

# ИНЖЕНЕР-МЕХАНИК

№ 3 (88)  
июль – сентябрь  
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 30.09.2020.

Формат 60×84/8. Бумага офсетная.

Гарнитура «Таймс». Печать офсетная.

Усл. печ. л. 5,6. Уч.-изд. л. 4,7.

Тираж 75 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

Предпосылки к развитию в Беларуси многофункциональности строительных машин. *Вавилов А.В., Гарост М.М.*.....2

Конструктивные элементы, необходимые для создания многофункциональных машин. *Вавилов А.В., Гарост М.М.*.....6

Совершенствование многофункциональности строительных машин в Беларуси с учетом зарубежного опыта. *Вавилов А.В., Гарост М.М.*.....13

Механика блочного лука. Ч2. Лук как колебательная система. Нагружение лука. *Доброго К.В.*.....20

### Материалы конференций и семинаров

Разработка автоматизированной системы контроля и управления процессом пайки. *Колмаков А.Г., Опарина И.Б., Шкурко В.В., Хейфец И.М.*.....30

Обеспечение качества сопрягаемых поверхностей деталей. *Соломахо В.Л., Цитович Б.В.*.....33

### Патентуем сами

Некоторые инженерные разработки для совершенствования техники в настольном теннисе. *Павлович А.Э.*.....37

### Из истории авиации

Обратная стреловидность самолетного крыла. *Клеванец Ю.В.*.....41

## ПРЕДПОСЫЛКИ К РАЗВИТИЮ В БЕЛАРУСИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Вавилов А.В., Гарост М.М.

Белорусский национальный технический университет

С начала XXI века в Республике Беларусь интенсивно ведется жилищное строительство, а также строительство и реконструкция дорог и транспортных сооружений на них. Такие важные для республики работы необходимо выполнять быстро, качественно и с наименьшими затратами. Нормативная продолжительность строительства объектов в Республике Беларусь определяется ТКП 45-1.03-122-2015 в соответствии с которым нормы продолжительности строительства объектов установлены с учетом выполнения строительно-монтажных работ основными строительными машинами в 2 смены, а остальных работ в среднем в 1,5 смены.

Многие виды строительных работ носят временный или сезонный характер, а их объекты зачастую удалены друг от друга, поэтому строительные организации вынуждены иметь комплекты строительных машин или использовать ручной труд. Применение специализированных машин в комплектах, которые охватывают все операции строительных технологий, обходится дорого из-за небольшой загрузки, особенно при наличии небольших объемов работ и сезонной работе.

Для устранения отмеченных выше недостатков строительное машиностроение идет по пути

создания многофункциональных средств механизации, оснащенных сменными рабочими органами для выполнения широкой гаммы строительных процессов [1–10].

По мнению авторов публикации [10] многоцелевой можно считать такую машину, в которую на стадии проектирования заложены качества, позволяющие обеспечить выполнение различных видов работ.

Зарубежный опыт убедительно доказывает целесообразность серийного выпуска многоцелевых машин, оснащенных широкой номенклатурой сменных рабочих органов, причем номенклатура сменных рабочих органов должна определяться потребителем на стадии оформления заказа.

В работе [10] были сформулированы общие требования к многоцелевым строительным машинам и определена предельная масса сменного рабочего оборудования для данной базовой машины. Многоцелевая строительная машина (рис. 1) содержит базовую машину (БМ), переднее устройство быстрой замены (УБЗ), к которому присоединяются сменные рабочие органы (СРО). Через устройство связи (УС) к СРО крепятся дополнительные приспособления (ДП). Сзади БМ может находиться тягово-цепное устройство (ТСУ).

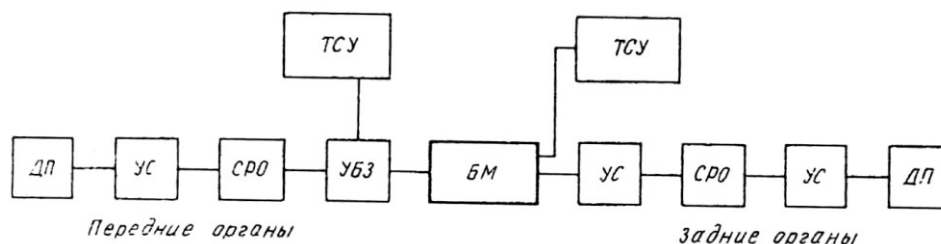


Рис. 1. Структура системы многоцелевой базовой машины со сменными рабочими органами

Главным техническим параметром многоцелевых агрегатов можно считать массу машины. Другие технические параметры следует рассматривать в качестве производных от главного. Предельная масса СРО для данной базовой машины может быть определена из условия устойчивости многоцелевой машины по формуле [10].

$$M = \frac{G_6}{1,2} \cdot \frac{r_2}{r_1} - G \frac{r_1}{r},$$

где  $G_6$  и  $G$  – соответственно масса базовой машины и рабочего оборудования, кг;  $r$ ,  $r_1$ ,  $r_2$  – расстояние от вертикали, проведенной через точку опрокидывания, до центра тяжести базовой машины, рабочего оборудования и СРО (с грузом) соответственно.

Процесс развития многоцелевых и универсальных машин характеризуется следующими направлениями [11]:

- создание машин с комплектом сменных рабочих органов к базовому оборудованию (комплекты ковшей различной вместимости, рабочие органы различного назначения и т.д.);

- создание машин со сменным рабочим оборудованием к базовому шасси (комбинированные дорожные машины, экскаватор с крановым оборудованием и др.);

- создание машин с постоянно установленным рабочим оборудованием нескольких видов различного назначения (экскаватор-бульдозер, бульдозер-рыхлитель, экскаватор-фронтальный погрузчик);

- создание многоцелевых универсальных рабочих органов различного назначения на базовом оборудовании (челюстной ковш, машина для пересадки деревьев, скрепердозер, экскаватор с грузозахватным крюком и др.);

- создание машин (комбайнов) с несколькими постоянно установленными рабочими органами, способными за один рабочий ход выполнять несколько технологических операций различного назначения (характерный пример – дорожная машина для ресайклинга), для осуществления которых прежде требовалось несколько специализированных машин.

Реализация первого направления позволяет использовать базовую машину для выполнения большого числа разнообразных технологических операций. Машины третьего и четвертого направлений всегда готовы к работе. Эксплуатация машин первой и второй группы связана с выполнением ряда вспомогательных операций: замену оборудования, подвоз новых рабочих органов, вывоз снятых, их транспортировку, хранение и

т.д. Коэффициент использования машин при этом снижается.

Предложенная профессором Баловневым В.И. схема классификации многоцелевых машин [11] приведена на рис. 2.

В работе [11] приведены рекомендации по оптимальному использованию многофункциональных машин, которые основываются на методике анализа системных моделей времени выполнения рабочих операций машин для получения конечного полезного продукта. В методике используется принцип деления области поиска оптимального решения на части. В одной части поиск осуществляется по технико-эксплуатационным показателям, а во второй – по анализу экономических показателей. Оптимальное решение определяется минимизацией времени выполнения рабочих операций.

В связи с вышеизложенным рассмотрим имеются ли в Беларуси предпосылки к развитию многофункциональности строительных машин. Поскольку Республика Беларусь является транзитной страной, то интенсивно идет строительство и реконструкция автомобильных дорог. Технология строительства дорог постоянно меняется, соответственно и меняется набор техники, необходимой для работы на строительной площадке. Так, в 1975 г. при строительстве дорог 41 % земляных работ выполнял одноковшовый экскаватор, в 1985 г. – 33 %, а в 2005 г. – 61 %. Распределение строительной техники при выполнении земляных работ приведены в табл. 1.

Табл. 1

Тенденция востребованности машин для земляных работ

№	Виды работ	Распределение объемов работ по годам, %		
		1975	1985	2005
1	Экскаваторные:	57	54	81
	Одноковшовые экскаваторы	41	33	61
	Многоковшовые экскаваторы	16	21	20
2	Скреперы	15,5	18	11
3	Бульдозеры и автогрейдеры	14	12	8

Как видно из табл. 1 одной из ведущих землеройных машин является гидравлический полно- и неполноповоротный одноковшовый экскаватор. Выпуск одноковшовых гидравлических экскаваторов составляет 90–95 % от общего вы-

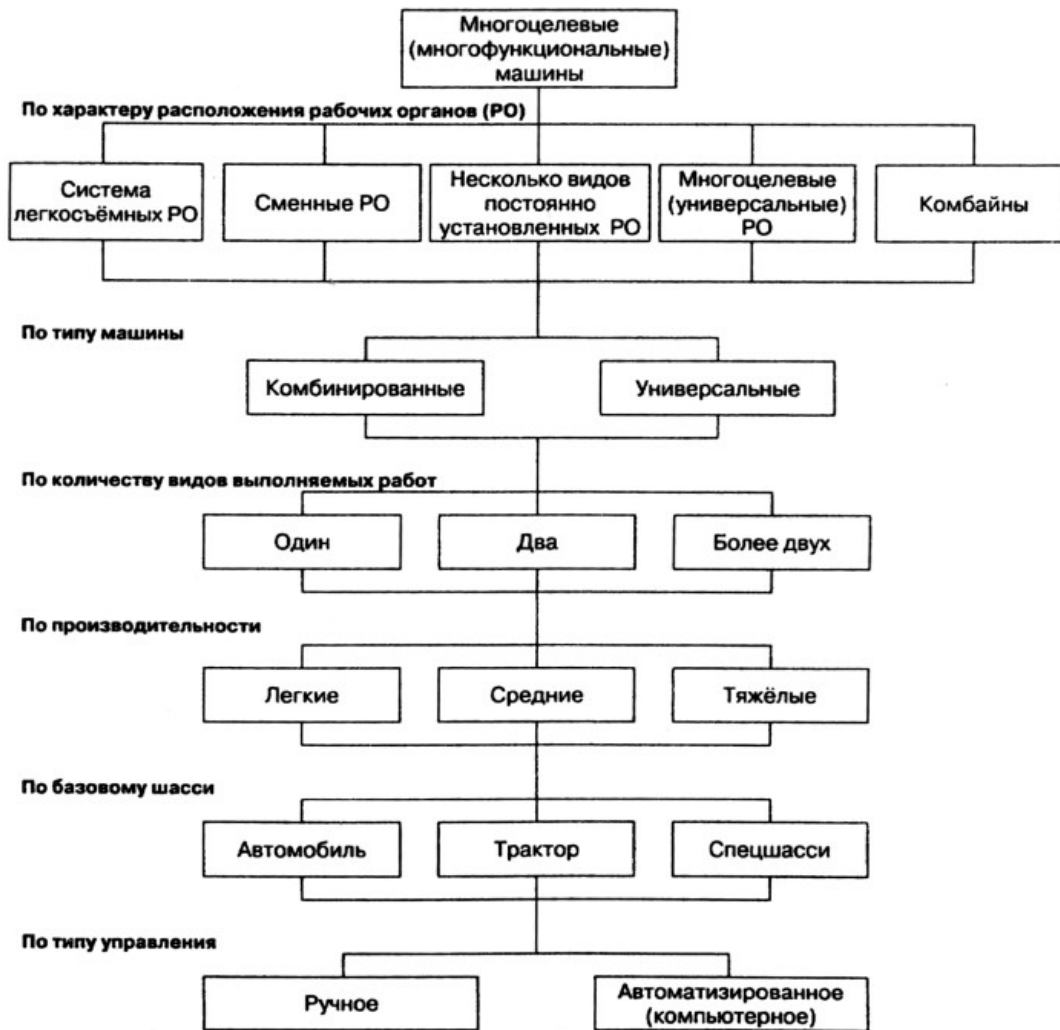


Рис. 2. Классификация многоцелевых (многофункциональных) машин [11]

пуска экскаваторов. Они находят повсеместное большое применение за счет широкого использования сменных рабочих органов и рабочего оборудования. Использование сменных рабочих органов позволяет повысить производительность и существенно расширить спектр решаемых задач и сократить машинокомплекты на строительной площадке.

Одноковшовый экскаватор сегодня крайне востребован на строительной площадке, особенно гидравлический экскаватор 5-й размерной группы (табл. 1). Как видно из табл. 1 одноковшовый экскаватор выполняет 61 % землеройных работ, поскольку современная техника является дорогостоящей, то необходимо задействовать экскаваторы на других видах работ в освободившемся периоде времени.

Современный экскаватор перестал быть толь-

ко землеройной машиной, сегодня экскаватор может оснащаться более 40 видами рабочих органов и оборудования, некоторые из них представлены на рисунке (см. обложку). Экскаватор способен справляться с большим спектром задач такими как: копание грунтов, разрушение зданий, валка леса, измельчение древесины, погрузка древесины, разрушение дорожных покрытий, уплотнение смесей, корчевка пней и многое другое, вытесняя другие виды техники со строительной площадки.

Используя экскаватор с различными сменными органами, необходимо задействовать весь его потенциал, это приведет к сокращению машин на строительной площадке и тем самым снизит стоимость строительства.

Аналогичное заключение можно сделать в отношении использования одноковшового фронтального погрузчика и других строительных машин.

*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, В.В. Буланов и др. // Строительные и дорожные машины. – 1990. № 1. – С. 3–4.
4. Кузин Э.Н. Многоцелевое манипуляторное оборудование на базе экскаватора ЭО-3322А / Э.Н. Кузин, В.И. Баловнев 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. Основные принципы создания многоцелевого автодорожного шасси / А.Н. Иванов [и др.] // Строительные и дорожные машины. – 1990. – № 6. – С.16–19.
8. 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.
9. Методические рекомендации по комплексной оценке социально-экономической эффективности мероприятий, направленных на ускорение научно-технического прогресса. Утверждены совместным постановлением ИКНТ СССР и Президиума АН СССР 03.03.88 № 60/52. – М., 1988.
10. Богуславский, В.Е., Принципы и задачи проектирования многоцелевых строительных машин / В.Е. Богуславский, В.Л. Хазанет // Механизация строительства. – 1992. – № 2. – С. 10–11.
11. Баловнев, В.И. Использование многоцелевых машин в строительстве / В.И. Баловнев // Подъемно-транспортное оборудование. – 2005. – № 1–2. – С. 51–53.



## КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАШИН

*Вавилов А.В., Гарост М.М.*

*Белорусский национальный технический университет*

Многофункциональные машины могут создаваться путем оснащения широко применяемых в строительстве машин дополнительным быстросъемным оборудованием. Например, отвал бульдозера может оснащаться следующим оборудованием, значительно расширяющим его технологические возможности: уширителем отвала, рыхлительным зубом, киркой для взламывания асфальтовых покрытий, ножами для разработки мерзлых грунтов, кусторезом, грузовыми вилами, подъемным крюком и т.д.

Относительно несложно создаются многофункциональные машины на базе серийных тракторов и шасси с помощью универсальных рам. Однако рамы необходимо рассчитывать на прочность с учетом тех сменных рабочих органов, которые будут на нее устанавливаться [1–2].

Для проведения расчета необходимо составить расчетную схему, определить силы, действующие на раму, её собственную массу и точку приложения (центр тяжести всей конструкции), для чего необходимо построить 3D-модель металлоконструкции рамы.

Для примера проведен прочностной анализ конструкции несущей системы гусеничного бульдозера на базе трактора Т-153 (рис. 1).

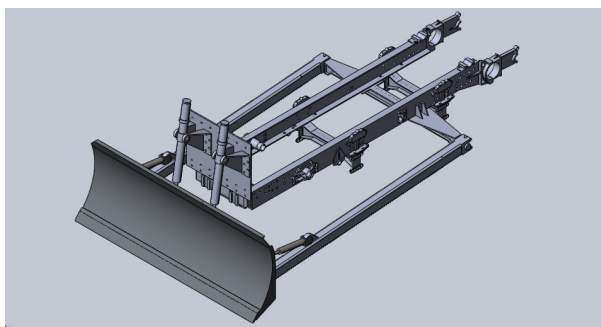


Рис. 1. Несущая система гусеничного бульдозера

Для оценки напряженно-деформированного состояния была построена расчетная компьютерная модель несущей системы (рамы) бульдозера.

Используя систему Ansys-15, выполнен прочностной анализ несущей системы бульдозера. При исследовании нагруженности несущей системы бульдозера (рис. 2) моделировались наиболее нагруженные режимы – выглубление отвала при перемещении грунта с максимальным тяговым усилием и перекосом отвала, а также удар отвалом в труднопреодолимое препятствие.

Наиболее просто агрегаты различного назначения на базе трактора, автомобиля или тягача komponуются с помощью опорно-сцепного устройства. Один и тот же тягач, имея хорошую проходимость и большую грузоподъемность, может иметь высокий коэффициент использования по времени, перевоза трубы и панели, блоки и дорожно-строительную технику, выполняя погрузочно-разгрузочные работы.

Тягач агрегируется с полуприцепом и образует с ним единую машину. Соединяют его с полуприцепом чаще всего седельно-сцепным устройством. Оно позволяет поворачиваться тягачу относительно полуприцепа на 90° в каждую сторону, что повышает маневренность машины.

В последнее время широкое применение в Беларуси находит механизм погрузочно-разгрузочный (МПР) предназначенный для погрузки и разгрузки на автомобиль сменных кузовов (рис. 3). Преимуществом автомобилей, оборудованных МПР, является то, что на одном автомобиле могут перевозиться кузова различного назначения (контейнер, платформа, бытовка, цистерна и т. д.). При этом, простои автомобилей, эксплуатируемых с двумя-тремя съемными кузовами, значительно сокращаются, так как съемные кузова заполняются в отсутствие автомобиля, который в

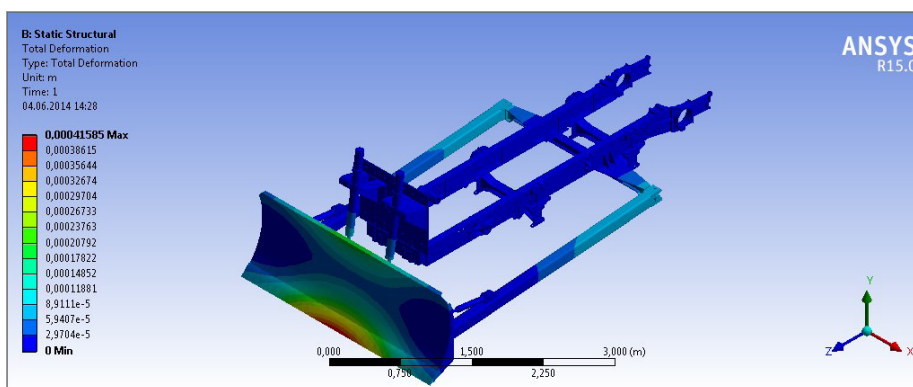


Рис. 2. Исследование нагруженности несущей системы гусеничного бульдозера (этюра суммарных линейных перемещений)

это время занят транспортировкой других кузовов. Гидроуправляемый крюковой захват в отличие от тросового позволяет решать задачи безопасности (отсутствие обрыва и перехлеста тросов), а также имеет значительные технологические, эксплуатационные и скоростные преимущества.

Применение разнообразных конструкций сменных кузовов позволяет использовать механизм погрузочно-разгрузочный (МПР) в различных отраслях:

- коммунальное хозяйство – вывоз твердых бытовых отходов (ТБО);
- дорожное хозяйство – выполнение работ по содержанию и ремонту дорог (один автомобиль с МПР и различными кузовами может служить не только мусоровозом, но и пескоразбрасывателем, поливочной машиной и т.д.);
- строительная сфера – вывоз крупногабаритного мусора, перевозка бетономешалок, компрессоров или кузовов-топливозаправщиков, строительной, дорожной техники и другого оборудования;

– лесопромышленный комплекс – транспортировка отходов лесозаготовки и лесопиления, лесохозяйственной техники.

Ниже приводятся технические характеристики механизмов погрузочно-разгрузочных различной грузоподъемности (табл.).

Табл.

Технические характеристики МПР для погрузки и разгрузки сменных кузовов

Показатели, технические характеристики МПР	Марки, механизмы		
	МПР-1	МПР-2	МПР-3
Грузоподъемность, кг	14000	18000	20000
Время установки грузе-ной платформы, с	200	200	200
Время подъема/опускания	200	200	200
Макс.угол подъема плат-формы, град, не менее	45	45	45
Габаритная длина, мм	5100	5700	6250
Габаритная ширина, мм	1400	1400	1500
Габаритная высота, мм	2200	2200	2200



Наличие типоразмерного ряда механизмов МПР позволяет расширить многофункциональность, устанавливая их на автомобилях различной грузоподъемности и тракторах различного класса тяги. Потребуется только для этого разрабатывать новые сменные рабочие органы.

В Беларуси машиностроительное предприятие «Святовит» выпускает многофункциональный одноковшовый экскаватор с телескопиче-

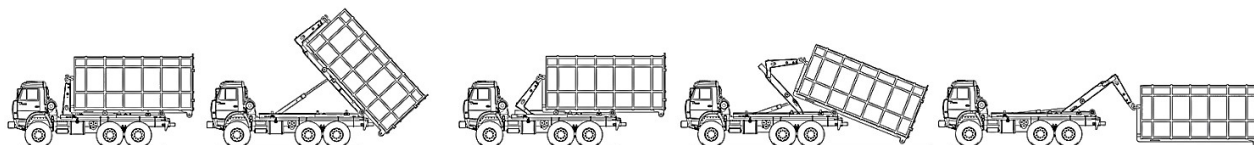


Рис. 3. Механизм погрузочно-разгрузочный для погрузки и разгрузки сменных кузовов

ской стрелой. Такой экскаватор имеет ряд преимуществ по сравнению с обычными одноковшовыми гидравлическими экскаваторами, в частности за счет угла поворота ковша относительно продольной оси стрелы на  $360^\circ$ , что обеспечивает его широкую применимость: в общегражданском и дорожном строительстве, жилищно-коммунальном хозяйстве и т.д.

Однако покупка такого экскаватора обходится сегодня недешево. Предлагается уже приобретенные предприятиями одноковшовые гидравлические экскаваторы дооборудовать до уровня экскаваторов предприятия «Святовит», придав им дополнительные возможности за счет специальных вращателей – (ротаторов, тилтротаторов) и удлинителей стрел.

В Швеции компанией Engcon, разработан и выпускается ряд тилтротаторов к гидравлическим одноковшовым экскаваторам массой от 2 т до 32 т.

Тилтротатор Engcon «запястье» между рукоятью экскаватора и ковшом обеспечивает неограниченное вращение ковша на  $360^\circ$  влево или вправо, а также наклон до  $40^\circ$  в двух направлениях.

Тилтротатор – является многоцелевым, простым в использовании оборудованием для экскаваторов и экскаваторов-погрузчиков, предназначенным для упрощения работы и повышения производительности.

Тилтротатор поставляется в комплекте с рукавами высокого давления, быстроразъемными сидениями и электрическим оборудованием для



Рис. 4. Тилтротатор модели EC30

установки на машину, что позволяет оператору выполнять смену рабочих органов не выходя из кабины.

Ниже приведен общий вид и технические характеристики тилтротатора модели EC30, которая подходит для установки на все экскаваторы массой 22-32 т (рис. 4).

Удлинители стрелы (рис. 5) подходят для установки на рабочее оборудование одноковшового гидравлического экскаватора, при этом увеличивают радиус копания без изменения рабочих характеристик базовой машины (рис. 6). В Италии выпускается удлинитель стрелы 3 м и 5 м.

На некоторых моделях гидравлических экскаваторов пята стрелы может смещаться относительно поворотной платформы с помощью установленных на ней гидроцилиндров и изменять зону действия рабочего оборудования [3].

Многофункциональный технологический комплекс (рис. 7) [4] позволяет благодаря использованию специальной кинематики рабочего оборудования с двумя ведущими звеньями получить прямую и обратную лопату.

Параллельно с разработкой многофункциональных машин создаются устройства для быстрой замены рабочих органов, которые можно разделить на три группы [3]:

- устройства, требующие для монтажа рабочих органов выхода оператора из кабины и использования ручного труда для выполнения этих операций;

- устройства, которые имеют дополнительный механизм фиксации рабочего органа с автономным приводом, а выход оператора необходим для подключения гидролиний дополнительных исполнительных механизмов, расположенных на сменном рабочем органе;

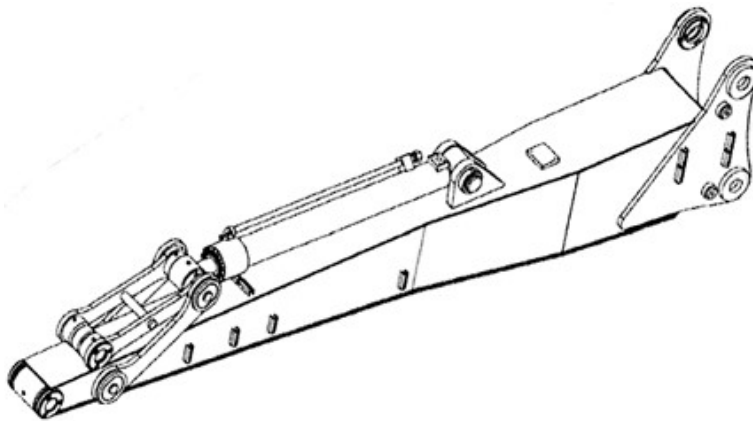


Рис. 5. Удлинитель стрелы



– устройства для быстрой замены рабочих органов с осуществлением одновременной его механической фиксации и присоединения нескольких гидролиний для питания установленных на нем рабочих механизмов.

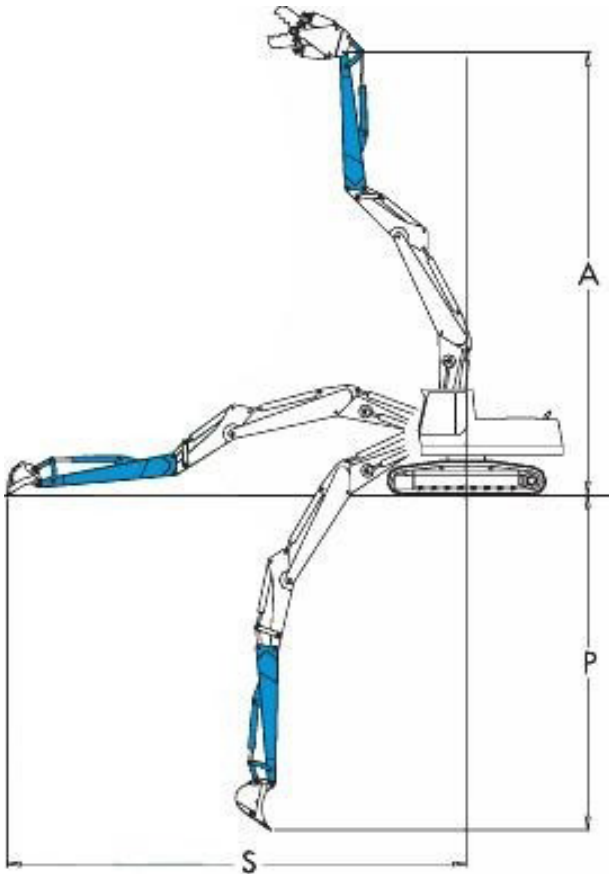


Рис. 6. Удлинитель стрелы на экскаваторе

На гидравлических экскаваторах, предназначенных в основном для работы со сменным рабочим оборудованием без установленных на них дополнительных исполнительных механизмов, часто используют быстродействующий захват Miller (рис. 8) [3] в виде монтажной панели с крюком 1 и скобой 2 первичного захвата рабочего органа и проушины вторичного захвата с установленным на них гидравлическим фиксатором с автономным приводом. Стопор-захват управляется оператором из кабины и превращает экскаватор в многофункциональную машину, позволяя ей работать ковшом в виде прямой и обратной лопаты или использовать в качестве грузоподъемного крана. Однако в случае использования с активным дополнительным механизмом (гидромолотом, грейфером и другими рабочими органами) необходим выход оператора из кабины для присоединения к активному рабочему органу гидролиний системы питания.

