8). Из представленных данных видно, что разъединение концевика и тетивы произойдет на расстоянии около 8 см (пунктирная линия) в то время как импульс удара о тормоз достигнет концевика уже при прохождении 1.5–2 см (кружки). Влияние тормоза на динамику тетивы может быть учтено в (7) за счет уменьшения величин  $v_0$ ,  $H$ ,  $m_s$  и соответствующее увеличение  $k$  и  $a_{\max}$  после удара тетивы о тормоз (кривая 4 на рис. 2).

В действительности уравнение, описывающее динамику тетивы сложнее, чем (6) поскольку скорость звука в тетиве ограничена, однако решения (7), (8), как увидим ниже, достаточно точны.

Таким образом, тетива начинает освобождаться от стрелы после прохождения нескольких миллиметров после прохода нулевой координаты. Окончательное разъединение со стрелой происходит существенно позже, – по прохождении 4–6 см. Поэтому концевик стрелы получает толчок вниз, *связанный с ударом тетивы о тормоз. Избежать* влияния этого толчка на вылет стрелы можно устранив жесткое ограничение гнезда

тетивы сверху, либо симметрично установив два тормоза (сверху и снизу).

### Визуализация схождения стрелы с тетивы

Благодаря технической поддержке лаборатории физико-химической гидродинамики Института тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси были сняты видеоклипы разгона и выброса стрелы с частотой 3 и 5 тыс. кадров в секунду. На рис. 3 представлена кинограмма выброса стрелы.

Данные видеосъемки позволяют точно определить динамику разгона и скорость вылета стрелы, время начала и окончания падения полочки (для падающей полочки), момент расщепления стрелы и тетивы, амплитуду и частоту колебаний тетивы и других элементов лука, микросмещения лука при выстреле и другие параметры.

В данном эксперименте лук МК СВ50 был ослаблен на 10 фунтов, использовалась стрела массой 32 грамма, скорость ее вылета составила 61 [м/с]. Момент расщепления стрелы – 1 [мсек] после прохождения нулевой позиции, а расстояние расщепления – 6 [см]. Максимальная амплитуда заброса тетивы – 9 [см]. Период первого колебания тетивы – 13.3 [мсек], второго колебания – 12 [мсек], третьего – 10.7 [мсек]. Полное успокоение тетивы происходит за 10 периодов или за 70 [мсек]. Стрела вылетела с небольшим отклонением от осевого направления (наконечник приподнят на 3 [мм] от хвостовика, – положительный тангаж).

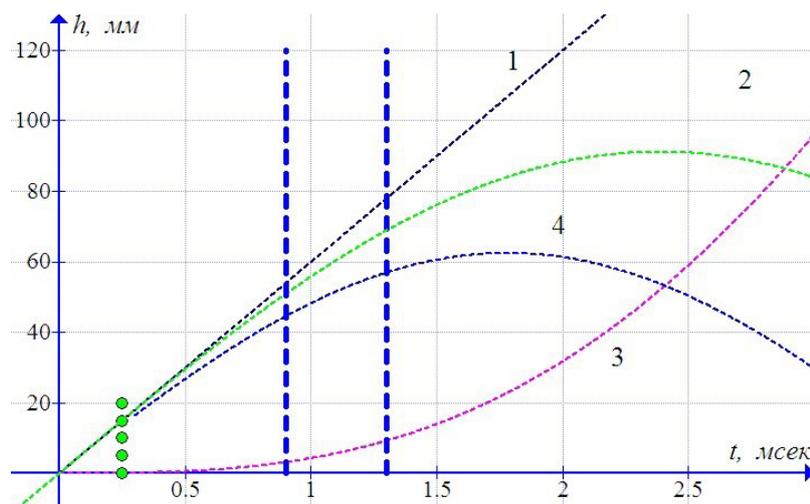


Рис. 2. Положение концевика стрелы и тетивы при вылете от времени после пересечения «нулевой» линии: 1 – концевик стрелы, 2 – седло тетивы в отсутствии тормоза, 3 – расстояние между концевиком и тетивой (без тормоза), 4 – седло тетивы при наличии тормоза, кружки – момент прихода толчка от удара о тормоз, вертикальные штриховые линии – момент разделения стрелы и тетивы, в случае наличия тормоза (левая) и без него (правая)

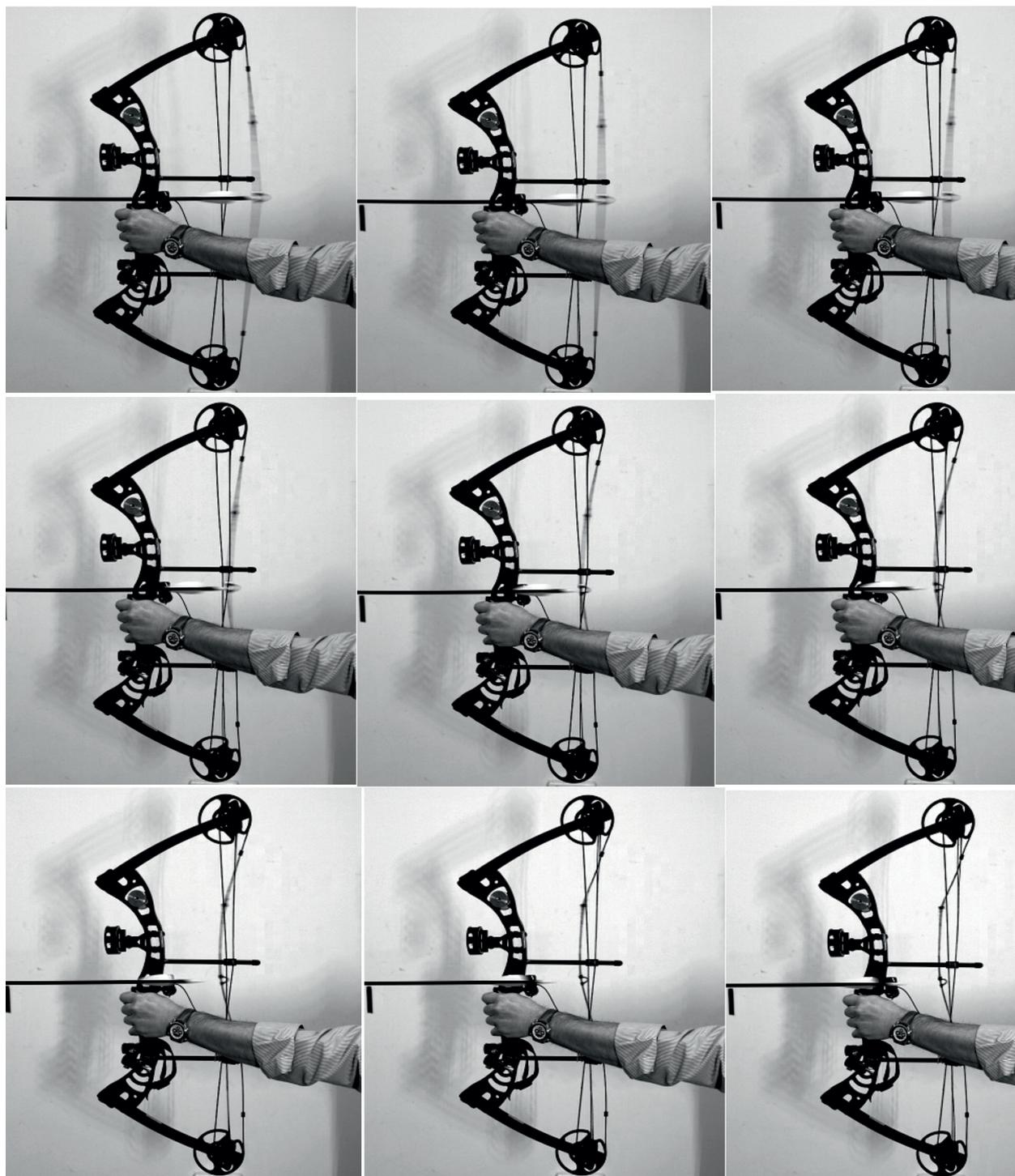


Рис. 3. Кинограмма выброса стрелы. Интервал между кадрами – 0.0333 мсек

Как видно, простая модель (9), (10), приведенная в начале раздела хорошо воспроизводит динамику движения тетивы и ее расщепления с концевиком стрелы. Погрешности связаны, прежде всего, с неточностью задания коэффициента упругости тетивы, не учетом движения плеч и модулей на стадии выброса стрелы.

Принятая нами для расчетов скорость стрелы практически точно совпала с установленной по кинограмме.

Использование скоростной видеосъемки позволяет детально изучать динамику системы «лук – стрела – стрелок», однако эта задача выходит за рамки данной статьи.

### Блуждание точки опоры при прицеливании и выстреле

Фактором, влияние которого на стабильность выстрела легко недооценить, является неточная повторяемость положения точки опоры на рукоятке от выстрела к выстрелу и блуждание этой точки во время прицеливания. Если исходить из того, что ширина рукоятки около 2 см, а длина упорной части рукоятки около 6 см, то вероятно блуждание точки опоры в диапазоне  $\pm 5$  мм по ширине и  $\pm 10$  мм по высоте рукоятки даже у спортсмена высокой квалификации. Используя геометрическое построение (рис. 4), легко показать, что смещение точки опоры  $A$  по своему эффекту на толчок стрелы эквивалентно аналогичному сдвигу положения полочки.

Поясним это утверждение. При смещении точки опоры линия направления усилия тетивы  $BC'A'$  отклоняется от оси стрелы  $BCA$  (рис. 4,б) на угол  $\approx \Delta x/(r+l)$ . Линия направления усилия  $BCA$  смещается от оси стрелы (при ее смещении) на аналогичный угол  $\approx \Delta y/(r+l)$ .

Стрелки знают, что положение полочки настраивается с точностью до долей миллиметра, а смещение ее на несколько миллиметров весьма существенно влияет на угол вылета стрелы и ее вибрации. Таким образом, блуждание точки опоры – весьма существенный, хотя и не очевидный фактор качества и стабильности стрельбы.