К современным быстросъемным устройствам мобильных машин предъявляют следующие требования [3]:

- одновременное автоматическое соединение рабочего органа и гидролиний его механизмов, не требующих выхода оператора из кабины машины;
- длительность операций соединения или демонтажа рабочих органов не должна превышать 15 с;
- число гидролиний сменного рабочего органа может достигать 10 пар;
- к каждому гидромеханизму рабочего органа должны подводиться необходимая мощность (расход и давление рабочей жидкости);

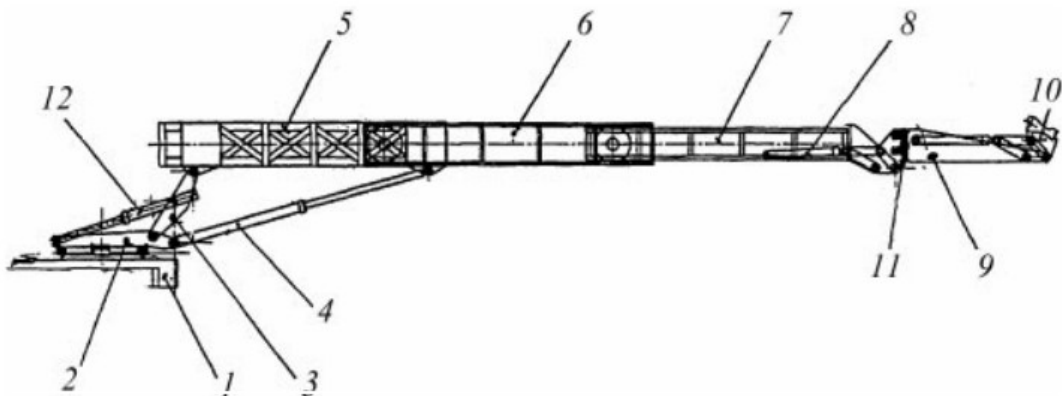


Рис. 7. Многофункциональный технологический комплекс:

1 – наклонная рама; 2 – поворотная платформа; 3 – рычаг, 4 – гидроцилиндр стрелы;

5 – неподвижная стрела; 6, 7 – подвижная секция стрелы;

8 – гидроцилиндр поворота рукояти; 9 – рукоять; 10 – монтажная панель;

11 – механизм вращения рукояти; 12 – гидроцилиндр рычага

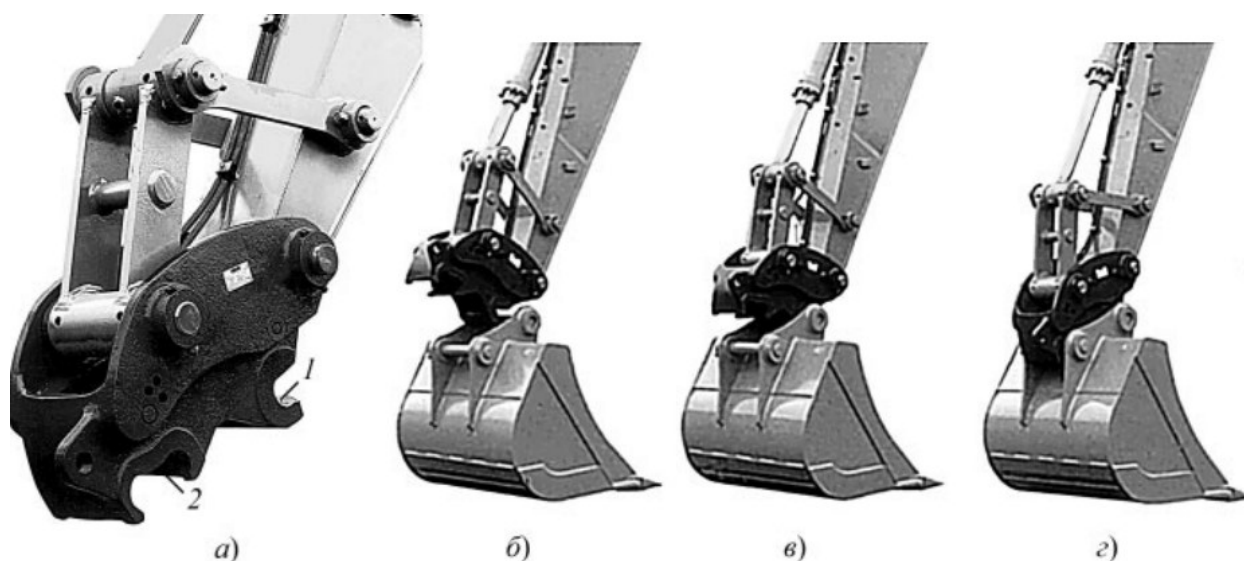


Рис. 8. Быстродействующий захват марки Miller:

*а – общий вид: 1 – крюк, 2 – скоба; б – 1-й этап: введение под верхнюю ось проушины ковша; в – 2-й этап: опускание и захват скобой 2 нижней оси проушины ковша; г – фиксация ковша на рабочем оборудовании стопором с автономным гидроприводом*

– настройка параметров гидропривода каждого исполнительного механизма рабочего органа должна производиться автоматически без участия оператора.

Этим требованиям удовлетворяет интеллектуальная система для замены рабочих органов в целом (в том числе стрелы и рукоятки) и его элементов компании OilQuick и ECV Wagner Baumaschinentechnik (рис. 9) [4]. На последнем ведомом звене несменяемого элемента рабочего оборудования устанавливается монтажная панель 1 с захватами и фиксатором для крепления соединительной панели 2 рабочего оборудования.

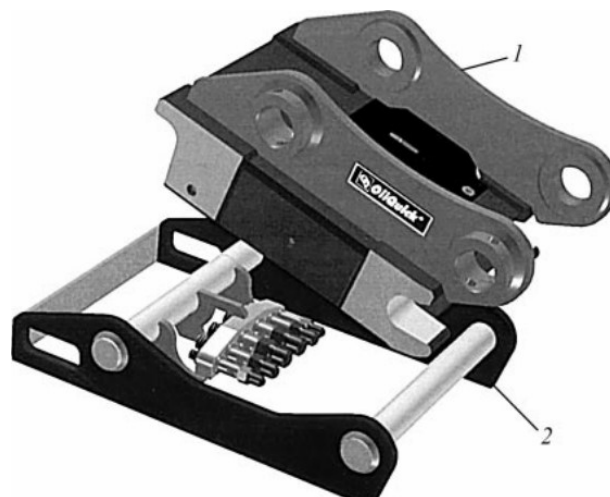


Рис. 9. Панель 1 адаптерного оборудования с панелью 2 рабочего оборудования

Интеллектуальная система OilQuick предусматривает использование системы идентификации ToolControl, с помощью системы опознавания TagReaders сменного рабочего оборудования (рис. 11) автоматически распознает любые устанавливаемые виды рабочего оборудования, в том числе дополнительное оборудование с гидравлическим или механическим приводом [3].

Для повышения производительности гидравлического экскаватора при производстве земляных работ в Воронежском государственном лесотехническом университете имени Г.Ф. Морозова разработан универсальный грузоподъемный механизм одноковшового гидравлического экскаватора [5–7] (рис. 11). Дополнительный гидроцилиндр, установленный вдоль одного из плеч

рычага, позволяет автоматически изменять расстояние между осью вращения стрелы и осью крепления цилиндров стрелы к рычагу.

Как видно из рис. 12,а, на платформе 1 экскаватора расположен гидроцилиндр 2, который шарнирно связан с платформой 1 экскаватора. Другой конец гидроцилиндра 2 шарнирно связан с одной из проушин двухплечного рычага 3. Точкой качания двухплечный рычаг 3 шарнирно связан с платформой 1, а к другому плечу шарнирно присоединены гидроцилиндры 4 поворота стрелы 5, вдоль которого расположен гидроцилиндр 6, изменяющий положение гидроцилиндров стрелы 4.

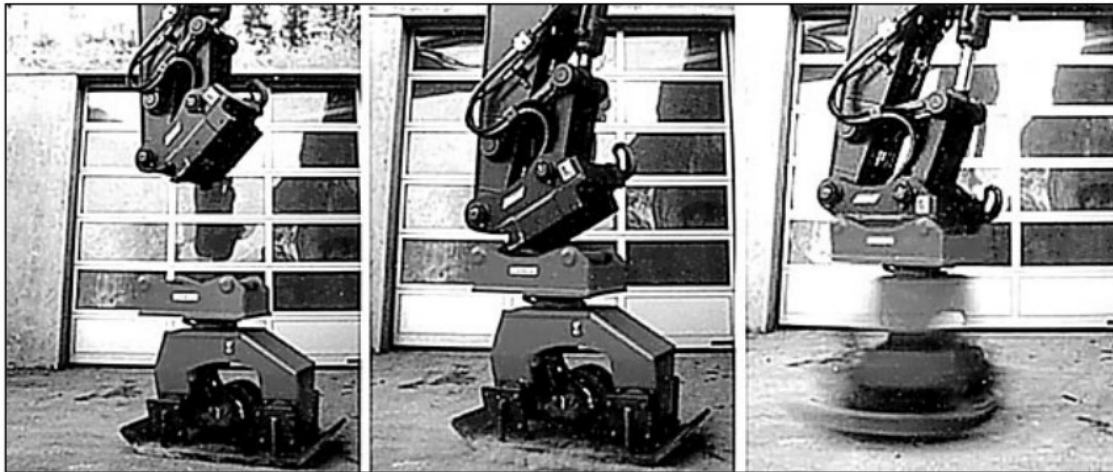


Рис. 10. Последовательность операций по соединению рабочих органов системой OilQuick

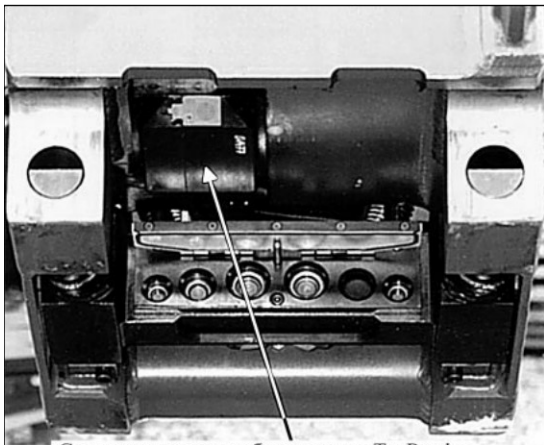


Рис. 11. Система опознавания рабочего оборудования TagReader

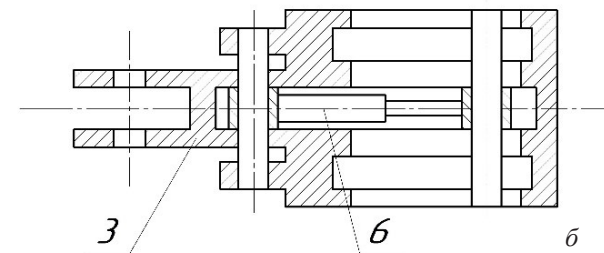
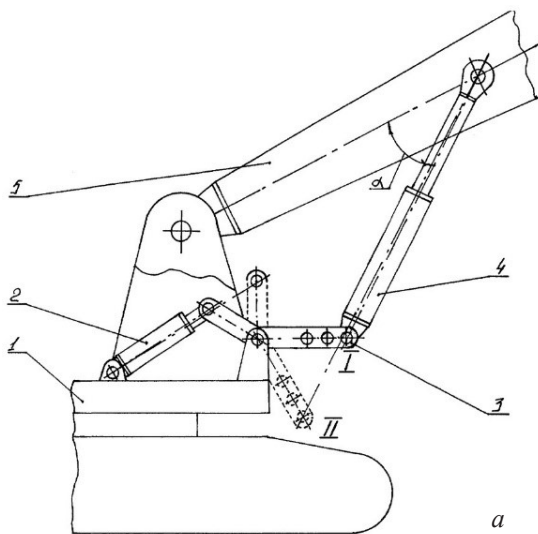


Рис. 12. Конструкция грузоподъемного механизма к гидравлическому экскаватору и двулучий рычаг с дополнительным гидроцилиндром [7]

При перемещении штоков гидроцилиндра 2 и 6 перемещаются проушины гидроцилиндров 4 поворота стрелы 5 в вертикальной и горизонтальной плоскостях, при этом изменяется угол  $\alpha$  между продольной осью стрелы 5 и цилиндрами 4 ее поворот. Гидроцилиндры 4 в положении I используются преимущественно с оборудованием «прямая лопата», а в положении II – «с обратной лопатой» [4].

Экскаватор работает следующим образом. При разработке грунта, находящегося выше уровня стоянки экскаватора, перемещением штока гидроцилиндра 2 двулучий рычаг 3 переводится в положение I, при этом зона охвата рабочего оборудования в верхнем положении будет больше, чем при традиционной схеме. С помощью дополнительного гидроцилиндра 6 стреловые гидроцилиндры 4 перемещаются вдоль рычага 3, тем самым автоматически изменяется угол между стрелой 5 и гидроцилиндрами 4 ее поворота. При этом обеспечивается запас усилия, развиваемого гидроцилиндрами стрелы в процессе работы (при увеличении вылета рабочего оборудования и при изменении грунтовых условий).



При разработке грунта, находящегося ниже опорной поверхности экскаватора перемещением штока гидроцилиндра 2 двуплечный рычаг переводится в положение II, при этом обеспечивается наибольшая глубина копания. В процессе разработки грунта благодаря применению дополнительного гидроцилиндра 6 (рис. 12,б) обеспечивается необходимый запас усилия, развиваемого гидроцилиндрами стрелы 4, и расширение рабочей зоны. В процессе работы гидравлического экскаватора дополнительный гидроцилиндр 6 (рис. 12,б) способствует повышению универсальности стрелы.

Для обеспечения многофункциональности шасси Ш-406 (разработано на МТЗ) смонтированы «диноковские плиты: одна часть – на шасси (рис. 13), а аналогичная – на сменном рабочем органе.

Соединение двух плит обеспечивает надежный монтаж таких рабочих органов.



*Рис. 13. «Диновская» плита на шасси Ш-406 для обеспечения многофункциональности*

#### *Литература*

1. Богуславский, В.Е., Принципы и задачи проектирования многоцелевых строительных машин / В.Е. Богуславский, В.Л. Хазанет // Механизация строительства. – 1992. – № 2. – С. 10–11.
2. Баловнев, В.И. Использование многоцелевых машин в строительстве / В.И. Баловнев // Подъемно-транспортное оборудование. – 2005. – № 1–2. – С. 51–53.
3. Смоляницкий, Э.А. Адаптерные системы для быстрой смены рабочего оборудования мобильных машин / Э.А. Смоляницкий, Е. Вагнер // Строительные и дорожные машины. – 2009. – № 12. – С. 12–16.
4. Интеллектуальная система смены рабочего оборудования OilQuick: Проспект фирмы.
5. Макеев, В.Н. Гидравлический экскаватор с универсальным рабочим оборудованием / В.Н. Макеев, Д.Д. Плешков // Лесотехнический журнал. – 2011. – № 4. – С. 89–90.
6. Макеев, В.Н. Новый универсальный грузоподъемный механизм одноковшового гидравлического экскаватора / В.Н. Макеев, Д.Д. Плешков // Грузовик. – 2017. – № 8. – С. 3–5.
7. Патент на изобретение № 24259271, МПК E02F3/28. Рабочее оборудование одноковшового гидравлического экскаватора / Д.Д. Плешков, В.Н. Макеев № 2010109126; заявл. 11.03.2010 опубл. 10.08.2011, бюл. № 22. – 4 с.

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН В БЕЛАРУСИ С УЧЕТОМ ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА

*Вавилов А.В., Гарост М.М.*

*Белорусский национальный технический университет*

Совершенствование многофункциональности строительных машин ведется с учетом зарубежного опыта. В передовых странах мира уже давно используется принцип многофункциональности для создания и применения машин в строительстве.

Широко известно многофункциональное шасси «Унимог» (ФРГ), к которому создано более двухсот видов сменных органов.

Заслуживает внимания наработанный опыт известной фирмы «Caterpillar», на которой созданы типоразмерные ряды гидравлических одноков-

шовых экскаваторов и одноковшовых фронтальных погрузчиков, охватывающие мини- и малые экскаваторы погрузчики, средние экскаваторы и погрузчики, тяжелые экскаваторы и погрузчики. Для каждого типоразмера вышеприведенных базовых машин созданы наборы быстросъемного рабочего оборудования, которые полностью обеспечивают механизацию строительства. В качестве примера приведем средние экскаваторы с набором быстросъемного рабочего оборудования (табл. 1).

Табл. 1

Средние гидравлические экскаваторы с набором рабочего оборудования

Сменные рабочие органы	Технические данные	
Ковши	Вместимость м <sup>3</sup>	Ширина захвата, мм
экскавационный	0,4–2,3	600–1400
Экскавационный для тяжелых условий эксплуатации	0,6–2,2	750–1700
скальный	1,1–2,4	1000–1800
скелетный	1,4–2,0	1350–1500
скелетный для тяжелых условий эксплуатации	1,2–2,0	1350–1550
Для зачистки траншей	1,0–2,0	1800–2400
Наклоняемый, для зачистки траншей	1,0–1,5	1800–2400
	Поворотный	Ширина захвата, мм
трапецевидный	27–45°	500
<b>Рыхлитель</b>	Масса, кг	Длина зуба, мм
Для экскаватора	460–820	1270–1435
<b>Устройство быстрой смены навесного оборудования</b>	Масса, кг	Тип/цепное устройство
Серия CW	240–440	40(S)–45(S)
Защитное устройство Plus	443–640	B, S, C, D
<b>Грейферы</b>	Вместимость м <sup>3</sup>	Ширина раскрытия, мм
Грейферы для разрушения и сортировки		
G320	0,9	2265
G330	1,0	2270



<i>Продолжение табл.</i>		
Многоцелевые захваты		
G315B	0,55–0,6	2000
G320B	0,75–0,8	2200
<b>Многочелюстные грейферы</b>		
GSH15B	0,4–0,8	2190–2640
GSH20B	0,6–1,0	2320–2860
GSH22B	0,6–1,25	2320–2940
GSM50	1,0–2,0	2750–3320
Двухчелюстные ковши	Вместимость м <sup>3</sup>	Ширина раскрытия, 14м
Для перемещения материала		
GOS-25	0,46–1,14	1630–1870
GOS-35	0,62–1,67	1950–2150
GOS-45	0,97–2,34	2170–2400
GOS-50	1,20–2,71	2440–2640
<b>Ножницы</b>	Усилие у основания челюстей, кН	Ширина захвата челюстей, мм
Гидравлические ножницы		
S320B	3706	409
S325B	5562	528
S340B	6818	563
S365B	1045	845
<b>Мультипроцессоры</b>	Усилие на основном ноже, кН	Ширина захвата челюстей, мм
бетонорезы		
MP15CC	2200	670
MP20CC	3000	820
MP30CC	4100	975
измельчители		
MP15CR	2100	710
MP20CR	2900	850
MP3 OCR	3800	1050
<b>Первичные измельчители</b>		
MP15PP	2100	700
MP20PP	2750	800
MP30PP	3950	960
<b>Вторичные измельчители</b>		
MP15PS	2200	730
MP20PS	3000	890
MP3 OPS	4800	1100
Ножницы челюстные	Усилие у основания челюстей, кН	Ширина захвата челюстей, мм
MP15 S	4200	350
MP20S	5800	420
MP30S	7100	470
Ножницы для резки металлических конструкций		

<i>Окончание табл.</i>			
MP20 TS		4400	440
MP30 TS		6350	510
<b>Гидравлические измельчители</b>		Усилие на основном ноже, кН	Ширина захвата челюстей, мм
VHC-30		1850	750
VHC-40		3050	850
VHC-50		3850	1000
<b>Первичные измельчители</b>		Усилие на основном ноже, кН	Ширина захвата челюстей, мм
VHP-30		2400	850
VHP-40		3400	1015
VHP-50		4100	1215
<b>Виброплиты для уплотнения</b>	Масса, кг	Частота ударов, ударов/мин	Сила импульса, кН
CVP-110	1052	2200	110
<b>Гидравлические молоты</b>	Масса, кг	Частота ударного воздействия, ударов/мин	Диаметр, мм
H115 S	1000	370–800	106
H120C S	1300	350–620	115
H130S	1700	320–600	130
H140D S	2350	350–600	140
H160D S	3150	380–560	160

Заслуживает также внимания наработанный опыт создания многофункциональных экскаваторов-погрузчиков фирмы JCB (рис. 1, см. обложку) и одноковшовых фронтальных погрузчиков (рис. 2).

Большой набор сменных рабочих органов выпускается к мини-погрузчику JCB как на пневмоколесном ходу, так и на гусеничном (рис. 3).

Причем все сменные рабочие органы мини-погрузчика имеют свои особенности и преимущества по сравнению с аналогичными сменными рабочими органами, выпускаемыми другими фирмами. Например, катки производят динамическое усилие до 4250 кг, обеспечивая надежное трамбование. Регулируемый скребок между рамой и вальцом обеспечивает гладкую поверхность уплотняемого материала. Гидромоторы защищены и изолированы для обеспечения максимальной производительности и надежности. Возможность осцилляции вальца позволяет утрамбовывать даже неровные поверхности.

Предусмотрено два варианта крепления катка: по центру или со смещением для работы рядом со зданиями и другими объектами. Предлагаются варианты с гладким или с кулачковым вальцом.



Рис. 2. Одноковшовый фронтальный погрузчик фирмы JCB



Рис. 3. Набор сменных рабочих органов к мини-погрузчику JCB

То же можно сказать о снегоочистителе. Двухступенчатые снеговые очистители JCB способны выбрасывать снег на расстояние до 13,7 м.

Многоканальная система выброса и отражатель легко регулируются с помощью многофункциональных джойстиков JCB для корректировки направления выброса снега. Конструкция гидромотора с прямым приводом позволяет устранить лишние движущиеся компоненты с целью уменьшения износа и увеличения срока службы. Заборное отверстие имеет диаметр 635 мм или 914 мм, позволяя быстро и эффективно перемещать большие объемы снега. В комплект входят регулируемые опорные лапы. Обеспечивается хороший обзор рабочей зоны.

Следует отметить удачные конструкции многофункциональных телескопических погрузчиков французской фирмы MANITOU (рис. 4, см. обложку).

Нельзя не отметить конструкцию многофункционального экскаватора Menzi MucK с оригинальной ходовой системой (рис. 5, см. обложку), обеспечивающей маневренность, высокую проходимость, возможность работать на косогорах и ряд других преимуществ.

С целью повышения мобильности и снижения нагрузки на ось, работая с набором сменных рабочих органов компания Liebherr разработала первый в мире трёхосный колесный экскаватор A 924 Q C Plus Litronie (рис. 6), характеризующийся высокой мобильностью и маневренностью [1]. Несмотря на то, что установка дополнительного моста увеличила массу машины до 27 т она спо-

собна передвигаться по дорогам общего назначения, не превышая допустимую нагрузку на ось ми 12 т установленную в странах ЕЭС, в частности Германии.

Дополнительный мост монтируется на бульдозерном отвале, расположенном сзади машины, и оборудуется осветительными приборами, необходимыми для передвижения по дорогам общего назначения. По прибытии на рабочую площадку этот мост может быть легко демонтирован.

Применение дополнительного моста позволяет отказаться от специальной техники для транспортирования экскаватора, что экономит время и финансовые средства потребителя, делая эту машину более производительной, мобильной и универсальной. Кроме того, использование дополнительного моста повышает устойчивость экскаватора A 924 C Plus Litronie, что позволяет ему проводить работы, требующие высокой грузоподъемности и большого вылета рабочего оборудования (например, подъема труб большого размера и строительных конструкций из железобетона, буксирование перемещение строительных материалов и пр.), которые ранее выполнялись только гусеничными экскаваторами большого типоразмера.

Система повышения рабочего давления гидросистемы Power Lift, поставляемая стандартной комплектации, обеспечивает увеличение грузоподъемности машины. При включении этой системы происходит снижение скорости движения стрелы, что обеспечивает более точное позиционирование тяжелых грузов.

В качестве рабочего оборудования для колесного экскаватора предусмотрены стрелы длиной 4,15 м (стандартная комплектация) или 3,90 м (по заказу), а также рукояти длиной 2,25; 2,45; 2,65 и 3,05 м.

В Беларуси ряд машиностроительных предприятий выпускает наборы сменных рабочих органов различного функционального назначения к базовым шасси собственного производства или шасси других белорусских производителей. Это ОАО «АМКОДОР» – управляющая компания холдинга», предприятие «Святовит», «Дорэлектромаш», «МАЗ – МАН» («ВМЕ-Дизель»), «Фанипольский ОМЗ» и др. Все шасси оборудованы адаптерными системами для быстрой смены рабочего оборудования [2].



Рис. 6. Колесный экскаватор A 924 Q C Plus Litronie



## РАЗРАБОТКИ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ




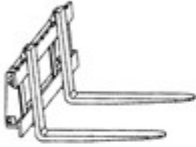

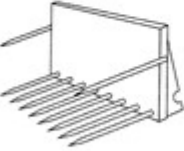
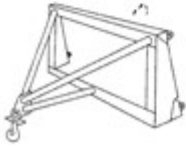





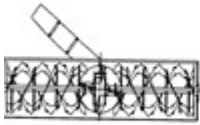


	<b>ОТВАЛ</b> Ширина, мм Высота, мм Масса, кг	<b>ДЗ-133.16.00.000</b> 2100 650 190		<b>ОТВАЛ БУЛЬДОЗЕРНЫЙ ПОВОРОТНЫЙ</b> Ширина, мм Угол поворота, град. Масса, кг	<b>208А-46.07.010</b> 2100 +30 250
	<b>ЩЕТКА В СБОРЕ</b> Ширина захвата щетки, мм Угол поворота, град. Масса, кг	<b>208-46.07.010-01</b> 2000 +30 330		<b>ВИЛЫ ГРУЗОВЫЕ</b> Грузоподъемность, кг Высота подъема, мм Ширина захвата, мм Масса, кг	<b>ДЗ-133.12.00.000-01</b> 1200 3000 850 130
	<b>ЗАХВАТ ЧЕЛЮСТНОЙ</b> Грузоподъемность, кг Высота разгрузки, мм Ширина захвата, мм Масса, кг	<b>208-46.41.000</b> 1050 2500 1740 200		<b>ВИЛЫ</b> Грузоподъемность, кг Высота подъема, мм Ширина захвата, мм Масса, кг	<b>ДЗ-133.13.00.000</b> 1050 2400 1100 120
	<b>КРЮК МОНТАЖНЫЙ</b> Грузоподъемность, кг Высота подъема (по крюку), мм Масса, кг	<b>ДЗ-133.18.00.000</b> 800 3200 85		<b>БЕТОНОСМЕСИТЕЛЬ ГРАВИТАЦИОННЫЙ</b> Объем по загрузке, л Объем замеса, л Время перемешивания смеси, мин Масса, кг	<b>208-46.35.000</b> 375 250 3 120
	<b>ЗАХВАТ БОРДЮРНОГО КАМНЯ</b> Грузоподъемность, кг Масса, кг  Применяется совместно с крюком монтажным ДЗ-133.18.00.000	<b>208-46.56.000</b> 100 15		<b>ГИДРОМОЛОТ</b> Энергия удара, кДж Частота ударов, мин <sup>-1</sup> Масса, кг	<b>208-46.36.000-01</b> 0.5 720 310
	<b>ЗАХВАТ РУЛОНОВ</b> Грузоподъемность, кг Высота подъема рулона, мм Вылет, мм	<b>208-46.39.000</b> 400 3000 2000		<b>БУР</b> Глубина бурения, мм Диаметр бурения, мм Масса, кг	<b>208-46.37.000</b> 550 250; 630 290
	<b>СНЕГОЧИСТИТЕЛЬ ФРЕЗЕРНО-РОТОРНЫЙ</b> Производительность, т/ч Ширина захвата, мм Толщина очищаемого снега, мм Дальность отброса снега, м Масса, кг	<b>208-46.55.000</b> 90 2000 250 5 350		<b>ЭКСКАВАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ</b> Вместимость ковша, м <sup>3</sup> Глубина копания, мм Высота разгрузки, мм Угол поворота, град. Масса, кг	<b>208В.70.00.000</b> 0.09 2600 2000 160 800
	<b>ЗАХВАТ ВИЛЬЧАТЫЙ</b> Грузоподъемность, кг Ширина захвата на осях крайних зубьев, мм	<b>208-46.38.000</b> 800 1265			

Рис. 7. Набор быстросменных рабочих органов к погрузчику Амкодор 211



Большой набор быстросменных рабочих органов создан на АМКОДОРЕ к малогабаритному погрузчику с бортовым поворотом «Амкодор 211» (рис. 7), а также аналогичный набор к погрузчикам Амкодор 332, 333, 342, 343, 352.