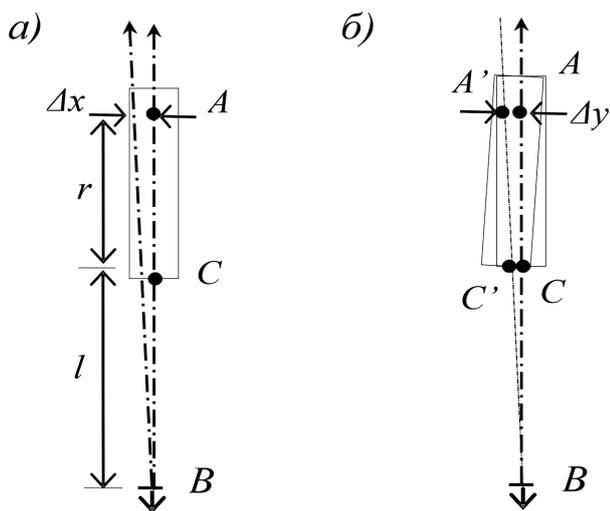


Рис. 4. Геометрическая схема эффекта сдвига точки опоры  $A$ :

а) смещение положения полочки на  $\Delta x$ , б) смещение точки опоры  $A$  на  $\Delta y$ .  $C$  – точка выхода тетивы

### 2. Стартовый толчок стрелы при спуске тетивы

При спуске тетивы имеет место быстрый толчок петельки вниз независимо от геометрии последующей траектории толчка (особенности траектории проанализированы в [1]). Назовем его стартовый толчок. Природа его очевидна (рис. 5) и обусловлена тем, что в натянутом состоянии вектор силы натяжения  $F_H$  не совпадает с осью стрелы, а направлен вверх, поскольку точка опоры  $A$  располагается ниже стрелы (поддерживающей ее полочки). Составляющая силы натяжения, направленная вверх, перераспределяет усилие между нижней и верхней частями тетивы, – нижняя часть тетивы получает дополнительное усилие, с верхней некоторое усилие снимается, в результате петелька смещается вверх. При спуске тетивы происходит мгновенный сброс усилия натяжения, натяжение верхней и нижней частей тетивы выравнивается, вследствие чего петелька смещается вниз, а затем следует по траектории обусловленной самим луком [1], рис. 6.

Величина компоненты силы натяжения вверх легко оценивается геометрически  $F_{Up} \cong F_H \cdot r/L$  и при усилии  $F_H = 80$  [Н] составляет 5 [Н]. На эту величину перераспределяются усилия натяжения верхней и нижней частей тетивы.

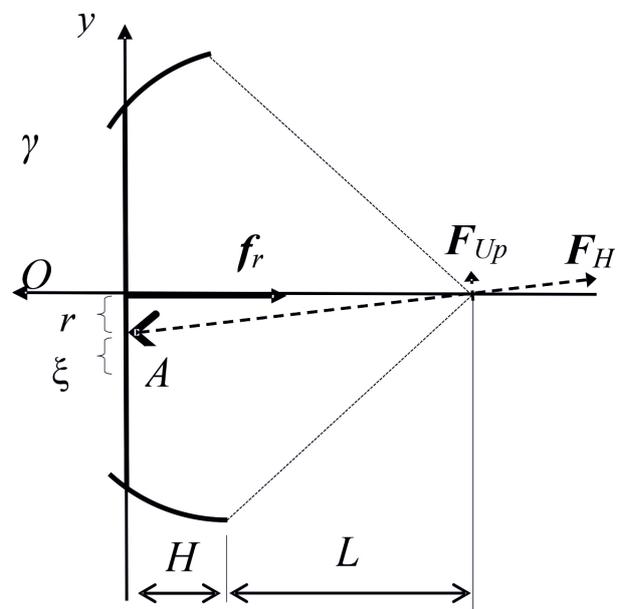


Рис. 5. Схема возникновения усилия, перераспределяющего натяжение в нижней и верхней частях тетивы:

$A$  – точка опоры,  $O$  – ось стрелы,  $F_H$  – сила натяжения

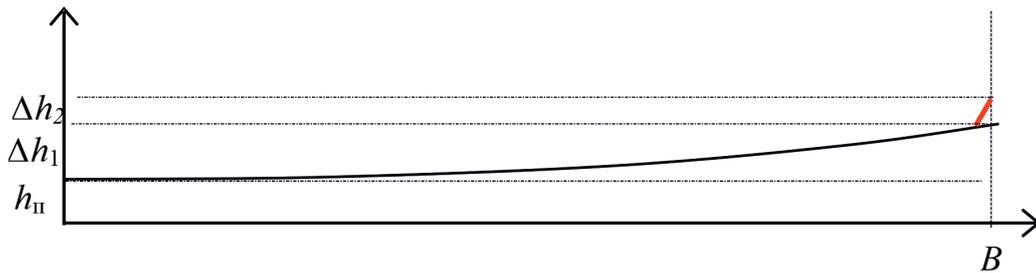


Рис. 6. Траектория толчка стрелы с участком стартового толчка вниз:

$B$  – координата точки удержания петельки,  $h_n$  – высота полочки,  $\Delta h_1$  – уход траектории вследствие нецентрального расположения стрелы,  $\Delta h_2$  – уход траектории вследствие стартового толчка

Однако смещение петельки вверх точно оценить сложно, поскольку оно будет зависеть от степени приближения натяжения к «стенке», т.е. состоянию жесткого упора блоков. Простое экспериментирование показывает, что длина смещения может быть 3–5 мм.

Заметим, что нестабильная сила натяжения тетивы при прицеливании сказывается на величине стартового толчка, а следовательно приводит к нестабильности выстрела.

Для уменьшения/компенсации стартового толчка могут применяться следующие меры. Приближение точки упора  $A$  к оси лука и оси стрелы. При удержании натянутого лука, стрелок имеет возможность приложить усилие вниз компенсирующее компоненту  $F_{up}$ , однако при этом требуется прилагать скручивающее усилие на рукоятку лука, что противоречит принципам техники спортивной стрельбы. Третий, наиболее обоснованный метод компенсации данного эффекта – использование массивного стабилизатора. Действительно легко видеть, что в этом случае возникает момент силы относительно точки опоры  $A$ , компенсирующий  $F_{up}$ . При этом действенная компенсация будет иметь место в случае когда

$$l \cdot g \cdot m' \sim F_{up}(L+H), \quad (9)$$

где  $l$  – длина штанги стабилизатора,  $m'$  – масса груза стабилизатора.

Те есть, необходима достаточно большая масса груза стабилизатора (порядка 300–500 гр), что требует соответствующей физической подготовки лучника.

### 3. Другие технические факторы, влияющие на выстрел

Перечислим некоторые технические факторы, препятствующие стабильному выстрелу и прицеливанию. Важно понимать, что факторы, о которых идет речь, различаются по степени своего влияния

на выстрел и устранение малозначительных факторов не имеет смысла, пока не устранены более существенные. Поэтому необходимо правильно оценивать степень и характер их влияния.

1. Боковой толчок хвостовика в начале разгона стрелы за счет быстрого перераспределения усилия между тетивой и тросами, которые располагаются в разных плоскостях.

Способ компенсации: Снижение величины сброса усилия; изменение геометрии провода тросов; применение более широких и монолитных (более устойчивых к скручиванию) плеч лука; компенсация при помощи наклона блоков.

2. Поворот (сдвиг) лука во время выбрасывания стрелы – отдача лука.

Если бы отдача приводила к плоскому движению лука назад – это не приводило бы к возмущению толчка стрелы, но из-за реакции опоры (опорной руки) и смещенному вниз центру масс лук совершает поворотное движение. Данный фактор проанализирован в первой части статьи [1].

Способ компенсации: Смещение центра масс вверх, приближение точки опоры лука к оси лука.

3. Отклонение оси запястного релиза от оси стрелы приводит к несимметричному соскальзыванию петельки и небольшому толчку влево или вправо хвостовика при спуске.

Способ компенсации: коррекция положения оси релиза при прицеливании, использование кистевого релиза.

4. Плохое совмещение пип-сайта и скопа из-за расплывчатой видимой границы пип-сайта.

Способ компенсации: выбор размеров пип-сайта и скопа так, чтобы кольцо легко позиционировалось внутри поля пип-сайта.

5. Несоплоскостность верхнего, нижнего блока и тетивы. Может приводить к легкому уходу тетивы влево – вправо от оси стрелы. Это слабый эффект.

Способ компенсации: подтяжка тросов. С другой стороны, этот эффект можно использовать для компенсации бокового толчка плеч лука при спуске (родовой дефект) поскольку силовой источник обоих возмущений один и тот же.

6. Касание тетивы подбородком и щекой во время спуска тетивы. Может создавать легкий толчок концевика стрелы вправо.

Способ компенсации: минимизация силы касания стрелы и тетивы лицом.

7. Недостаточно быстрое затухание колебаний лука в диапазоне частот 2–10 Гц.

Способ компенсации: Установление демпферов разной жесткости на стабилизирующих грунтах и на плечах лука.

#### 4. Скорость вылета стрелы в блочном и рекурсивном луке

Скорость вылета стрелы может быть оценена из законов сохранения импульса и энергии. Введенную в систему энергию (энергию натяжения)  $E$  можно измерить, фиксируя усилие при натяжении лука при помощи динамометра, затем перемножая среднее усилие натяжения тетивы на рабочий ход тетивы ( $E = f_{0, \text{среднее}} \cdot L$ ) или измеряя усилие натяжения тетивы на испытательном стенде и суммируя работу по всей длине натяжения.

В идеальном случае из законов сохранения импульса и энергии –  $mv_{\text{л}} = \mu v_c$  – и  $E = mv_{\text{л}}^2/2 + \mu v_c^2/2$  – можно вычислить скорости стрелы и лука и их кинетические энергии.

$$v_c = \sqrt{\frac{2E/\mu}{1+\mu/m}}, v_{\text{л}} = \sqrt{\frac{2E/m}{1+m/\mu}},$$

$$E_c = \frac{E}{1+\mu/m}, E_{\text{л}} = \frac{E}{1+m/\mu}, \quad (10)$$

$m$  – полная масса лука,  $\mu$  – масса стрелы,  $v_c$ ,  $v_{\text{л}}$  – скорость стрелы и лука соответственно.

В реальности запасенная энергия теряется на трение, в том числе и с окружающим воздухом, часть энергии остается в системе в виде остаточных вибраций и колебаний (сумма потенциальной и кинетической энергии частей лука). Некоторый импульс система отдает воздуху, который плечи лука толкают вперед при разгибании. Таким образом в уравнения сохранения должны быть внесены поправки

$$mv_{\text{л}} = \mu v_c + m_{\text{воздух}} v_{\text{плеч}}$$

и  $E - \delta E_{\text{тр}} - \delta E_{\text{ост}} = \mu v_c^2/2 + mv_{\text{л}}^2/2$ ;

где  $m_{\text{воздух}}$  – масса увлеченного плечами лука воздуха,  $v_{\text{плеч}}$  – составляющая скорости плеч, направ-

ленная вперед,  $\delta E_{\text{тр}}$  – потери энергии на трение в системе,  $\delta E_{\text{вибр}}$  – остаточная энергия вибраций в системе. При этом задача определения скорости вылета стрелы, по сути, сводится к оценке величин  $\delta p = m_{\text{воздух}} v_{\text{плеч}}$ ,  $\delta E_{\text{тр}}$  и  $\delta E_{\text{вибр}}$ .