К отечественному многофункциональному шасси Ш-406 на Фанипольском ОМЗ разработаны и изготавливаются более 10-ти типов сменного рабочего оборудования. Приведем наиболее востребованный из них – снегоочиститель роторный ОРС-20.01 (рис. 8) предназначенный для уборки и эвакуации снега за пределы проезжей части.



Рис. 8. Снегоочиститель роторный ОРС-20.01

#### *Литература*

1. Колесный экскаватор Liebherr A924 с Plus Litronic //Строительные и дорожные машины, 2012. – № 3. – С.53.
2. Смоляницкий, Э.А. Адаптерные системы для быстрой смены рабочего оборудования мобильных машин / Э.А. Смоляницкий, Е. Вагнер //Строительные и дорожные машины, 2009. – № 12. – С. 12–16.

## МЕХАНИКА БЛОЧНОГО ЛУКА. Ч2. ЛУК КАК КОЛЕБАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА. НАГРУЖЕНИЕ ЛУКА

К.В.Доброго

*Статья посвящена рассмотрению блочного лука как механической системы, обсуждению некоторых аспектов «идеального» выстрела с точки зрения физики.*

*В первой части рассматривался вопрос геометрии траектории толчка стрелы как важного фактора стабильности и точности выстрела.*

*Во второй части дается представление о луке как о колебательной системе. Изучается возможность предотвращения нежелательных вибраций и раскачивания лука при прицеливании и производстве выстрела за счет оптимального нагружения лука и демпфирования колебаний. Делаются необходимые численные оценки, даются рекомендации по нагружению лука.*

*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 и технического улучшения лука.*

### Введение

В статье ставится задача рассмотреть механику блочного лука с точки зрения факторов, способствующих (или препятствующих) точности и стабильности выстрела. (Стабильность понимается в смысле минимального разброса точек попадания при постоянных условиях стрельбы). При этом вопросы, связанные с техникой исполнения выстрела или подготовкой спортсменов (человеческий фактор) не затрагиваются.

В первой части [1] рассмотрен вопрос геометрии траектории толчка стрелы как важнейшего фактора, определяющего параметры вылета стрелы, а следовательно, стабильность и точность выстрела.

Не менее важной задачей является обеспечение качественного прицеливания. Данная задача, очевидно, имеет человеческий и технический аспекты. С некоторой долей упрощения полагаем, что главной причиной, препятствующей быстрому и точному прицеливанию, является физиологический тремор опорной руки. Рука удерживающая тетиву практически не дрожит из-за удобного положения и упора о голову. (В системе существуют и другие источники колебательно-го возбуждения, – толчки блоков и модулей при

натяжении и спуске тетивы, удары стрелы о направляющие элементы, действующие при взводе лука и спуске тетивы, а также гидродинамическое возбуждение при сильном ветре.) Вибрации не только мешают прицеливанию, но и влияют на направление вылета стрелы и ее изгибные возмущения при выстреле.

Высокая скорость и амплитуда вибраций лука (соответственно и пина в окне прицеливания) приводит к двум негативным эффектам: 1 – стрелок физиологически не в состоянии скоординировать момент лучшего положения прицела и спуск тетивы, 2 – выстрел производится почти всегда с движущейся полочки. Чтобы повысить качество прицеливания необходимо замедлить движения лука. Путь решения этой проблемы, точнее ее технического аспекта – нагружение лука и демпфирование колебаний. Соответствующий анализ проводится в статье в рамках общей механики [2,3].

Полное моделирование лука как механической колебательной системы чрезвычайно сложно. Поэтому в данной статье оцениваются основные свойства модельной колебательной системы, делаются несложные расчеты и количественные оценки, на основании которых даются рекомендации по нагружению лука. Более опытные

стрелки могут найти сведения для совершенствования техники стрельбы и технического улучшения лука.

### Механическая стабилизация лука

Инерция – свойство массивных тел сохранять состояние покоя (или прямолинейного равномерного движения) при отсутствии внешних сил. Также массивные тела стремятся сохранить момент количества движения, т.е. отсутствие вращения или равномерное вращение относительно центра масс или какой-либо оси.

Центр масс определяется как усредненная сумма произведений радиус-векторов и масс элементов всего объема объекта  $\vec{r}_C = \frac{\sum_i \vec{r}_i m_i}{\sum_i m_i}$ .

Центр масс плоского объекта соответствует точке за которую его можно устойчиво подвесить в горизонтальной плоскости, рис. 1. Центр масс объемного объекта можно найти вывешиванием его за разные точки и находя пересечение продолжений линий подвеса, рис.1.

Момент инерции – аналог массы для вращательного движения – определяется относительно какой-либо оси. Он равен сумме «собственного» момента относительно центра масс и произведения массы на расстояние от оси до центра масс  $I_A = I_0 + m\xi^2$  (теорема Гюйгенса -Штейнера). Поэтому удаление груза от центра масс лука на длинной штанге приводит к существенному увеличению момента инерции. Если считать лук концентрированной массой  $m_0$ , а массу груза стабилизатора –  $m'$  длину штанги стабилизатора –  $L_S$ , то расстояние от лука до центра масс системы лук – груз –  $\xi = L_S \frac{m'}{m}$ .

Дрожание руки примерно одинаково в горизонтальном и вертикальном направлениях и может быть представлено как сумма регулярной (периодической) и случайной составляющей или последовательность периодических и хаотических импульсов, приложенных к точке опоры

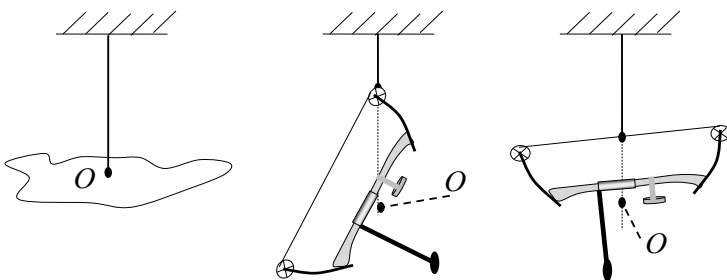


Рис. 1. Центр масс плоского и объемного объекта.  
O – точка центра масс

лука. Поскольку приращение скорости равно импульсу деленному на массу  $\Delta v = \Delta p/m$ , то увеличение массы лука приведет к уменьшению скорости и амплитуды его движения. Однако прицеливание с отягощенным луком требует большего усилия мышц, а с усталостью мышц быстро возрастает амплитуда (усилие) дрожания. Поэтому повышать загрузку лука целесообразно только вместе с улучшением физической подготовки спортсмена.

С точки зрения интересующих нас задач, лук характеризуется тремя параметрами: массой  $m$ , моментом инерции относительно центра масс  $I_0$  и положением центра масс O относительно точки опоры A. В первом приближении лучшее замедление лука даст такое нагружение, при котором центр масс будет совпадать с точкой опоры A поскольку при этом будут замедлены все плоские движения, а вращательные движения не будут возникать. Для лука в отпущенном состоянии – это очевидно. В натянутом состоянии лук упруго связан с точкой B, и представляет из себя сложную колебательную систему, в которой поперечные и угловые колебания взаимосвязаны (рис. 2). Математически можно показать, что в зависимости от силы натяжения тетивы, длины вытяжки, массы, момента инерции лука и положения центра масс в системе могут возникать сложные колебательные и поступательные движения.

### Лук как колебательная система

Натянутый лук должен эффективно поглощать энергию колебательных движений. Особенно это важно в области «опасных» – резонансных частот системы. Если рассматривать различные виды движений /колебаний лука, то в наименьшей степени должны возбуждаться «плохие» движения/колебания, создающие наибольшие неудобства при прицеливании. К «плохим» движениям отнесем поворачивание лука относительно неподвижной опоры (рис. 2,а), поскольку в этом случае пип-сайт и прицел сдвигаются в противоположные стороны. Более благоприятными являются

плоско-параллельные колебания лука при отсутствии его вращательного движения (рис. 2,б) или случай небольшого проворачивания лука при котором линия прицеливания остается параллельной сама себе (рис. 2,в). Длинный вынос прицела будет отрицательным фактором в первом случае и положительным фактором во втором и третьем случае движений лука.

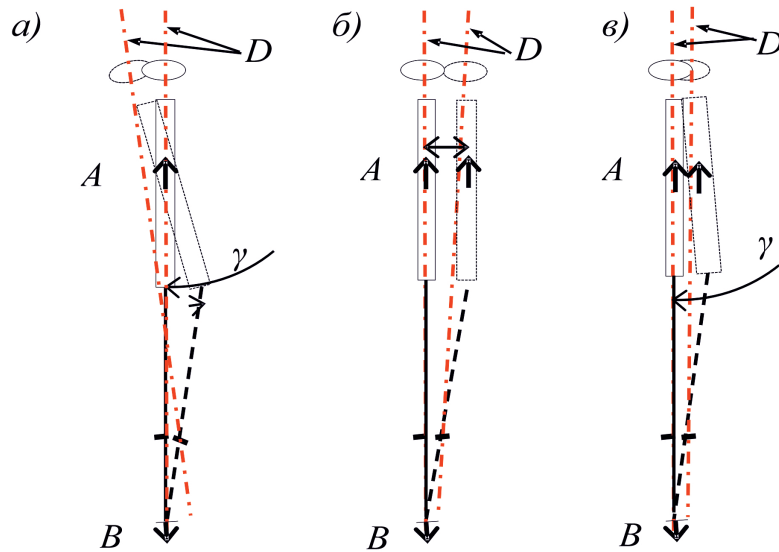


Рис. 2. Колебательные движения лука при прицеливании:

а) угловое колебание лука, б) плоско-параллельное колебание лука, в) совместное колебательно- вращательное движение сохраняющее линию прицеливания. А – точка опоры лука, В – точка удержания петельки тетивы, D – линия прицеливания пип-сайт –прицел

### Собственные частоты колебаний натянутого лука

Рассмотрим лук как механическую систему с зафиксированными точками А и В, рис. 3 и проанализируем зависимость собственных частот от массы, момента инерции лука и положения центра масс.

Собственными называются частоты колебаний, которые свойственны колебательной системе и возникают при ее малых возмущениях. Эти частоты выделяются и усиливаются системой при наличии хаотических внешних воздействий, в частности, дрожании точки опоры А.

Геометрические параметры рассматриваемой системы показаны на рис. 3, их численные значения – в табл. 2.

Табл. 2  
Параметры модели

Величина	Обозначение	Значение
Минимальный момент инерции (вертикальная ось)	$I_{min}$	$6 \cdot 10^{-3}$ кг.м <sup>2</sup>
Масса лука	$m$	2 кг
Высота лука	$r$	0.2 м
Расстояние от опоры до центра масс	$\xi$	0.05 м
Длина растяжки лука (вытяг)	$L$	0.7 м
Рабочий ход тетивы	$l$	0.5 м
Сила натяжения тетивы	$f_m$	200 Н
Сброс усилия	$k$	0.7
Сила натянутой тетивы	$f_o = (1-k)f_m$	60 Н
Размах плеч (расстояние от оси до оси) натянутого лука	$H$	0.7 м

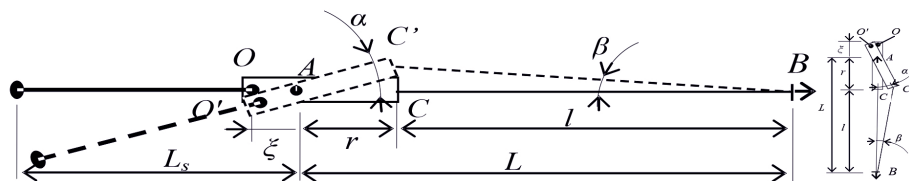


Рис. 3. Растянутый лук как колебательная система в нейтральном и отклоненном от равновесия состояниях. О, О' – центр масс, А – точка опоры, С, С' – точка выхода тетивы, В – точка удержания петельки тетивы

Уравнение вращательного движения имеет вид

$$I_A \cdot \ddot{\alpha} = F, \quad (1)$$

где  $F = f \cdot r$  – момент силы  $f$ ,  $r$  – плечо этой силы,  $I_A$  – момент инерции тела относительно оси  $A$ ,  $\ddot{\alpha}$  – вторая производная угла по времени (угловое ускорение). Для малых углов отклонения  $\alpha$  момент силы натяжения тетивы запишем в виде

$$F = f_0 \cdot \alpha \cdot [1 + (r/l)] \cdot r, \quad (2)$$

а уравнение вращательного движения (1) примет вид

$$(I_0 + m\xi^2) \cdot \ddot{\alpha} - f_0 \cdot r[1 + r/l] \cdot \alpha = 0. \quad (3)$$

Формула для собственной частоты системы получается подстановкой  $\alpha = \alpha_0 \sin(\omega t)$  в (3):

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{f_0 r[1 + (r/l)]}{I_0 + m\xi^2}}. \quad (4)$$

Согласно модели момента инерции (Прилож. 1),

$$I_0(\xi\xi = I_{\min} + \frac{m_0 m}{m'} \cdot \xi^2 \text{ следовательно,} \\ \omega_0 = \sqrt{\frac{f_0 r[1 + (r/l)]}{I_{\min} + m\xi^2 \left(1 + \frac{m_0 m}{m'}\right)}} \quad (5)$$

Для параметров, указанных в табл. 2,  $\omega_0 = 15.3$  [рад/с] или  $\nu_0 \approx 2.5$  [Гц]. При расстоянии от упора до центра масс  $\xi = 0.1$  м частота снизится до 1.3 Гц, а при  $\xi = 0.2$  м – до 0.7 Гц.

Из (4), (5) следует, что собственная частота слабо зависит от рабочего хода тетивы и длины плеч и сильно – от расстояния от опоры до центра масс  $\xi$ . Частота будет возрастать при повышении силы натяжения (например, при выходе на «стенку» при натяжении).

Частота колебаний натянутого лука с различным нагружением была измерена экспериментально с помощью видеосъемки раскачивания лука, табл. 2. Точность измерения оценивается в 20–30 %

Табл. 2

Экспериментальная оценка (по видеосъемке) собственной частоты «пустого» и нагруженного лука МК СВ50 (плечи ослаблены на 10 фунтов)

Загрузка лука	Масса, $m$	Собственная частота, $\nu_0$
Ненагруженный лук	~1.7кг	~ 4 Гц
$m' = 530$ г, $LS = 15$ см	~ 2.23 кг	~ 3 Гц
$m' = 370$ г, $LS = 60$ см	~ 2.07кг	~ 1.5 Гц
$m' = 650$ г, $LS = 60$ см	~ 2.35 кг	~ 1 Гц

Как видим, данные таблицы близки к численным оценкам по (5). Различия связаны с влиянием демпфирования на частоту вибрации, погреш-

ностью оценки момента инерции лука и погрешностью определения частоты по видеозаписи.

Аналогично рассматриваются колебания и относительно горизонтальной оси лука, – раскачивание верх – низ. Согласно модели таких колебаний, представление которой не позволяют объемы данной статьи, собственная частота задается формулой

$$\omega^\perp = \frac{H(r+l)}{2l} \sqrt{\frac{k_0}{I_A^\perp} \cdot \frac{1}{2\sqrt{1+(H/2l)^2}}} \text{ [рад/сек]}, \quad (6)$$

где  $k_0$  – коэффициент упругости вытянутой тетивы,  $I_A^\perp$  – момент инерции относительно горизонтальной оси, проходящей через точку опоры  $A$ ,  $H$  – размах плеч (расстояние от оси до оси) лука.

Для типичных значений параметров  $I_A$  ( $L = 0.8$ ) = 0.364 [кг·м<sup>2</sup>],  $H = 0.7$  [м] расчетное значение

частоты  $\nu^\perp = \frac{\omega^\perp}{2\pi} \approx 5$  Гц. Для лука той же массы,

но без выноса груза  $\nu^\perp = \frac{\omega^\perp}{2\pi} \approx 8.2$  Гц. Таким образом, собственные частоты вертикальных колебаний выше горизонтальных, но достаточно близки что плохо, поскольку в этом случае колебания легко переходят из одного типа в другой. То есть, горизонтальные колебания быстро делятся своей энергией с вертикальными и наоборот, в результате чего лук приобретает сложные трехмерные движения.

Неблагоприятным фактором является близость указанных собственных частот к частоте физиологического тремора рук (оценочно 4–8 Гц), поскольку в этом случае тремор с большой вероятностью будет время от времени усиливаться из-за эффекта резонанса.

Благоприятным был бы случай различия вертикальных и горизонтальных собственных частот лукав нецелое число раз (например, в 1.7 раз) и при этом чтобы эти частоты были меньше частоты тремора, зависящей от физиологических особенностей человека и мышечной нагрузки, рис. 4.

Сделанные выше оценки показывают, что для снижения собственных частот и отведения их от частоты тремора при весе лука 2.4 кг потребуются штанга длиной порядка 1 м. При массе лука 4 кг, то можно использовать более короткую штангу.

Формулы (5), (6) показывают, что снижение силы натяжения тетивы уменьшает собственные частоты пропорционально корню квадратному из силы. При снижении силы натяжения в два раза, частоты как горизонтальных, так и вертикальных колебаний снизятся приблизительно в 1.4 раза.



Отметим, что в системе «натянутый лук» могут происходить и другие типы (моды) колебаний, например, скручивание-раскручивание лука или схождение-расхождение плеч. Однако эти моды второстепенные – в них запасается меньше энергии.

### О параметрическом раскачивании натянутого лука

Явление резонанса реализуется при периодическом воздействии на колебательную систему. В физике определяется понятие «параметрическое раскачивание» (возбуждение) – это не прямое раскачивание, а воздействие на параметры колебательной системы, которое приводит к ее возбуждению (сродни раскачиванию в качелях). Дрожание точки опоры лука можно отнести к данному классу явлений.

При регулярных колебаниях точки опоры система становится параметрическим маятником, ее колебания могут усиливаться, частоты в системе могут умножаться относительно исходной, появляться новые комбинированные частоты – то есть происходит нежелательные при прицеливании и выстреле движения. Поскольку точное изучение такой системы слишком сложно, приведем качественные рассуждения.

Известно, что с наибольшей вероятностью усиливаются колебания параметрического маятника при частоте воздействия равной или в несколько раз меньшей собственных частот колебательной системы.

Если принять частоту тремора 4–8 Гц и учесть данные о собственных колебаниях, полученные ранее, то можно сделать вывод о том, что луки с собственными частотами ниже 3 Гц в минимальной степени подвержены риску параметрического раскачивания. Необходимые для этого значения момента инерции и нагружения лука могут быть оценены по формулам (4)–(6).

Важно отметить, что риск параметрического раскачивания существенно падает при демпфировании колебаний опасной частоты (~ 5–8 Гц). Демпфирование – поглощение энергии колебаний, проявляется в быстром успокоении возникающих колебаний. В идеальном случае, возбуждения системы должны успокаиваться за 1–2 периода колебаний, на практике время затухания может составлять – 5–10 периодов.

Таким образом, нагружение лука должно проводиться совместно с демпфированием. Демпфирующие элементы – прокладки из вязко-упругих материалов. Демпфировать колеба-

ния ниже 2–3 Гц нет необходимости, поскольку в системе нет источников возбуждения такой частоты, – это частоты управления луком. Высокие частоты более 20 Гц не обладают большой амплитудой и достаточно эффективно поглощаются самим луком, струнами, соединениями плеч, резиновыми демпферами, рукой лучника, рис. 4.

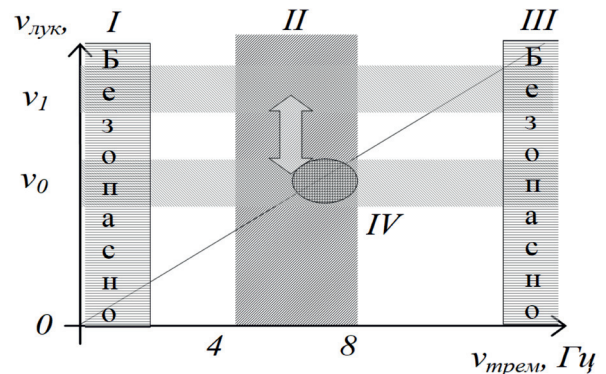


Рис. 4. Частотная диаграмма системы натянутый лук – стрелок:

*I* – частоты управления луком, *II* – частоты тремора руки, *III* – малоамплитудные частоты демпфируемые самим луком, *IV* – параметрическое раскачивание, резонансные всплески колебаний

### Реакция лука на толчок опоры при прицеливании

Рассмотрим вопрос о воздействии на лук отдельного толчка. Пусть на точку опоры А в поперечном направлении действует кратковременная сила, как показано на рис. 5. Найдем зависимость величины сдвига точек А, С и угол разворота лука  $\alpha$  от его массы, момента инерции, положения центра масс, силы натяжения тетивы.

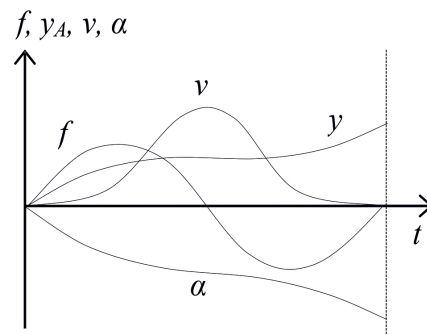


Рис. 5. Схема силы  $f$  действующей на точку опоры лука А, скорости  $v$ , отклонения  $y$  и угла  $\alpha$  со временем

Геометрические параметры задачи показаны на рис. 6.

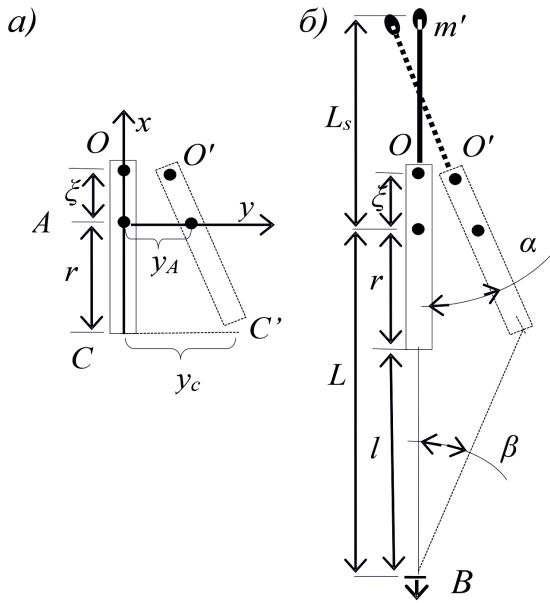


Рис. 6. К задаче о толчке опоры:

а – свободный лук, б – натянутый лук со стабилизатором.  $O$  – центр масс,  $A$  – точка опоры,  $C$  – выход тетивы,  $B$  – петелька.  $\xi$  – расстояние от центра масс до точки опоры,  $\alpha, \beta$  – углы отклонения лука и тетивы,  $x, y$  – координаты центра масс,  $YA$  – координата точки  $A$ ,  $YC, XC$  – координаты точки  $C$

Движение лука рассматриваем как сумму поступательного и вращательного движения и записываем уравнения движения центра масс и уравнение вращательного движения относительно центра масс. При малых углах отклонения  $\sin \alpha \approx \alpha$ ,  $\cos \alpha \approx 1 - \alpha^2/2 \approx 1$ , движением центра масс по оси  $x$  пренебрегаем.

Система уравнений для системы рис. 6,а имеет вид

$$m\ddot{y} = \varphi_0 \sin \omega t \quad (7)$$

$$I_0 \ddot{\alpha} = -\xi \cdot (\varphi_0 \sin \omega t). \quad (8)$$

Интегрирование с учетом начальных условий дает решения

$$v_y = \dot{y} = \frac{\varphi_0}{m\omega} (1 - \cos \omega t), \quad y = \frac{\varphi_0}{m\omega^2} (\omega\omega t + \sin \omega t) \quad (9)$$

$$\Omega = \dot{\alpha} = -\frac{\xi}{I_{\min} + (m_0 m/m') \xi^2} \frac{\varphi_0}{\omega} (1 - \cos \omega t),$$

$$\alpha = -\frac{\xi}{I_{\min} + (m_0 m/m') \xi^2} \frac{\varphi_0}{\omega^2} (\omega\omega t + \sin \omega t). \quad (10)$$

Где учтено, что  $I_0(\xi\xi = I_{\min} + \frac{m_0 m}{m'} \cdot \xi^2$ .

Характер решений представлен на рис. 5. Отрицательное значение угла соответствует по-

вороту против часовой стрелки. Из полученных решений следует: 1) угол поворота лука  $\alpha$  обратно пропорционален полному моменту инерции относительно точки опоры  $I_A$  и квадрату частоты; 2) угол  $\alpha$  определяется выносом центра масс: при  $\xi = 0$  он нулевой, с ростом выноса угол сначала растет, а затем падает. Максимальный угол

поворота достигается при условии  $I_{\min} = \frac{m_0 m}{m'} \cdot \xi^2$

(Для типичных параметров лука МК СВ50 условиям максимального поворота соответствует вынос центра масс  $\xi \sim 2$  см,  $L_s \sim 15$  см); 3) сдвиг точки опоры  $A$  вбок уменьшается обратно пропорционально массе лука и квадрату частоты. Именно поэтому при прицеливании более вредны низкочастотные импульсы, возникающие при усталости мышц, а высокочастотный тремор (8–10 Гц) оказывает меньшее влияние на дрожание лука.