Потери энергии на трение малы и могут быть оценены на уровне ~1 % от изначально переданной в систему энергии. Энергия остаточных вибраций системы может быть более существенной и зависит от кинетической энергии запасенной в частях лука – тетиве, блоках, плечах, рукоятке рассчитанной относительно центра масс лука. Так средняя скорость тетивы в момент схода стрелы равна половине скорости стрелы. При массе тетивы – 0.005 кг, ее кинетическая энергия около 5 % от энергии стрелы. Кинетическая энергия плеч рекурсивного лука – того же порядка, что и кинетическая энергия тетивы. Кинетической энергией плеч блочного лука можно пренебречь поскольку скорость их движения меньше вследствие работы блочной системы, а собственные частоты колебаний очень высоки (из-за высокой жесткости) и поэтому не могут возбуждаться от имеющихся источников возбуждения. (Как упоминалось в части 2 система воспринимает энергию колебаний в том случае, когда частота источника возбуждения близка или по крайней мере сопоставима с собственными частотами системы)

Потерянный (переданный воздуху) импульс оценится как произведение скорости плеч (составляющая в направлении вылета стрелы), площади плеч, толщины присоединенного слоя воздуха (порядка полуширины плеч) и плотности воздуха. Здесь имеются существенные различия между блочным и рекурсивным луками. Как площадь, так и скорость движения плеч у блочного лука существенно меньше. (Согласно «закону рычага» если коэффициент передачи усилия на плечи 3, то расстояние и скорость движения плеч в 3 раза меньше). Можно с уверенностью полагать, что потерянный импульс блочного лука в 10–20 раз меньше, чем у рекурсивного.

Если выразить потери импульса через скорость стрелы и эквивалентную присоединенную массу воздуха  $\kappa_0$ :  $mv_{\text{л}} = \mu v_c + \kappa_0 \cdot v_c = v_c(\mu + \kappa_0)$ , то рабочие формулы для оценки скорости и энергии стрелы и лука примут вид

$$v_c = \sqrt{\frac{2(E - \delta E)}{\mu + (\mu + \kappa)^2/m}}, v_{\text{л}} = \sqrt{\frac{2(E - \delta E)}{m + m^2\mu(\mu + \kappa)^2}},$$

$$E_c = \frac{E - \delta E}{1 + \frac{(\mu + \kappa)^2}{\mu m}}, E_{\text{л}} = \frac{E - \delta E}{1 + \frac{\mu m}{(\mu + \kappa)^2}}. \quad (11)$$

Оценим «потерянный» импульс рекурсивного лука. Суммарная площадь плеч  $S = 240$  [см<sup>2</sup>]. Толщина присоединенного слоя сопоставима с шириной плеч  $\sim 2$  [см], плотность воздуха  $\sim 1$  [кг/м<sup>3</sup>], скорость плеч  $v_{\text{плеч}} \approx v_c / 2 \approx 10$  [м/с], следовательно  $m_{\text{воздух}} v_{\text{плеч}} \sim 5 \text{ гр} \cdot 10$  [м/с] = 0.05 [кг.м/с], а эквивалентная присоединенная масса  $k = 2.5$  [гр].

Основная причина относительно меньшей ско-

рости вылета стрелы рекурсивного лука – меньшая запасенная энергия. Потери энергии на трение – пренебрежимо малы, остаточная энергия вибраций в системе может достигать 10 % от запасенной и выше в рекурсивном луке. Потери импульса за счет толчка воздуха существенно выше у рекурсивного лука и могут достигать 10 % импульса стрелы в зависимости от геометрии плеч.

Табл. 1

Оценки динамических параметров рекурсивного и блочного луков

	Рекурсивный лук	Блочный лук
Энергия натяжения	$E = 100[\text{Н}] \cdot 0.5[\text{м}] = 50$ [Дж]	$E = 200[\text{Н}] \cdot 0.5[\text{м}] = 100$ [Дж]
Масса лука	1 кг	2.5 кг
Масса стрелы	0.025 кг	0.025 кг
Импульс стрелы	1.55 кг.м/с	2.22 кг.м/с
Потерянный импульс	0.05 кг.м/с	0.005 кг.м/с
Скорость вылета стрелы	62 м/с	89 м/с
Энергия стрелы	48 Дж	99 Дж
Скорость отдачи лука	1.56 м/с	0.89 м/с
Энергия отдачи лука	1.2 Дж	0.99 Дж
Остаточная энергия	5 Дж	5 Дж

**Связь величины сброса усилия с геометрией системы блоков**

Найдем связь между величиной сброса усилия лука и геометрией блока, модуля и самого лука.

Три характерных состояния лука, – начальное, максимального усилия и состояние сброса усилия – представлены на рис. 7. Соответствующие геометрические параметры представлены на рисунке.

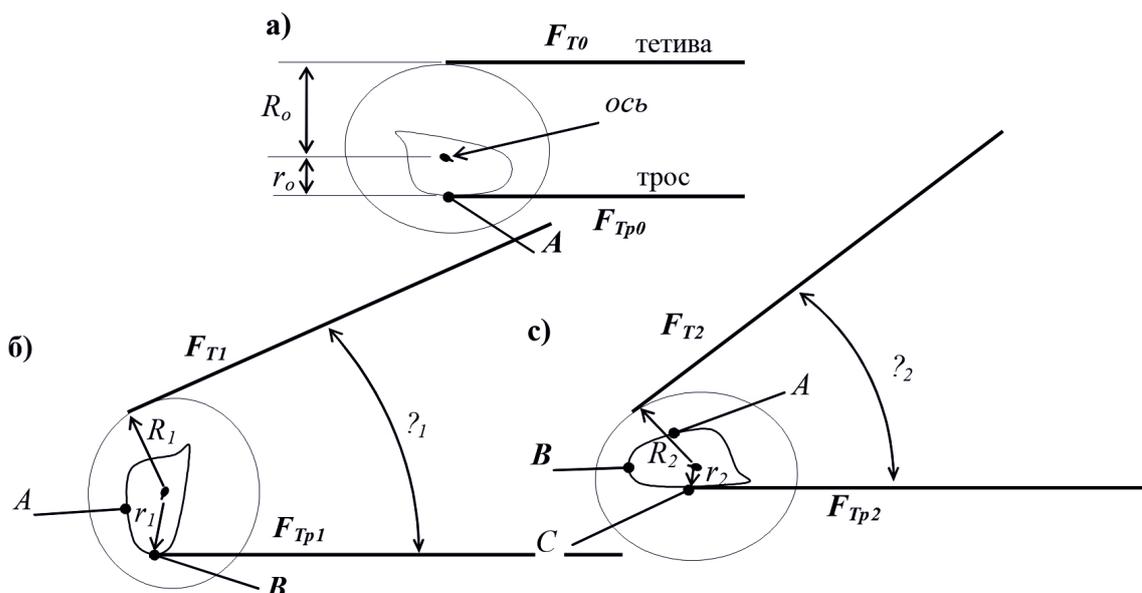


Рис. 7. Характерные состояния блока и соответствующие параметры: а – начальное, б – максимального усилия, с – состояние сброса усилия

На основании баланса сил (моментов сил) записываем уравнения.

$$F_{T0}R_0 = F_{Tp0}r_0 \quad (12)$$

$$F_{axis0} = 2F_{Tp0} + F_{T0} \quad (13)$$

$$F_{T1}R_1 = F_{Tp1}r_1 \quad (14)$$

$$F_{axis1} = 2F_{Tp1} + F_{T1} \cos \gamma_1 \quad (15)$$

$$F_{T2}R_2 = F_{Tp2}r_2 \quad (16)$$

$$F_{axis2} = 2F_{Tp2} + F_{T2} \cos \gamma_2 \quad (17)$$

$$F_{axis1} = F_{axis0} (1 + [AB] / (B/2)) \quad (18)$$

$$F_{axis2} = F_{axis0} (1 + [ABC] / (B/2)) \quad (19)$$

Здесь уравнения (18) (19) построены из приближения закона Гука для общего усилия плеч при сближении осей лука,  $[AB]$  и  $[ABC]$  – длины периметра модуля, определяющие сближение осей лука. Уравнения (12)–(19) записаны приближенно. Пренебрегали изменением направления вектора силы  $F_{axis}$  при натяжении и смещением точки приложения силы к модулю (относительно перпендикуляра), связанным с его сложной геометрией.

Для того чтобы найти сброс усилия используем только геометрические (не силовые) характеристики системы воспользуемся уравнениями (14)–(19). Определим сброс усилия натяжения как

$$\xi = 1 - \frac{F_{T2} \sin \gamma_2}{F_{T1} \sin \gamma_1} \quad \text{и с учетом (14)–(19)}$$

$$\xi = 1 - \frac{1 + [ABC]/(B/2)}{1 + [AB]/(B/2)} \cdot \frac{\cos \gamma_1 + 2R_1/r_1}{\cos \gamma_2 + 2R_2/r_2} \cdot \frac{\sin \gamma_2}{\sin \gamma_1}, \quad (20)$$

где  $\sin \gamma_1 = \frac{L_1}{\sqrt{L_1^2 + (B/2)^2}}$ ,  $\sin \gamma_2 = \frac{L_2}{\sqrt{L_2^2 + (B/2)^2}}$

$$\cos \gamma_1 = \frac{B/2}{\sqrt{L_1^2 + (B/2)^2}}, \quad \cos \gamma_2 = \frac{B/2}{\sqrt{L_2^2 + (B/2)^2}}.$$

Для лука МК СВ50 (ослаблен на 10 фунтов, растяжка 28 дюймов):  $[AB] = 56$  [мм],  $[ABC] = 95$  [мм],  $r_1 = 32$  [мм],  $r_2 = 8$  [мм],  $R_1 = 70$  [мм],  $R_2 = 65$  [мм],  $L_1 = 360$  [мм],  $L_2 = 470$  [мм],  $B/2 = 350$  [мм]. Расчет по формуле (20) дает  $\xi = 63\%$  вместо указанных в паспорте  $70\%$ . Прямое измерение сброса усилия при помощи электронного динамометра показало  $\xi = 1 - 8/22 = 64\%$ . Таким образом, оценка по геометрическим данным лука и блоков дает возможность адекватно (в нашем случае точнее паспортного значения) оценить сброс усилия лука при невозможности прямого измерения динамометром. Заметим, что основной вклад в конечное значение  $\xi$  дает отношение  $\frac{2R_1/r_1}{2R_2/r_2}$ . Формула (20)

показывает какими конструктивными приемами можно увеличить или уменьшить сброс усилия.

### 7. Возбуждения колебаний лука ветром

Природа обтекания воздухом твердых тел такова, что при определенных скоростях возникает регулярное (периодическое) образование и соскальзывание вихрей в кормовой части тела. Вихри создают вибрации как в воздухе, так и в обтекаемом теле. Частота вибраций определяется геометрией обтекаемого тела и величиной, задаваемой скоростью потока  $u$ , вязкостью воздуха  $\nu$  и диаметром тела  $D$ , называемой числом Рейнольдса  $Re = u/(\nu \cdot D)$ . Это так называемая струхалевская частота (по имени чешского физика 19–20 века Стоухала). В случае поперечного обтекания цилиндра или трубки, частота вибраций равна

$$f = 0.18 \frac{u}{D} \quad [\text{Гц}]. \quad (21)$$

Частота отклоняется от значения задаваемого (21) только при очень маленьких или чрезвычайно высоких скоростях воздуха. Согласно (21) частота вибрации, возникающих при обтекании штанги стабилизатора диаметром  $D = 2$  [см] боковым ветром, дующим со скоростью  $u = 2$  [м/с] равна  $18$  [Гц] (число Рейнольдса при этом  $Re = 2000$ ). Плечи лука имеют характерный размер  $5$  [см], поэтому в этих же условиях будут возбуждаться вибрации частотой около  $7$  Герц.

Для борьбы с негативным влиянием гидродинамических вибраций необходимо демпфирование вибраций в системе в целом, а также использование штанги стабилизатора переменного сечения, винтообразного или сложного профиля (в этом случае генерируются широкий набор различных частот, которые «заглушают» друг друга).

### 8. Снос стрелы при ее вращении

Среди любителей лучного спорта возникает вопрос о влиянии вращения стрелы на траекторию ее полета. Известно, что в силу закона сохранения момента импульса, вращение стабилизирует направление оси стрелы. Однако известен эффект прецессии вследствие которого, при действии момента силы  $M$  перпендикулярного моменту количества движения стрелы  $L$ , возникает угловое движение  $\Omega$  вокруг оси перпендикулярной как оси стрелы, так и оси приложенного момента силы, рис.8.

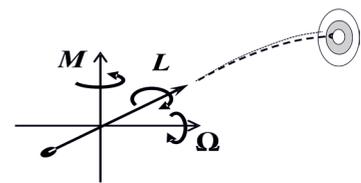


Рис.8. Схема эффекта прецессии стрелы

Может ли этот эффект привести к боковому сносу стрелы? Проведем оценку. Принимая массу стрелы 30 [г], ее диаметр 8 [мм], а скорость вращения 100 [рад/сек] (что соответствует 1 обороту на 4 метра полета при скорости 64 м/сек) вычислим момент инерции стрелы

$$L = 0.03 * (4 \cdot 10^{-3})^2 * 100 \approx 5 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{сек}} \right].$$

Дугообразный полет стрелы (рис.10) интерпретируем как ее вынужденное вращение в вертикальной плоскости со скоростью вращения  $\Omega \sim 1 \left[ \frac{\text{рад}}{\text{сек}} \right]$ . Связь между скоростью прецессии, моментом инерции и моментом приложенной силы для эффекта прецессии в случае взаимного перпендикулярности всех указанных векторов записывается в виде

$$\Omega = \frac{M}{L}.$$

Таким образом, на стрелу может действовать отклоняющий ее вбок момент сил  $M \sim 5 \cdot 10^{-5}$  [н·м].

Если сила гидродинамического сопротивления стреле в полете  $f \sim 0.5$  [Н], то момент сил выравнивающих стрелу при отклонении  $M_f \sim 0.5 \cdot 0.5 \cdot \beta$  [Н·м], где  $\beta$  – угол отклонения оси стрелы от направления ее полета, плечо сил  $l = 0.5$  [м]. Приравнявая  $M$  и  $M_f$  получим угол отклонения стрелы, связанный с гироскопическим эффектом

$$\beta \approx 2 \cdot 10^{-4} \text{ [рад]}.$$

Исходя из этой оценки угла отклонения стрелы, уход ее вбок за счет гироскопического эффекта на дистанции 50 метров может составить 1 сантиметр.

### Заключение

Мы рассмотрели важнейшие особенности работы блочного лука, как механической системы, с точки зрения их влияния на качество выстрела. Основной вывод работы заключается в том, что для выполнения качественного выстрела необходимо обеспечить прямолинейный, соосный стреле толчок и ликвидировать факторы, вносящие возмущения в ее импульс (толчки в поперечном направлении). На стадии прицеливания надо замедлить лук, разумно его загрузив, повысив его инерцию, «разнести» собственные частоты лука и частоты внешних возмущений, эффективно демпфировать колебания системы. Однако для того, чтобы понимать, как этого добиться, необходимо разобраться в механике лука, понять и почувствовать влияние тех или иных факторов на его динамику и взаимодействие со стрелой во время выстрела.

Можно встретить мнение, что теоретические представления о работе лука не влияют на результаты стрельбы, – все определяется практической пристрелкой, тренировкой и опытом. Возможно получив в руки высококачественное, настроенное спортивное оружие, стрелку можно не задумываться о механике выстрела, а заниматься только спортивной тренировкой. Однако жизненный опыт подсказывает, что при равных условиях лучшего результата добьется спортсмен, хорошо понимающий свойства своего оружия, природу погрешностей выстрела.

Конечно, вопросы механики лука рассматривались в литературе. Имеются даже диссертационные исследования по этим вопросам. Так в диссертации [3] разработана модель разгона стрелы в рекурсивном луке, основанная на уравнениях механики упругих деформируемых сред. Изучается влияние геометрии плеч на динамику разгона и скорость вылета стрелы, делаются рекомендации по конструкции и геометрии лука, обеспечивающей большую скорость вылета стрелы. К сожалению, узконаправленные, хотя и детальные исследования, зачастую не дают ясных рекомендации для повышения стабильности и точности стрельбы.

С другой стороны, имеется большое количество практических рекомендаций и инструкций по настройке лука и технике стрельбы, учитывающих опыт стрелков, спортсменов и производителей луков, например, руководство по настройке лука и стрел от компании EASTON [4]. Имеется разнообразная литература и видеоматериалы для желающих освоить данный вид спорта. Одной из популярных книг является книга Брайна Дж. Споллерса «Стрельба из лука для начинающих» [5]. В ней автор вводит читателя в мир лучной стрельбы, дает программу отработки навыков стрельбы, затрагивает вопросы выбора инвентаря, техники стрельбы и участия в соревнованиях и другие. Стандартная терминология содержится в документе [6].

Безусловно, информацию о настройке лука и технике стрельбы можно почерпнуть от тренеров и инструкторов в лучных клубах и в спортивных секциях. При этом надо иметь ввиду, что даже опытный инструктор не может заменить сведения специализированных книг и исследований, также и наоборот, – никакая книжка не заменит живого опыта стрельбы, работы с луком и участия в соревнованиях.

**Список использованных источников**

1. Доброго, К.В. Механика блочного лука .Ч.1. Траектория толчка стрелы / К.В. Доброго. – Инженер –механик. – №2(87), 2020. – С.38–48
2. Сазанкова, Е.С. Физико-механические свойства синтетических волокон используемых при изготовлении кордной ткани для резинотканевых конвейерных лент <http://www.giab-online.ru/files/Data/2015/06/385-395.pdf>; Характеристики полиэтилена низкого давления (высокой плотности) <https://plastinfo.ru/information/articles/42>
3. Лужин, А.А. Моделирование выстрела из лука: диссерт. на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук / А.А. Лужин. – М.: МГУ, 2008.
4. Easton. Руководство по настройке лука и стрел. Изд. BigMichel. – 2008. – 14 с.
5. Сорреллс, Б.Дж. Стрельба из лука для начинающих / Б.Дж. Сорреллс. – М.: АСТ, Астрель, 2006. – С.140.
6. ГОСТ Р 51549-2000. Оружие метательное. Арбалеты и луки спортивные. Арбалеты и луки для отдыха и развлечения. Термины и определения

## **ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Из материалов международной научно-технической конференции,  
посвященной 50-летию машиностроительных специальностей и 15-летию  
научно-технологического парка Полоцкого государственного университета  
(Новополоцк, 21-22 апреля 2020 г.)

*Продолжение*



УДК 621.785

### **КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЙ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ**

**М.Н. БОСЯКОВ, А.Н. МОЙСЕЕНКО, А.А. ГРИЦУК**

*Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

*Представлены особенности оборудования высокотемпературной ионно-плазменной химико-термической обработки со встроенной системой радиационного нагрева и ускоренного охлаждения и технологических процессов цементации.*

В Физико-техническом институте НАН Беларуси налажено производство по заказам предприятий промышленного оборудования ионно-плазменной химико-термической обработки (азотирования и нитроцементации) с требуемыми габаритными размерами вакуумных камер). Таким оборудованием оснащены как крупные машиностроительные заводы Беларуси и России, так и предприятия, относящиеся к среднему бизнесу.

В последние годы разработана и изготовлена установка ионно-плазменной цементации нового поколения со встроенной системой радиационного нагрева и ускоренного охлаждения, которая позволяет реализовывать высокотемпературные (до 1000 °С) плазменные процессы химико-термической обработки (ХТО) – цементацию и нитроцементацию (рис. 1).

Технологическая схема проведения процесса ионной цементации на установке промышленного типа состоит из следующих циклов:

- 1) нагрев до температуры 930 °С за 4–6 ч в зависимости от массы садки;
- 2) выдержка – диффузионное насыщение углеродом в течение 5–16 ч в зависимости от необходимой глубины слоя;
- 3) охлаждение в камере до температуры 700 °С в течение 2–2,5 ч, затем ускоренное охлаждение в

среде азота до температуры 200 °С за 3,5–4 ч.

- 4) разгрузка камеры и формирование новой садки.

Закалка деталей после насыщения углеродом должна проводиться с их повторного нагрева. Особенностью процесса диффузионного насыщения в тлеющем разряде является высокая скорость формирования науглероженного слоя – в 2–3 выше, чем при газовой цементации.

Для обеспечения минимальных энергозатрат при проведении процесса рабочая камера установки имеет резистивный трехсекционный нагреватель суммарной мощностью 60 кВт. Теплоизоляция стенок камеры выполнена с применением мулитокремнеземистого картона, а для обеспечения ускоренного охлаждения садки используется центробежный вентилятор, расположенный в нижней части камеры.

В ходе технологического процесса на установке осуществляется контроль следующих параметров, которые отображаются на дисплее компьютера в виде графического протокола процесса:

- рабочего давления,
- температуры садки,
- температуры муфеля,
- расходов четырёх рабочих газов (аргона, водорода, метана и азота),
- напряжение и ток разряда.

Графический протокол процесса и его ход (время запуска, старт каждого шага, сообщения о неполадках и т.д.) сохраняется с возможностью его просмотра и распечатки на принтере.

Применение автоматизированной системы управления, в том числе удаленного, минимизирует участие оператора в работе установки, «человеческий фактор» практически исключается. Это обеспечивает стабильность поддержания воспроизводимых условий при обработке больших партий изделий. Установки плазменной химико-термической обработки периодического действия производства ФТИ НАН Беларуси могут быть использованы в условиях массового производства.