Для натянутого лука система уравнений дополняется слагаемыми, связанными с силовым воздействием тетивы.

$$\begin{cases} m\ddot{y} = \varphi_0 \sin \omega t - f_0(\beta - \alpha) \\ I_0 \ddot{\alpha} = -\varphi_0 \xi \cdot \sin \omega t + (r + \xi) \cdot f_0(\beta - \alpha) \end{cases} \quad (11)$$

Здесь угол  $\beta - \alpha$  выражается через  $\alpha$  и  $y$ :  $\beta - \alpha \approx y/l - \alpha(l + \xi + r)/l$ . Соответствующие выкладки опускаются в связи с ограничением объема статьи. Общее решение системы громоздко поэтому рассмотрим интересные с практической точки зрения частные случаи.

Как указывалось ранее более благоприятной для прицеливания является ситуация отсутствия углового движения лука или его минимального поворота при параллельной линии прицеливания, рис.2 б,в.

Для определения условий минимального поворачивания лука требуется решить (11) в соответствующем приближении. Проведенный анализ показывает, что избежать углового раскачивания лука из-за дрожания руки при прицеливании невозможно, поскольку условия подавления раскачивания зависят от частоты воздействия. Однако угловое раскачивание лука может быть минимизировано при выносе центра масс вперед относительно точки упора на величину  $\xi$ , соответствующую условию

$$0 < \xi \leq r \frac{\omega_{01}}{\omega}, \quad (12)$$

где  $\omega_{01}$  – собственная частота колебаний натянутого лука (для характерных параметров лука МК

СВ50  $\xi \leq 20 \frac{1.23}{5} = 5$  см).

Анализ показывает, что согласованный поворот лука и тетивы обеспечивающий параллельность линии прицеливания в общем случае неосуществим. При согласованном изменении углов поворота на начальном этапе движения эта корреляция неизбежно нарушится в дальнейшем.

При каких условиях осуществляется минимальное поворачивание тетивы лука?

Данной задаче соответствует условие  $\beta \ll \alpha$ . Если при этом мал угол отклонения лука  $\alpha \ll 1$ , то сила натяжения тетивы практически не создает момент силы, и задачу можно рассматривать как задачу о движении свободного (ненатянутого) лука. В рамках этой задачи необходимо найти условия, при которых точка С не смещается в поперечном направлении.

Поскольку смещение точки С может быть выражено через смещение центра масс и угла поворота лука  $y_C = y - (r + \xi)\alpha$ , условие покоя С можем записать в виде

$$y = (r + \xi)\alpha. \quad (13)$$

Используя решения (9), (10) перепишем (13):

$$\frac{\Phi_0}{m\omega^2} = -(r + \xi) \frac{\xi}{I_{\min} + (m_0 m/m') \xi^2} \frac{\Phi_0}{\omega^2} \text{ и далее}$$

$$[(m_0 m/m') + m] \xi^2 + r m \xi + I_{\min} = 0 \quad (14)$$

Отсюда условие неподвижности точки С

$$\xi = \frac{-rm - \sqrt{(rm)^2 - 4[(m_0 m/m') + m]I_{\min}}}{2[(m_0 m/m') + m]}. \quad (15)$$

Чтобы уравнение (13) имело решение (а мы ищем только действительные корни) необходимо чтобы плечо лука было очень длинным. При стандартных параметрах лука МК СВ50  $r > \frac{1}{m} \sqrt{4[(m_0 m/m') + m]I_{\min}} \sim 1$  м, что, очевидно, невозможно.

### Груз стабилизатора на вязкоупругом подвесе

Рассмотрим задачу о колебаниях лука с вязкоупругим подвесом груза стабилизатора в зависимости от его массы, длины штанги стабилизатора и параметров подвеса. Термин вязкоупругий подвес груза означает, что подвес обладает упругостью и обеспечивает поглощение энергии (демпфирование) при движении груза. Подвес может быть представлен как пружина со значительным коэффициентом трения, рис. 7. Подсистема самогo лука и подсистема стабилизатора с подвешенным грузом взаимодействуют.

Математически задача представляется системой уравнений движения для смещения плеч лука относительно неподвижной опоры –  $x$  и смещения груза стабилизатора относительно оси штанги –  $y$ .

$$M_0 \frac{\ddot{x}}{n} = -C \frac{\dot{x}}{n} - K \cdot x + K_1 \cdot y$$

$$m_1 \cdot \ddot{y} = -C_1 \dot{y} - K_1 \cdot y + m_1 \frac{l}{n} \cdot \ddot{x}. \quad (16)$$

Обозначения указаны на рис. 7, величина  $(x/n)$  соответствует углу отклонения лука, третье слагаемое второго уравнения описывает псевдо-силу инерции в неинерциальной системе стабилизатора. Основными интегральными параметрами рассматриваемой системы являются собственные частоты лука (без стабилизатора)  $\omega_0 = \sqrt{(K \cdot n)/M_0}$  и груза в подвесе  $\omega_1 = \sqrt{K_1/m_1}$  а также соответствующие коэффициенты затухания колебаний:

$\xi_0 = C/2/\sqrt{KnM_0}$  и  $\xi_1 = C_1/2/\sqrt{K_1 m_1}$ . Для наглядности можно считать, что обратная величина коэффициента затухания соответствует количеству осцилляций при затухании (или количеству раз

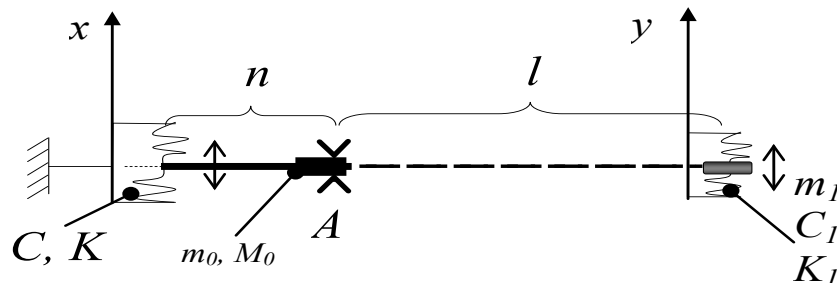


Рис.7. К постановке задачи о грузе стабилизатора на вязкоупругом подвесе:

$A$  – точка опоры,  $n$  – длина плеч лука в вертикальной проекции,  $l$  – длина штанги стабилизатора,  $m_0$  – масса лука без стабилизатора,  $M_0$  – момент инерции лука без стабилизатора,  $m_1$  – масса груза стабилизатора,  $K$  – эффективный модуль упругости тетивы в боковом направлении,  $K_1$  – модуль упругости подвеса стабилизатора,  $C$  и  $C_1$  – коэффициенты сопротивления движению лука и груза стабилизатора

пересечения оси  $x$ ).

Система решалась численно средствами Mathcad. Решения, раскрывающие особенности взаимодействия лука и стабилизатора при базовых

значениях параметров:  $M_0 = 0.1$  кг.м,  $m_1 = 0.2$  кг,  $n = 0.2$  м,  $l = 0.7$  м,  $w_0 = 10$  Гц,  $\xi_0 = 0.15$ ,  $w_1 = 7$  Гц,  $\xi_1 = 1$ ,  $K = 50$ ,  $C = 0.3$ ,  $C_1 = 3$ ,  $K_1 = 10$ , представлены на рис. 11–13.

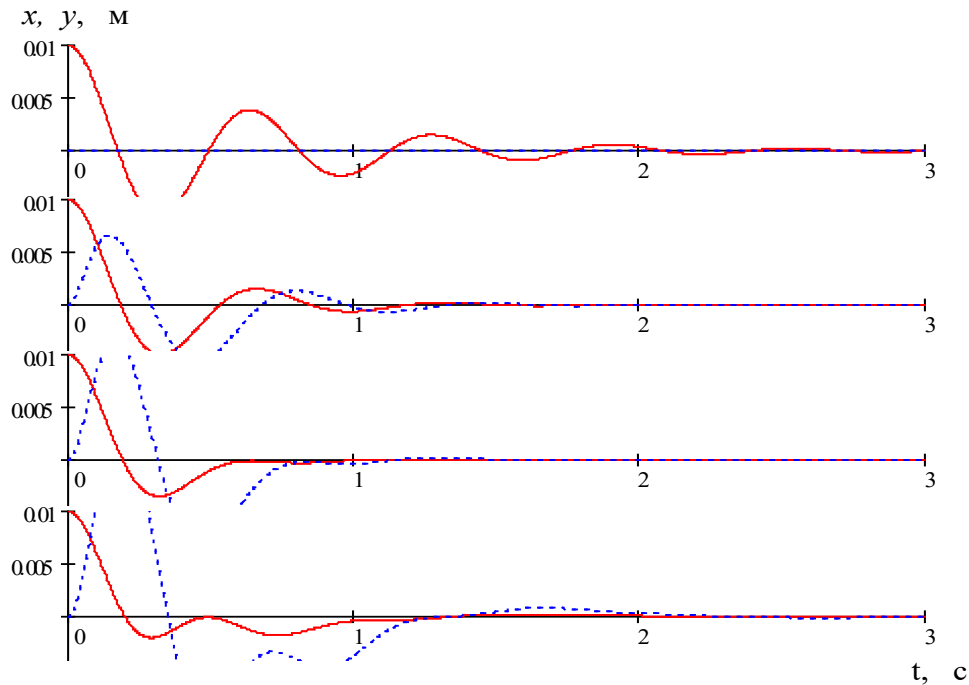


Рис. 8. Траектории успокоения лука (сплошная линия) и груза стабилизатора (итриховая линия) при различных массах груза. Сверху вниз –  $m_1 = 0, 100, 200$  и  $400$  г

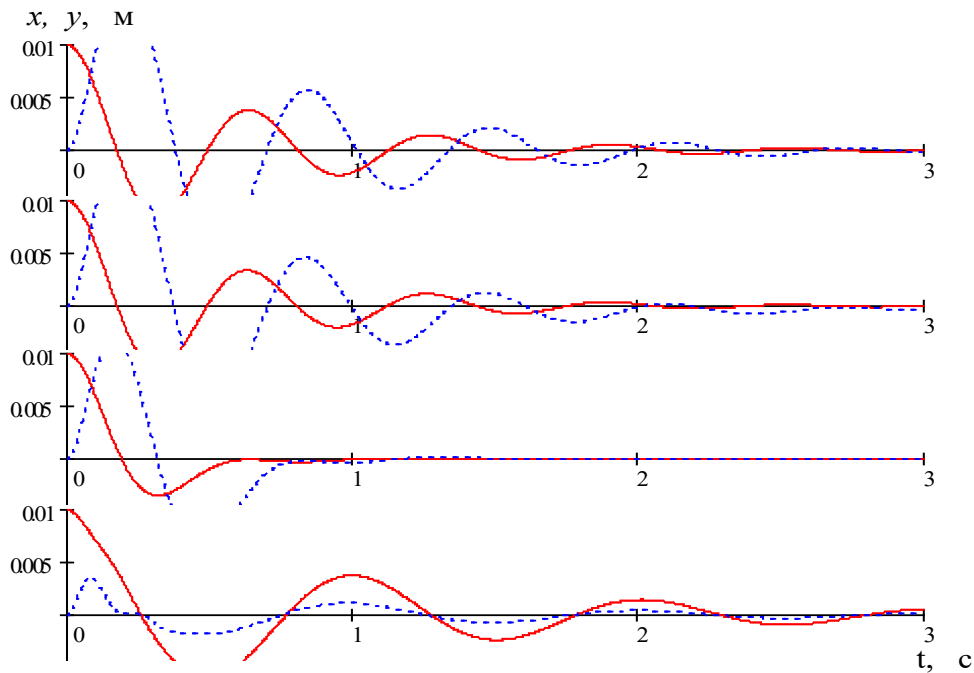


Рис. 9. Траектории успокоения лука (сплошная линия) и груза стабилизатора (итриховая линия) при различных коэффициентах жесткости пружины подвеса груза. Сверху вниз –  $K_1 = 0.1, 1, 10, 100$  Н/м

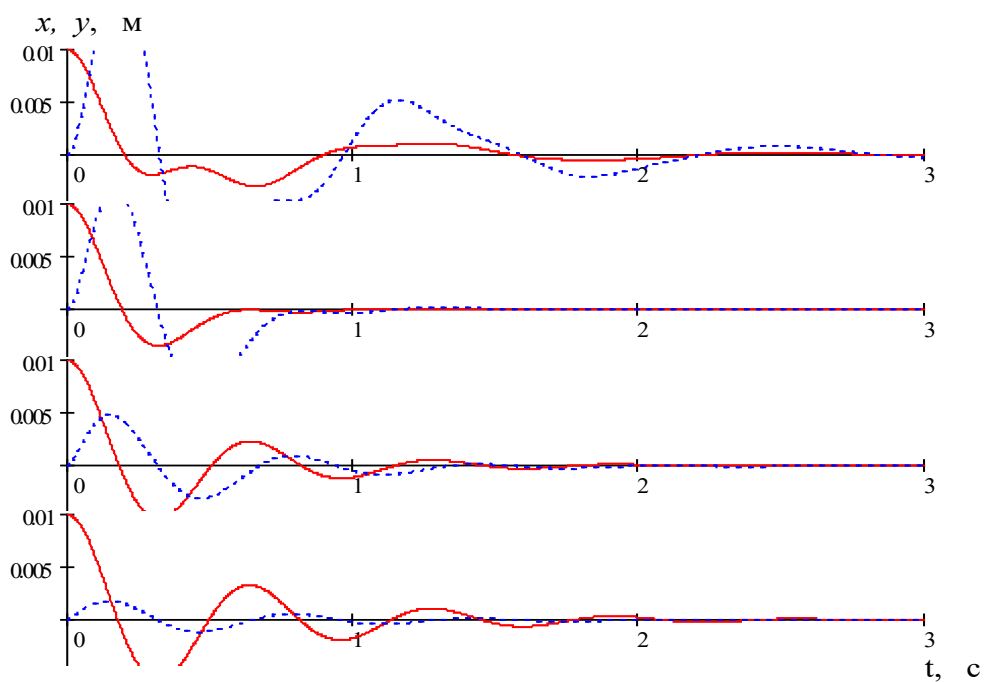


Рис. 10. Траектории успокоения лука (сплошная линия) и груза стабилизатора (штриховая линия) при различных коэффициентах сопротивления движению пружины подвеса. Сверху вниз –  $C_1 = 1, 3, 10$  и  $30$