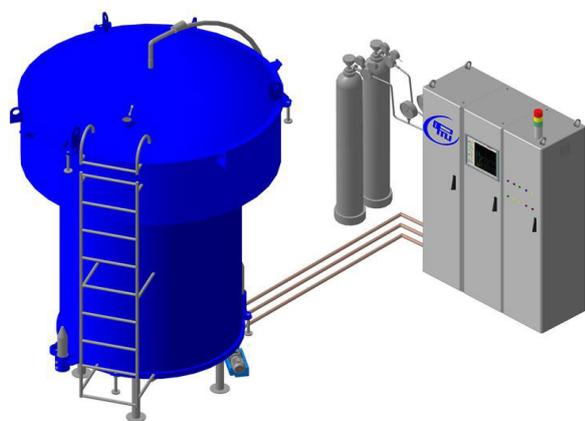


Рис. 1. Оборудование высокотемпературной ионно-плазменной ХТО

УДК 621.793.7: 620.178.53: 539.4:539.67

## ОБ ОСНОВНЫХ КОНЦЕПЦИЯХ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ

**А.В. ДУДАН**

*Полоцкий государственный университет, Новополоцк, Беларусь*

**В.И. КАЛИНИЧЕНКО**

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический университет им. Игоря Сикорского», Киев, Украина*

**А.В. ЛОПАТА, И.В. СМИРНОВ, В.Я. НИКОЛАЙЧУК**

*Винницкий национальный аграрный университет, Винница, Украина*

*В работе рассмотрены основные концепции решения проблемы упрочняющих покрытий и предложен двухсторонний подход к изучению композиции основа – покрытие и прогнозированию ее свойств, т. е. установлению зависимости механических свойств композиции от конструктивно-технологических факторов ее создания путем построения физических моделей разрушения, отражающих физическую суть изучаемых явлений. Показано, что нанесение покрытий вносит целый ряд сложностей, что связано с наличием адгезионного контакта на границе раздела разнородных материалов и неаддитивности ее свойств в зависимости от свойств отдельных составляющих композиции основа – покрытие.*

Нанесение покрытий на упрочняемую и защищаемую поверхность вносит целый ряд сложностей и неопределенностей при проектировании деталей с покрытиями и прогнозировании их свойств. Это связано с особенностями композиции основа — покрытие, прежде всего с наличием адгезионного контакта на границе раздела разнородных материалов и неаддитивности ее свойств в зависимости от свойств отдельных составляющих композиции. Отличительная особенность композиции — различие теплофизических и механических свойств материала основы и отдельных слоев покрытия. Это – причина того, что в таких композициях при любых схемах термического или механического нагружения имеются остаточные напряжения, которые неравномерно распределены по объему материала.

Первой важной особенностью композиции основа – покрытие является неоднородность напряженно-деформированного состояния (НДС) композиции, которая может сглаживаться или усугубляться в процессе длительного высокотемпературного нагружения, что связано с развитием диффузионных процессов. Интенсивность этих

процессов определяется различием химического состава покрытия и основы. Эти процессы могут стать причиной разрушения или отслоения покрытия.

Второй важной особенностью композиции основа – покрытие является проявление при определенных условиях физических эффектов, связанных с созданием энергетических барьеров на пути движения дислокаций в основе и выходе их на поверхность. Эти эффекты были описаны Р. Роско еще в начале XX в. и названы его именем. Нанесение тонких твердых пленок с высоким модулем упругости затрудняет выход дислокаций на поверхность основного материала и их перемещение в поверхностных слоях основы, а также блокирует поверхностные источники дислокаций. Это приводит к многократному снижению скорости установившейся ползучести, повышению пределов текучести и прочности.

Третьей особенностью исследуемых композиций является существенная зависимость структуры и свойств покрытия, диффузионных процессов на границе раздела системы основа – покрытие от целого ряда технологических фак-

торов, таких, как температуры подложки на различных этапах нанесения покрытия, параметров механической обработки (МО) поверхности, ее состояние после шлифовки и некоторых других. Наиболее развиты подходы к изучению деформирования и разрушения твердого тела с однослойным покрытием при его нагружении в области упругих деформаций. Анализ НДС позволяет установить связь характера разрушения композиции основа – покрытие с физико-механическими характеристиками покрытия и основы, а также с соотношением их толщин.

Практически все разработанные критерии предельного состояния композиции основа – покрытие не предусматривают учета всех перечисленных выше факторов, определяющих несущую способность и долговечность композиции. Пока не удалось установить количественную связь между характером развития диффузионных процессов на границе раздела основа – покрытие, интенсивностью генерирования и перемещения дислокаций в твердом теле, структурными особенностями покрытия и прочностными параметрами композиции основа – покрытие.

Таким образом, количественный учет всех факторов и параметров диффузионных процессов, физических эффектов типа эффекта Роско, статистического аспекта разрушения, структурных особенностей композиции основа – покрытие и отдельных ее составляющих, закономерностей трещинообразования в покрытии, неоднородности НДС композиции, как при изотермическом, так и при термоциклическом нагружении в рамках единого подхода пока невозможен.

Для изучения столь сложных систем и установления количественной связи исследуемых независимых переменных с одной или несколькими зависимыми в последнее время все шире используются методы математического планирования эксперимента. Это позволяет решить задачу выбора оптимальных конструктивно-технологических факторов нанесения покрытий по параметрам прочности с учетом рассчитанных на основе экспериментальных данных математических моделей, устанавливающих связь указанных факторов и прочностных параметров. Этот подход позволяет наметить дальнейший план исследований, уточнив важные факторы, а, что не менее полезно, отсеять те, которые не влияют на эксплуатацион-

ные характеристики детали с покрытием.

Ограниченность такого подхода заключается, прежде всего, в сложности прогнозирования свойств композиции основа – покрытие при выходе за пределы области планирования эксперимента. Это становится возможным в случае обобщения установленных количественных соотношений между конструктивно-технологическими факторами нанесения покрытия и прочностными характеристиками рассматриваемой композиции, прежде всего на основе анализа ее НДС. Сопоставление полученных экспериментальных данных позволяет установить принципы снижения или увеличения несущей способности композиции основа – покрытие и внести такие изменения в схему конструкции покрытия, благодаря которым удастся достичь однородного распределения напряжений по сечению детали и снизить растягивающие напряжения в покрытии.

В случае изучения покрытий, материал которых отличается не только физико-механическими характеристиками, но и типом кристаллической решетки, важное значение приобретает исследование процессов трещинообразования и разрушения покрытия и их влияния на закономерности деформирования и разрушения композиции основа – покрытие в целом. Это достигается наблюдением за состоянием поверхности образца с покрытием непосредственно в процессе его испытаний. В последующем важную информацию позволяет получить использование металлографических и фрактографических методов исследований. Электронная фрактография – один из нелегких, а часто и единственный метод, позволяющий ответить на вопрос о причинах и механизмах потери устойчивости материала покрытия. Количественная стереофрактография дает возможность не только составить более достоверное суждение о процессах разрушения на качественном уровне, но и получить уникальные количественные данные локальных разрушений.

Таким образом, перспективным представляется двухсторонний подход к изучению композиции основа – покрытие и прогнозированию ее свойств, т. е. установление зависимости механических свойств композиции от конструктивно-технологических факторов ее создания путем построения физических моделей разрушения, отражающих физическую суть изучаемых явлений.

УДК 621.793.7: 620.178.53: 539.4:539.67

## ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ НАНЕСЕНИЕМ НА ИХ ПОВЕРХНОСТЬ ПОКРЫТИЙ

**А.В. ДУДАН**

*Полоцкий государственный университет, Новополоцк, Беларусь*

**Е.К. СОЛОВЫХ**

*Центральноукраинский национальный технический университет, Кропивницкий, Украина*

**М.Ф. КОВАЛЕВ, М. ГОЛОВАЩУК**

*Национальный транспортный университет, Киев, Украина*

**В.Н. КУЛЫЖСКИЙ**

*Институт проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАН Украины, Киев, Украина*

*В работе показана целесообразность и отмечены перспективы использования различных методов упрочнения и нанесения покрытий для повышения прочности несущих деталей, защиты их от коррозии и износа. Показано, что разработанные в настоящее время технологические методы упрочнения позволяют повысить прочность и, в частности, пределы выносливости деталей более чем в 2 раза, а сроки службы за счет этого - в десятки раз. Физическая природа эффекта упрочнения, вызванного технологическими приемами обработки поверхности изделия, связана с образованием в поверхностных слоях сжимающих напряжений, приводящих к переходу очага зарождения усталостной трещины от рабочих напряжений с поверхности в глубь детали ниже слоя с сжимающими напряжениями. Эффект упрочнения зависит как от механических свойств материала в сечении, так и от результирующей положения эпюр остаточных напряжений (вызванных упрочнением) и рабочих напряжений.*

В процессе эксплуатации большинство деталей любых машин подвергается силовым воздействиям, вызывающим крайне неоднородное напряженное состояние. При этом во всех случаях максимальные напряжения, обусловленные главным образом изгибом и кручением или их совместным действием, возникают в наружных слоях материала несущих деталей, где и появляются первые трещины, приводящие к разрушению. Следует учесть и сильное влияние на разупрочнение поверхностных слоев внешней среды, приводящей во многих случаях к коррозии, которая понижает прочность, особенно усталостную. На несущую способность деталей, подверженных в процессе эксплуатации трению и износу, влияют и поврежденные поверхностные слои материала.

Поэтому большое практическое значение в машиностроении приобретают различные методы упрочнения поверхности деталей машин, це-

люю которых является как повышение прочности несущих деталей и защиты их от коррозии, так и снижение износа деталей, подверженных при контактном взаимодействии трению и износу.

В зависимости от типов деталей и материалов, из которых они изготовлены, условий их эксплуатации применяют различные виды и технологии упрочнения поверхности. Отметим следующие виды упрочнения поверхности элементов конструкций:

– химико-термическая обработка (ХТО), в том числе газовая цементация, газовое азотирование, жидкостное борирование, твердофазное борирование;

– газотермическое напыление (ГТН), в частности газопламенное (ГПН), электродуговое (ЭДН), плазменное и детонационное;

– гальванические покрытия;

– электроискровое легирование (ЭИЛ) и легирование лазерное;

- электронно-лучевое упрочнение;
- химическое осаждение из газовой фазы;
- вакуумное осаждение, в том числе химико-технологическая обработка в тлеющем разряде;
- ионная имплантация;
- парогазовая конденсация и др.

Значительное распространение получили методы повышения прочности элементов конструкций и деталей машин, подверженных действию повторно-переменных нагрузок. К их числу следует отнести упрочнение поверхности путем наклепа, обкаткой роликами или обдувкой металлической дробью, а также поверхностной закалкой с нагревом током высокой частоты (ТВЧ), цементацией, цианированием и др.

Рассмотрим характерные виды упрочнения элементов конструкций и деталей машин путем нанесения на их поверхность специальных металлических слоев. Среди методов упрочнения поверхности изделий важное место занимают наплавка и напыление как средства поверхностного упрочнения деталей машин при изготовлении и восстановлении. Указанные типы покрытий обеспечивают значительное повышение работоспособности и долговечности машин и механизмов за счет увеличения износостойкости, коррозионной стойкости и других эксплуатационных свойств деталей в зависимости от их назначения.

Для упрочнения деталей металлургического оборудования и сельскохозяйственном машиностроении широкое распространение получила наплавка износостойкими материалами. Заслуживает внимания плазменное напыление гильз цилиндров дизельных двигателей с целью их защиты от кавитации. При этом имеется возможность установить пороговое значение прочности сцепления покрытия, при котором происходит смена механизма разрушения композиции. Исследования показали, что максимальный эффект по защите гильз цилиндра двигателя от кавитации удастся достичь за счет увеличения прочности материала покрытия, а также адгезионной прочности покрытия с основой, превышающей критическое пороговое значение. При этом удастся сохранить ресурс работы изделия при снижении в два раза толщины наплавленного защитного слоя.

Наряду с упрочнением покрытиями путем напыления и наплавки, используется метод нанесения покрытий дискретной структуры. Покрытие представляет собой отдельные островки — «точки», получаемые с помощью специальных металлических электродов. При этом минимальный

износ достигается, когда островки занимают 60 % поверхности упрочняемой детали. Указанные островки имеют высокую твердость по сравнению с твердостью основного металла. Такое упрочнение эффективно для снижения износа трущихся поверхностей деталей машин и трущихся о грунт поверхностей элементов землеобрабатывающих машин.

Особого внимания заслуживают покрытия, применяемые в газотурбостроении для упрочнения и увеличения долговечности рабочих лопаток. В этом случае покрытие служит не столько для упрочнения лопатки, сколько для защиты от коррозии, влияющей на долговечность лопатки, а также для тепловой защиты материала лопатки от перегрева и повышения температуры газового потока на входе, а, следовательно, и повышения коэффициента полезного действия (КПД) газовой турбины.

Цель покрытия – повысить весь комплекс технико-экономических показателей газовой турбины, что может быть достигнуто повышением температуры на входе газовой турбины. Для этого необходимо повысить жаростойкость применяемых для изготовления турбинных лопаток материалов путем нанесения на готовое изделие защитных покрытий. Многочисленные исследования показали, что эффективным методом получения такого покрытия является электронно-лучевое испарение и конденсация металла на поверхности в условиях вакуума. При использовании упрочняющих и теплозащитных покрытий (ТЗП) применительно к турбинным лопаткам оправдали себя многослойные покрытия. Позволяет создавать сложные композиционные многослойные покрытия электронно-лучевая технология, которая является одной из наиболее гибких в управлении.

Для обеспечения оптимальной несущей способности изделия с покрытием подбор материала слоев по физико-механическим свойствам и чередование слоев осуществляются так, чтобы не было резкой разницы в физико-механических свойствах в соседних слоях и тем самым можно было бы свести до минимума начальные остаточные напряжения, которые могут возникать при повышении температуры. Такой подход, используемый, в частности, при применении покрытий из тугоплавких материалов на основе ниобия и молибдена для несущих элементов реактивных двигателей, эксплуатируемых в условиях высоких температур, основным материалом которых является сплав на основе ниобия, позволил повысить сопротивление ползучести на 10–20 %,

долговечность увеличить в 3 раза, а при теплообменах – более чем в 2 раза. В случае применения в качестве основного материала сплава на основе молибдена сопротивление ползучести при теплообменах возрастает на 35–60 %, жаропрочность – в 4 раза, а долговечность – в 4–6 раз. Использование для нанесения защитных покрытий электронно-лучевой технологии позволило повысить долговечность композиции «жаропрочный сплав – ТЗП» в 1,5–1,6 раза при испытаниях на термоциклическую ползучесть и в 1,6–2,1 раза при испытаниях на изотермическую ползучесть при снижении скорости ползучести на 40–50 %.

Разработанные в настоящее время технологические методы упрочнения позволяют повысить

прочность и, в частности, пределы выносливости деталей более чем в 2 раза, а сроки службы за счет этого – в десятки раз. Физическая природа эффекта упрочнения, вызванного технологическими приемами обработки поверхности изделия, связана с образованием в поверхностных слоях сжимающих напряжений, приводящих к переходу очага зарождения усталостной трещины от рабочих напряжений с поверхности в глубь детали ниже слоя с сжимающими напряжениями. Эффект упрочнения зависит как от механических свойств материала в сечении, так и от результирующей положения эпюр остаточных напряжений (вызванных упрочнением) и рабочих напряжений.

УДК 681.625.9

## **МОДИФИЦИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОФИСНОЙ МАКУЛАТУРЫ**

*А.С. КИРИЕНКО*

*Полоцкий государственный университет, Беларусь*

*В статье рассмотрены вопросы решения проблемы накопления офисной макулатуры с помощью персонализированной технологии переработки офисной макулатуры непосредственно в офисах. Представлена технология сухого разрыва бумажного волокна и обоснование целесообразности использования персональной станции переработки офисной макулатуры организациями, имеющими большие обороты бумаги.*

В настоящее время мировые компании повсеместно работают над улучшением и внедрением технологий переработки макулатуры непосредственно вместе ее потребления [1, 2]. На мировом рынке присутствует уже запущенная в производство станция переработки офисной макулатуры от подразделения PaperLab компании Epson. Данная станция перерабатывает 3,6 кг/ч макулатурного сырья, что является достаточно большим объемом для любого офиса и равно 720 листам формата А4 [3]. Станция снижает затраты на пункты хранения, выброса, заключение договоров со

спецавтобазами, предприятиями по переработке отходов, или с третьими лицами сбора макулатуры, которые осуществляют ее вывоз. Также станция решает проблемы экологии, связанные с вредными реагентами (С1), используемыми для отбеливания бумажного сырья на предприятиях.

Соответственно реализация технологического обеспечения использования персонального и компактного оборудования для экологически чистой переработки макулатуры непосредственно на территории организации-пользователя является актуальной задачей, решение которой позво-

лит снизить или полностью исключит вышеуказанные расходы [4]. Исследования в данной области соответствует приоритетному направлению фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2016 – 2020 годы. Целью исследования является достижение научно-технического решения задачи по технологическому обеспечению переработки офисной макулатуры непосредственно в самом офисе, в котором должна быть установлена перерабатывающая мини-станция, решающая проблему накопления макулатуры.

Современные аналоги станций переработки офисной макулатуры имеют ряд недостатков таких как:

- высокую стоимость оборудования и технического обслуживания;
- отсутствие опреснительных камер для ликвидации влажного нагретого воздуха из зоны каландрирования, поскольку обильное выделение пара в этой зоне заставляет конденсироваться воду на стенках камеры формования, что негативно сказывается на ее работоспособности;
- отсутствие контроля однородности толщины получаемого бумажного волокна после камеры формования.

Предлагаются следующие направления решения этих проблем:

- упрощение процесса переработки для сокращения времени переработки;
- создание дополнительных систем опреснения воздуха в установке и повторного использования полученной воды [4];
- совершенствование конструкции контроля и регулировки напыления и каландрирования бумажного волокна.
- применение новых недорогих и качественных материалов, которые позволят сократить затраты на обслуживание;
- уменьшение габаритов узлов, что повлияет на себестоимость станции;
- создание производственных линий на территории Республики Беларусь по изготовлению данных установок.

В этой связи работа в данной области является весьма актуальной, значительной для экономики страны, способствующей высвобождению производственных мощностей по складированию, хранению и переработки макулатуры.

Предлагаемое решение реализовано в разработанной конструкции станции, перерабатывающей бумагу, которая занимает малую площадь помещения в сравнении с огромными и грязны-

ми цехами по переработке макулатуры [5]. Для данной установки требуется подвод воды и электричества. Предлагаемая конструкция [6] сможет перерабатывать листы формата А4 с чернильными или красящими загрязнениями и формовать новые листы из переработанной массы макулатурного сырья. В процессе переработки в бумагу можно вводить различные материалы, изменяющие ее характеристики такие как цвет, прочность, плотность и огнестойкость.

Решение технологического обеспечения переработки офисной макулатуры видится в создании блочной последовательной электро-механической системы, объединённой в одной компактной конструкции, которая собирается по блочно-модульному принципу для повышения эффективности усовершенствования узлов-модулей, конструирования и производства новых блоков, разборки и сборки, замены, ремонта и последующего технологического обслуживания, замены расходных материалов. Схема разработанной персональной станции переработки макулатуры показана на рис. 1. Макулатура поступает в приемник 1 после чего разрезается в шредере 2 до мелких частиц нужного размера. Измельченная бумага по трубопроводу поступает в разрывную машину 3 и разрывается на волокна, которые фильтруются в центрифуге. Полученное и отфильтрованное бумажное волокно попадает в формовочную камеру 4, где смачивается и каландрируется группой роликов 6 бумажный лист, который в последующем нарезается на нужный потребителю размер 7.

Все существующие конкурентные технологии переработки макулатуры являются экологически грязными и трудоемкими, наносящими вред окружающей среде и экологии. В настоящее время основным конкурентом в данной технологии является компания Epson Paper Lab. Поэтому в качестве аналога к предлагаемому решению использована запатентованная схема, компании Epson [3].

Основываясь на технологии компании Epson и других известных решениях по переработке макулатуры Китайских и Японских компаний нами разработана технология и оборудование, для переработки офисной макулатуры, которая по расчетным и экспериментальным данным способствует увеличению производительности и качества переработки в 2 раза. Аналогичное производство на территории Республики Беларусь отсутствует, что является одним из положительных факторов развития использования данной инновации. В настоящее время в практическую

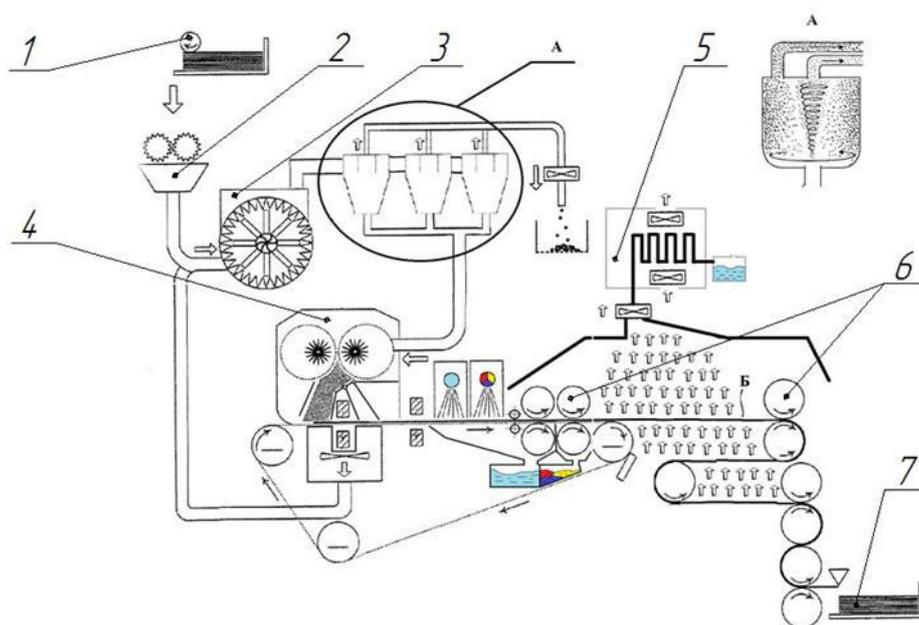


Рис. 1. Схема персональной станция переработки офисной макулатуры где: А – блок очистки волокна от загрязнений; 1 – блок приема бумаги; 2 – блок разрезания и измельчения бумаги; 3 – блок механического разрыва бумажной массы; 4 – блок формования; 5 – блок сушки и опреснения влаги; 6 – блок каландрирования; 7 – блок резки и вывода бумажного листа.

организационную деятельность компаний все чаще внедряются электронные источники информации, организуются электронные базы документов и информационные офисы, но полный переход на них еще не близок. Поскольку до полного отказа от бумажных носителей информации

еще далеко, предлагаемое нами решение вопроса экологически чистой переработки макулатуры на спроектированной станции является актуальной и экономически обоснованной задачей. Особенно это очевидно при огромных оборотах офисной макулатуры.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Фляте, Д. М. Технология бумаги. Учебник для вузов. / Д. М. Фляте. – М: лесн. Промсть, 1988 – 440с.
2. Гавриловец Д. А. Персональная станция переработки офисной макулатуры / Д. А. Гавриловец. // Труды молодых специалистов Полоцкого государственного университета. – 2017.– №: 90 «Машиностроение». – С. 302 – 303.
3. Патент № EP20020004578, 06.11.2002. / Способ получения суспензии целлюлозной массы бумажно-содержащего материала // Патент заявки № EP1254986 A1. 02.05.2001. / Jürgen Dockal-Bauer, Lothar Dr. Pfalzer, Harald Selder. – Режим доступа: <https://www.google.com/patents/EP1254986A1?cl=ru>. Дата доступа: 27.0.2017.
4. Гавриловец Д. А. Совершенствование эффективности блока формования плотности листа персональной станции переработки офисной макулатуры / Д. А. Гавриловец. // Труды молодых специалистов Полоцкого государственного университета. – 2017.– 90 «Машиностроение». – С. 304 – 305.
5. Иванов, С. Н. Технология бумаги. / С. Н. Иванов. – М: лесн. Промсть, 1960 – 712с.
6. Гавриловец Д. А., Кириенко А.С. Разработка технологии и оборудования для переработки офисной макулатуры/ Сборник материалов Международного форума студенческой и учащейся молодежи “Первый шаг в науку – 2017”. ООО «Минский технопарк» – Минск: Четыре четверти, 2017. – с. 82–84.

УДК 622.673-78(042.3)(476)

## ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК

*А.П. ДВОРНИК, Ю.В. КАЛИНЦЕВ*

*Солигорский Институт проблем ресурсосбережения  
с Опытным производством, Беларусь*

*При эксплуатации шахтного подъема возникает сложная проблема, действительный возраст подъемных машин в несколько раз превышает нормативные сроки их эксплуатации. Это просматривается во многих отраслях промышленности. Обосновывается это тем, что у предприятий отсутствуют материальные средства на замену дорогостоящего оборудования новым. За время эксплуатации этого оборудования научные разработки и элементная база ушли далеко вперед. Предлагаются совершенно новые приводы и системы их управления и контроля в плане повышения производительности, надежности, энергопотребления и безопасности.*

Важным и ответственным технологическим объектом рудников и шахт являются подъемные установки, которые обеспечивают выдачу полезного ископаемого, спуск и подъем людей и грузов. От надежной и безопасной работы которых зависит бесперебойная работа всего горнодобывающего предприятия. Любая аварийная ситуация на подъеме ведет к остановке горизонта или рудника. Поэтому проблемам повышения надежности и безопасности эксплуатации шахтных подъемных установок всегда уделяли первостепенное значение.

Однако, за последние годы парк подъемных машин стареет. Так на ОАО «Беларуськалий» 23 подъемные установки из 35 срок службы которых превышает 25 лет. Такой же срок службы имеют и комплектующие подъемных машин – приводы, системы управления этими приводами, стволовая сигнализация и связь. Но также оборудование и армировка шахтного ствола, и другие жизненно важные устройства подъема. Система привода постоянного тока типа Г-Д, которая преимущественно используется на подъемных машинах большой мощности состоит из 4 электрических машин, три из которых коллекторного типа, имеют большие стоимость и энергопотребление.

Основные недостатки и причины замены скиповых шахтных подъемных машин (ШПМ): усталостные трещины на органах навивки, ступицах,

на сварных швах ребер; приварены ступицы органа навивки к главному валу создающие дополнительные напряжения в обечайке барабана; недостатки в конструкции тормозных балок в которых сварные швы ребер жесткости сведены в одну точку концентратора напряжений; достаточно сложная регулировка переставной части барабана на машинах БЦК при выравнивании длин канатов; быстрый износ валиков тормозной системы (практически при каждой годовой ревизии и наладке машины требуется замена валиков и втулок по причине увеличенного зазора); тормозная система собрана на устаревшей элементной базе, наладку которой выполнить достаточно сложно; высокая энергоемкость привода; не совершенна система регистраторов параметров работы машин и др.

В связи с этим весьма актуальной является задача обеспечения безопасной эксплуатации подъемных установок.

Основными направлениями решения этой задачи являются их замена, модернизация, оснащение шахтных подъемных установок устройствами своевременного обнаружения нарушений в режимах работы и принятия необходимых мер по предупреждению аварий, применения систем защиты и блокировок.

Для современных шахтных подъемных машин характерными являются современные тенденции

роста грузоподъемности, максимальных скоростей перемещения подъемных сосудов, увеличения глубин шахт, увеличения диапазона регулирования частоты вращения двигателей электроприводов.

В общем случае граница целесообразного применения редукторного и безредукторного электроприводов определяется по результатам исследований с учетом многих факторов стоимости и целесообразности.

Хорошая конструкция, при качественном монтаже, квалифицированно налаженная и тщательно обслуживаемая подъемная установка должна работать стабильно и безопасно [1].

Для безопасной и надежной работы подъемных установок, своевременного обнаружения нарушения режимов работы и принятия необходимых мер по предупреждению аварии используют систему защиты и блокировки, являющуюся составной частью системы управления.

Взаимоувязанное действие защит и блокировок позволяет избежать предупредить аварии на подъемных установках.

Элементы защиты подъемных установок, как правило, реагируют на предельное отклонение основных параметров системы (ток, скорость, величину напуска каната, переподъем и т.д.), действие защиты проявляется во включении предохранительного тормоза и прекращении технологического процесса. В то же время защита не должна мешать нормальной работе подъемной установки. Это обстоятельство предъявляет повышенные требования к элементам защиты. Однако имеются случаи аварий на ряде подъемных установок по причине принципиально неверно выполненной защиты, отсутствия самоконтроля, несовершенства отдельных аппаратов защиты и блокировки, и периодических проверок их элементов [2].

Требования предъявляемые к аппаратам защиты и блокировки: высокая надежность; постоянная готовность к работе; проверка готовности аппаратов должна осуществляться как в ручном, так и в автоматическом режиме; простота настройки с обеспечением ее фиксации; отсутствие ложных срабатываний (высокая надежность отдельных элементов и аппаратов защиты в целом), стабильность работы; должны быть исключены срабатывания защитных устройств вследствие их чрезмерной чувствительности к контролируемому параметру; охват как можно большего числа защищаемых параметров.

Анализ аварий на подъемных установках свидетельствует о необходимости расширить диа-

пазон защитных функций - аппаратура защиты должна реагировать, если не удовлетворяется хотя бы одно из требований, устанавливаемых для основных и второстепенных параметров системы, иметь высокую степень самоконтроля элементов и электрических цепей [3].

При проектировании аппаратов защиты должны использоваться методы, основанные на определении реакции аппаратов защиты на специальные контрольные и рабочие сигналы.

Срабатывание аппаратов защиты и блокировки должно вызывать включение предохранительного тормоза, предупредительной сигнализации или накладывать запрет на последующий цикл.

Система защит и блокировок подъемных установок может быть разделена на следующие основные группы:

- защиты, требующие немедленного включения предохранительного тормоза. Эти защиты выполняются с высокой степенью самоконтроля и отличаются высокой надежностью.

- защиты, позволяющие завершить цикл подъема, но запрещающие дальнейшую работу;

- защиты, сигнализирующие о неисправности элементов оборудования подъемной установки, которые допускают работу подъемной установки со сниженными параметрами без уменьшения надежности и безопасности до остановки ее на ремонт.

Кроме защит, схема управления должна иметь систему блокировок, препятствующих выполнению какой-либо операции, влекущей за собой аварийный режим подъемной установки.

Дальнейшая интенсификация работ в горно-рудной промышленности требует применения высокопроизводительной техники, механизации и автоматизации производственных процессов, совершенствования средств защиты, связи, сигнализации и повышения безопасности работ.

Требования потребителя сводятся к применению современных приводов по безредукторной схеме компоновки привода состоящих из: синхронного электродвигателя с напряжением сети питания – 10 кВ; полупроводниковой силовой преобразовательной техники, совместимой по программному обеспечению с микропроцессорным контроллером управления; микропроцессорной системой регулирования и управления, защит и блокировок, диагностики и контроля с развитым интерфейсом «человек-машина»; цифрового (микропроцессорного) устройства контроля параметров подъемной машины (регистратора параметров); аппаратуры системы ствольной сиг-

нализации и связи и др. компонентов шахтной подъемной машины.

Программируемые контроллеры типа S7 Сименс могут включать в свой состав:

– модуль центрального процессора (CPU). В зависимости от степени сложности решаемых задач в программируемом контроллере могут использоваться более 20 типов центральных процессоров.

– блоки питания (PS) для питания контроллера от сети переменного или постоянного тока.

– сигнальные модули (SM), предназначенные для ввода и вывода дискретных и аналоговых сигналов, в том числе Fail Safe и модули со встроенными Ex-барьерами.

– коммуникационные процессоры (CP) - интеллектуальные модули, выполняющие автономную обработку коммуникационных задач в промышленных сетях AS-Interface, PROFIBUS, Industrial Ethernet, PROFINET и системах PtP связи. Применение дополнительного программного обеспечения позволяет расширить коммуникационные возможности контроллера поддержкой обмена данными в сетях MODBUS RTU, MODBUS/TCP, BACnet и KNX/ EIB, Для работы в системах телеуправления S7-300 может дополняться аппаратурой и программным обеспечением

SINAUT ST7 и SIPLUS RIC.

– функциональные модули (FM) - интеллектуальные модули, оснащенные встроенным микропроцессором и способные выполнять задачи автоматического регулирования, взвешивания, позиционирования, скоростного счета, управления перемещением и т.д.

Имеют высокую мощность благодаря наличию большого количества встроенных функций.

Универсальный модульный программируемый контроллер имеет свободное наращивание функциональных возможностей при модернизации системы управления для максимальной адаптации к требованиям решаемой задачи.

Комплексное решение проблемы развития электропривода шахтных подъемных машин в направлении повышения их эффективности работы является актуальным.

Анализ «Правил промышленной безопасности при разработке подземным способом соляных месторождений Республики Беларусь» показывает, что глава 31 «Подъемные машины и лебедки» нуждается в переработке с учетом вышесказанного, что повысит требования к системам приводов и их управления и соответственно повысит уровень безопасности подъема [4].

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Руководство по ревизии, наладке и испытанию шахтных подъемных установок / под общ. ред. В.А. Корсуна, Г.Д. Трифанова. – 4-е изд., перераб. и доп. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – 616 с., с ил.
2. Стрелков М.А., Кузнецов В.С. Применение регистраторов параметров для оценки остаточного ресурса шахтных подъемных установок // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Отдельный выпуск №16: Горная механика и транспорт. – М.: Горная книга, 2009. – С. 332-338.
3. Стрелков М.А. Метод определения основных характеристик шахтных подъемных установок в режиме реального времени // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – М.: Горная книга, 2011. – №4. – С. 314-318.
4. Правила промышленной безопасности при разработке подземным способом соляных месторождений Республики Беларусь. 2012 г. с изм. 20.03 2014. Постановление МЧС Республики Беларусь от 10.04.2014 г. № 10.

## К ВОПРОСУ О НАРУШЕНИИ ПАТЕНТА ИЗОБРЕТЕНИЯ ИЛИ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ

Павлович А.Э.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Часто некоторые патентообладатели спешат предъявить претензии к своему конкуренту, считая его нарушителем патента, но не анализируют тщательно основной патентный документ – правовую формулу изобретения или полезной модели.

Согласно п.1 и п.2 статьи 36 Закона [1] использованием запатентованного изобретения или полезной модели, в том числе, несанкционированным использованием, признается применение в сравниваемом продукте или в способе каждого признака запатентованного объекта, включенного в независимый пункт формулы, или эквивалентных им.

Рассмотрим на простом примере, нарушается или не нарушается патент на евразийское изобретение «Кляммер для крепления облицовочных фасадов» [2] аналогичной продукцией [3] конкурента патентообладателя?

Визуально (рис.1) кляммер патентообладателя (слева) и кляммер его конкурента (справа) очень схожи.

Независимый пункт формулы изобретения.

Кляммер для крепления облицовочных элементов фасада, представляющий собой опорную пластину (1), снабженную средством фиксации облицовочного элемента, выполненным в виде двух пар упругих лепестков (2–5) дугообразной формы, выступающих над лицевой поверхностью пластины (1), и сквозными отверстиями (6,7) под крепежные элементы, и имеющую центрально-симметричную конструкцию относительно продольной (9) и поперечной (8) осей, отличающийся тем, что упругие лепестки (2–5) по одному расположены в угловых зонах опорной пластины (1), причем лепестки (2–5) отогнуты в одном направлении для пары лепестков (2,4 или 3,5), расположенной вдоль продольной оси (9), и

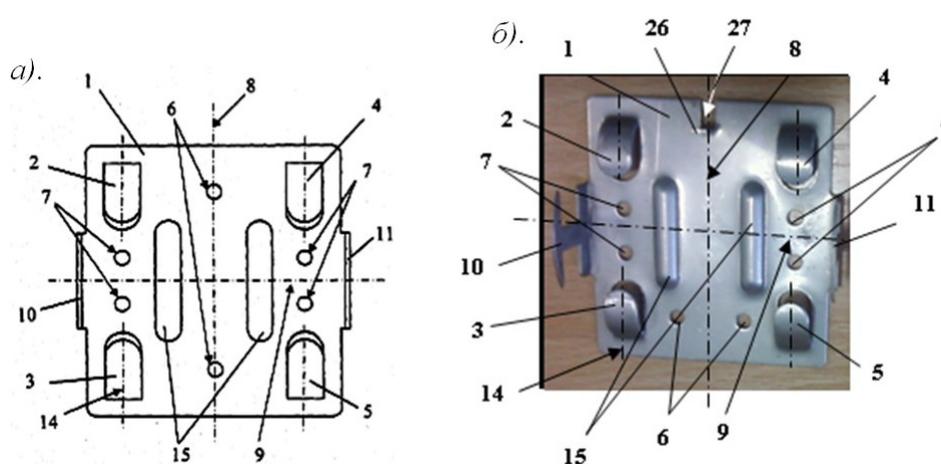


Рис. 1. Сравнимые кляммеры:

а – по патенту [2], б – по продукции конкурента [3]:

1 – опорная пластина; 2–5 упругие лепестки; 6, 7 – сквозные отверстия; 8 – поперечная ось;  
9 – продольная ось; 10, 11 – опорные выступы; 14 – продольные оси упругих лепестков;  
15 – ребра жесткости; 26 – паз; 27 – опорный выступ

во встречном направлении для пары лепестков (2,3 или 4,5), расположенной вдоль поперечной оси (8), средство фиксации дополнительно содержит, по меньшей мере, одну пару опорных выступов (10,11), выполненных заодно с опорной пластиной (1) и расположенных на ее противоположных, ориентированных вдоль поперечной оси (8) торцах, перпендикулярно поверхности опорной пластины (1) в зоне между парами лепестков (2,3 или 4,5), отогнутых во встречном направлении, при этом каждый опорный выступ (10,11) снабжен, по меньшей мере, одним элементом фиксации облицовочного элемента в направлении, перпендикулярном поверхности опорной пластины (1), причем каждый опорный выступ (10,11) с соответствующим элементом фиксации облицовочного элемента выполнен с формированием по меньшей мере одной опорной полки П-образного профиля, для которой ширина выбрана в соответствии с толщиной облицовочного элемента, а направление относительно поверхности опорной пластины (1) выбрано в соответствии с направлением лепестков (2–5) относительно поверхности опорной пластины (1), сквозные отверстия (6,7) под крепежные элементы расположены попарно симметрично относительно продольной оси (9) опорной пластины (1), по меньшей мере, на поперечной оси (8) опорной пластины (1) в зоне между лепестками (2,4 или 3,5), отогнутыми в одном направлении, и в зонах между каждой парой лепестков (2,3 или 4,5), отогнутых во встречном направлении.

В данном пункте формулы патента довольно много признаков (19), из которых, при сравнительном анализе, пять не применяются в кляммере конкурента.

Это признаки:

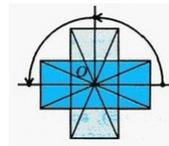
- опорная пластина (1) имеет центрально-симметричную конструкцию относительно продольной и поперечной осей (9, 8);
- средство фиксации дополнительно содержит, по меньшей мере, одну пару опорных выступов (10, 11);
- каждый опорный выступ снабжен по меньшей мере одним элементом фиксации (12) облицовочного элемента в направлении, перпендикулярном поверхности опорной пластины (1);
- сквозные отверстия (6, 7) под крепежные элементы расположены попарно симметрично относительно продольной оси (9) опорной пластины (1);
- сквозные отверстия (6, 7) под крепежные элементы расположены по меньшей мере, на поперечной оси (8) опорной пластины (1) в зоне

между лепестками (2,4 и 3,5), отогнутыми в одном направлении, и в зонах между каждой парой лепестков (2,3 и 4,5), отогнутых во встречном направлении.

Как пример, в отношении признака «опорная пластина (1) имеет центрально-симметричную конструкцию относительно продольной и поперечной осей (9, 8)» рассмотрим понятие «центрально-симметричная конструкция» по отношению к сравниваемым кляммерам.

Если пренебречь малой (1,2 мм) толщиной пластины кляммера, то он будет представлять собой фигуру, вписанную в прямоугольник.

Из учебников по геометрии, например [4], известно, что сам прямоугольник является центрально-симметричной фигурой. Точка (О) на пересечении его диагоналей называется «центром симметрии». При повороте вокруг него прямоугольник совпадет с первоначальным своим изо-



бражением:

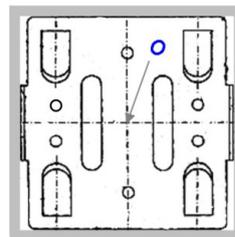
При повороте любой другой фигуры на  $180^\circ$  вокруг центра ее симметрии, если она совпадет со своим первоначальным изображением, то и такая фигура будет называться центрально-симметричной.

Например, являются центрально-симметричными фигурами:



или вписанная в прямоугольник не полностью фигура в виде прямоугольника с закругленными углами . Она обладает простой конструкцией, так как у нее есть конструктивные симметричные элементы в виде закругленных углов.

Более сложной конструкцией с центральной симметрией обладает кляммер по фиг. 1 из рассматриваемого евразийского патента, вписанный также не полностью в прямоугольник:

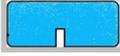


Т.е. он сам и его пластина, и приведенный выше прямоугольник с закругленными равными углами, имеют центрально-симметричную кон-

струкцию, так как при повороте вокруг центра их симметрии (O) они совпадут со своими первоначальными изображениями.

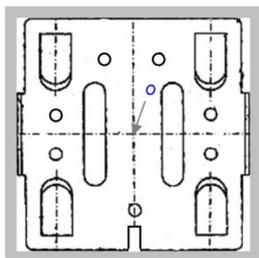
Центральная симметрия элементов конструкции запатентованного кляммера в этом случае также будет и относительно его продольной и поперечной осей.

Естественно, не являются центрально-симметричными фигурами: , а

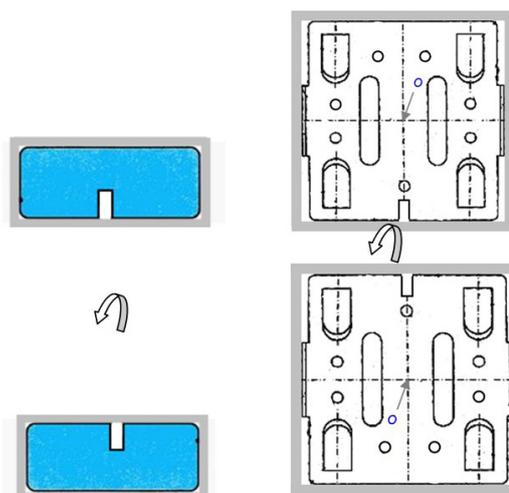
также  – вписанная в прямоугольник не полностью фигура в виде простой конструкции прямоугольника с закругленными углами и пазом с одной стороны.

Более сложной конструкцией, не имеющей центральной симметрии, обладает кляммер конкурента, вписанный также не полностью в пря-

моугольник:



Т.е. он сам и его пластина, и приведенный выше прямоугольник с закругленными равными углами и пазом не имеют центрально-симметричную конструкцию, так как при повороте вокруг центра симметрии (O) прямоугольника, в который они вписаны, они не совпадут со своими первоначальными изображениями:



Не будет центральной симметрии элементов конструкции такого кляммера в этом случае также и относительно его продольной и поперечной осей.

Следовательно, рассматриваемый признак из независимого пункта формулы изобретения по евразийскому патенту [2] отсутствует в конструкции сравниваемого кляммера, так как его опорная пластина (1) не имеет центрально-симметричную конструкцию, в том числе относительно поперечной оси (8).

А если хотя бы один признак из независимого пункта формулы запатентованного изобретения отсутствует, то это указывает, что патент не нарушается. В совокупности с отсутствием еще четырех признаков, доказательства такого не нарушения, весьма убедительны.

**Источники информации:**

1. Закон Республики Беларусь « О патентах на изобретения, полезные модели и промышленные образцы» №160-3 от 16.12.202 с последними изм и дополнениями согласно Закона Республики Беларусь №275-3 от 18.12.2019. (Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 28.12.2019, 2/2713).
2. Патент ЕАРО 018027, МПК E04B 1/38, приоритет 29.04.2011, опубликован 30.04.2013.
3. Кляммер невидимый. Чертеж. Электронный ресурс: <http://www.konstruktiv.by/products>. Дата доступа 7.12.2020.
4. Математика. 6 класс: учеб. для учащихся общеобразоват. Учреждений / И.И. Зубарева, А.Г. Мордкович. – М.: Мнемозина, 2009, стр. 9, рис. 12, 13.