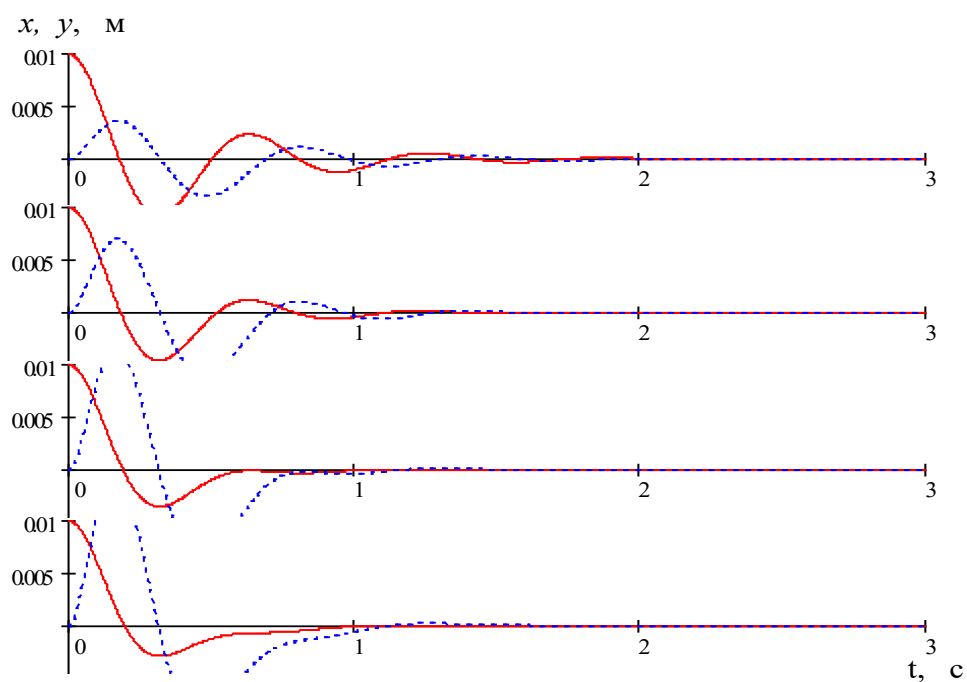


Рис. 11. Траектории успокоения лука (сплошная линия) и груза стабилизатора (штриховая линия) при различных длинах штанги стабилизатора. Сверху вниз –  $L_s = 20, 40, 70$  и  $90$  см



### Заключение

При выносе существенного (300–500 г) груза на штангу 50–70 и более сантиметров ощущаемо снижаются собственные частоты натянутого лука. Однако их использование зачастую не облегчает прицеливание по причине перенапряжения мышц и появления более низкочастотных и сильных толчков, резонирующих с низкими собственными частотами ~2–4 Гц. Кроме того, возникает эффект «якорения» груза и необходимость более долгого управления луком при переносе точки прицеливания. Из-за эффекта «якорения» груза, как правило, могут возникнуть некомфортные для прицеливания колебания точки С, тетивы и пип-сайта. Использование вязко – упругого подвеса груза может сгладить этот эффект.

Лучшая работа стабилизатора с вязко-упругим подвесом груза достигается (при рассмотренных параметрах лука) при жесткости пружины  $K_1 \sim 30$  Н/м, коэффициент сопротивления движению пружины подвеса  $C_1 \sim 2$ , массе груза  $m_1 \sim 200$ –400 и более.

Центр масс лука целесообразно располагать впереди точки опоры в диапазоне расстояний

$$0 < \xi \leq r \frac{\omega_{01}}{\omega}$$

ла, чем дальше целесообразно вынесение центра

масс. Следует избегать слишком низкого расположения центра масс поскольку это может способствовать возникновению крутильных (маятниковых) колебаний вокруг оси направленной вперед. Сместить центр масс вверх можно установкой груза в верхней части райзера. Нагружение лука при котором центр масс приближается к точке опоры А комфортно для быстрой стрельбы и управления луком.

На рис. 12 представлены варианты нагружения лука.

При любом нагружении лука, грузы целесообразно устанавливать с демпфирующими элементами из вязкоупругих материалов – мягких и деформируемых резин, полимерных гелей, микропористых резин, полимеров с «памятью» формы. Возможно использование демпфирующей прокладки на опорной стороне рукоятки лука.

В условиях ветреной погоды и возникающего при этом гидродинамического возбуждения колебаний лука целесообразно уменьшать длину штанги стабилизатора.

В третьей части статьи будут рассмотрены другие факторы, влияющие на качество выстрела, в частности, вопрос о возможности рыжка стрелы при схождении с тетивы, предложены технические решения для улучшения стабильности стрельбы.

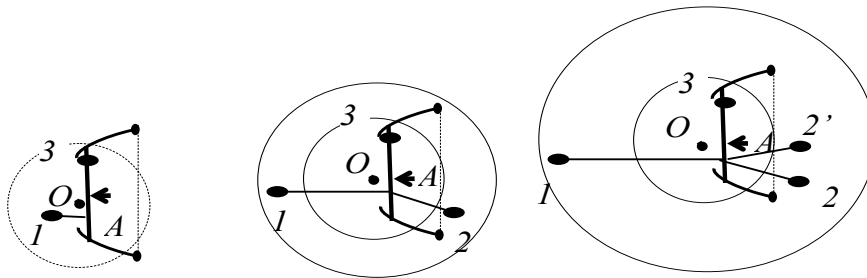


Рис.12. Варианты нагружения лука: условно, компактный, универсальный, спортивный, 1, 2, 3 – точки нагружения. Площадь круга соответствует моменту инерции

### Источники литературы

1. Доброго, К.В. Механика блочного лука. Ч.1. Траектория толчка стрелы / К.В. Доброго // Инженер-механик. – №2 (87). – 2020. – С.38–48.
2. Ландау, Л.Д. Лифшиц, Е.П. Курс теоретической физики. Механика / Л.Д. Ландау, Е.П. Лифшиц. – М.: Наука, 1988. – С. 210.
3. Сивухин, В.Д. Общий курс физики. Т.1. Механика / В.Д. Сивухин. – 6-изд. – М.: Физматгиз. – 2019. – С. 520.



ЯКІСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ, КОНТРОЛЬ:  
ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА

Матеріали 20-ї Міжнародної науково-практичної конференції

07–11 вересня 2020 р., м. Одеса



## ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА СОПРЯГАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

*Соломахо В.Л., Цитович Б.В.*

Современные серийно выпускаемые изделия машиностроения и приборостроения часто имеют сходные конструктивные решения базирующиеся, как правило, на достаточно хорошо «отработанной» конструкции. Конкурентоспособность изделий, обеспечивающих выполнение однотипных функций, зависит от уровня их качества, которое в значительной мере определяется комплексом характеристик функционально важных сопрягаемых поверхностей деталей. К ним, в первую очередь, следует отнести физико-механические свойства материала и микрогеометрию поверхности. Оба эти комплексные свойства формируются технологией создания материала и особенностями формообразования поверхностного слоя. Наряду с вопросами инженерии поверхностей и ее термообработки, обеспечивающими прочность, износостойкость, заданные трибологические, антикоррозийные и другие характеристики конструкции, сегодня необходимо уделять повышенное внимание проблеме формирования микрогеометрии поверхности и нормированию её параметров.

Изначально методика нормирования микрогеометрии была упрощена до предела. Параметры устанавливали через требования к шероховатости поверхности, при этом внимание обращалось исключительно на высоту микронеровностей. Стандарт устанавливал 14 «классов чистоты поверхностей», в каждом из которых нормировались только параметры  $R_a$  или  $R_z$  ( $R_a$  для средних «классов чистоты», а  $R_z$  – для грубых и особо высоких «классов чистоты») при фиксированных значениях базовых длин. Для контроля любого «класса чистоты» хватало одного из высотных параметров шероховатости, поскольку именно высоту микронеровностей считали определяющим свойством микрогеометрии поверхности.

Абсолютное большинство технологических процессов изготовления деталей предполагало их получение традиционными методами формоо-

бразования, как правило связывая окончательную обработку сопрягаемых поверхностей с использованием лезвийного или абразивного инструмента. Такие технологии обеспечивали достаточно устойчивые взаимосвязи между высотой и шагами микронеровностей с представительной базовой длиной. Для этих методов обработки поверхностей практически всегда соблюдалось соотношение  $R_z \approx (4 - 5) R_a$ . Выбор высотного параметра шероховатости при таких условиях был практически равноценен одновременному назначению базовой длины и косвенно определял шаговые параметры профиля.

Практическая достаточность действовавших норм микрогеометрии поверхностей была связана с двумя определяющими факторами, одним из которых были сравнительно скромные требования к работе изделий (умеренные нагрузки и режимы работы), а вторым – ограниченные возможности широко применяемых технологий обработки поверхностей. Однако принятая концепция нормирования существенно ограничивала возможности управления микрогеометрией поверхности.

Повышение требований к точности и надёжности изделий, интенсификация их использования привели к существенной переоценке роли микрогеометрии сопрягаемых поверхностей, что вызвало разработку и внедрение стандарта ГОСТ 2789 «Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики», ныне действующего как Межгосударственный стандарт в версии 2018 года. На микронеровности перестали смотреть как только на «мешающий фактор», затрудняющий взаимное перемещение деталей в подвижных соединениях и изменяющий натяг при сборке неподвижных соединений. Стали обращать внимание на связь микрорельефа с несущей способностью и износом поверхностей, констатировали роль как микровпадин в удержании смазки и как ловушек («потенциальных ям») для твёрдых

частиц, включая продукты износа трущихся поверхностей.

В новой версии стандарта сохранены три высотных параметра, однако откорректированы термины, их определения и методики расчета. В частности установлено, что:

$R_a$  – среднеарифметическое отклонение профиля;  $R_z$  – наибольшая высота профиля – сумма высоты наибольшего выступа профиля  $R_p$  и глубины наибольшей впадины профиля  $R_v$  в пределах базовой длины  $l$ ;  $R_{max}$  – полная высота профиля – сумма высоты наибольшего выступа профиля  $R_p$  и глубины наибольшей впадины профиля  $R_v$  в пределах длины оценки  $L$ .

Активное развитие формообразования поверхностей привело к развитию новых технологий обработки функционально важных поверхностей деталей, таких как прогрессивные методы пластического деформирования, порошковая металлургия, точное литьё, электро-физические и физико-химические технологии обработки, наплавка и напыление сопрягаемых поверхностных слоев элементов деталей и, наконец, аддитивные технологии («печать» деталей на 3D-принтерах). Их широкое внедрение нарушило привычные связи между параметрами микрогеометрии поверхностей.

Современные материалы и технологии обработки поверхностей привели к формированию новых свойств изделий, что открыло возможности их более рационального использования.

Главной отличительной особенностью микрорельефа «новых» поверхностей является отсутствие взаимной зависимости между высотными и шаговыми параметрами шероховатости поверхностей, их связи с базовой длиной и с относительной опорной длиной профиля. Это означает, что каждый из параметров можно выбирать автономно и нормировать их, исходя из требований к функционированию деталей. Очевидной стала необходимость принципиального обновления подхода к нормированию микрогеометрии поверхностей.

В соответствии с действующим стандартом микрогеометрию поверхности можно нормировать с использованием шести параметров шероховатости (три высотных, два шаговых и показатель относительной опорной длины профиля) с возможностью использования такой характеристики, как направление неровностей, что обеспечивает значительную гибкость управления микрогеометрией нормируемой поверхности. Относительную опорную длину можно нормировать на выбранном уровне сечения профиля, что определяет структуру контакта в сопряжении деталей при их

сборке и/или взаимном перемещении. Это важно для соединений с натягом, для герметичных соединений, а также для подвижных соединений в которых происходит износ поверхностей в процессе взаимных перемещений. Стандарт также позволяет рационально назначать базовую длину для любой из выбранных норм или для группы норм, если в том будет необходимость, что увеличивает возможности управления микрогеометрией поверхности.

Активно проводимые теоретические и экспериментальные исследования роли микрогеометрии поверхностей в разнотипных сопряжениях позволяют сделать вывод о том, что параметры шероховатости можно использовать не только для оценки качества поверхностей но и как инструмент управления качеством. Примером этого являются рекомендации, связывающие параметры шероховатости поверхностей с некоторыми требованиями к функционированию деталей (табл. 1).

Табл. 1.

Эксплуатационные свойства поверхности и обеспечивающая их номенклатура параметров и характеристик шероховатости

Эксплуатационное свойство поверхности	Параметры шероховатости и характеристики, определяющие эксплуатационное свойство
Износоустойчивость при всех видах трения	$R_a, R_z, t_p$ , направление неровностей
Виброустойчивость	$R_a, R_z, S_m, S$ , направление неровностей
Контактная жесткость	$R_a, R_z, t_p$
Прочность соединения	$R_a, R_z$
Прочность конструкций при циклических нагрузках	$R_{max}, S_m, S$ , направление неровностей
Герметичность соединений	$R_a, R_z, R_{max}, tp$
Соппротивление в волноводах	$R_a, S_m, S$

Широко растиражированные в справочниках конструкторов и технологов средние и достижимые значения высотных параметров шероховатости поверхностей явно устарели, так же как и рекомендации по нормированию этих параметров для типовых элементов конструкций. Применение устаревших рекомендаций принципиально ограничивает возможности повышения уровня качества вновь разрабатываемых изделий. Практическое использование только высотных параметров шероховатости поверхностей, главным образом средне-

арифметического отклонения профиля  $R_a$  при разработке новых изделий, связано с недооценкой разработчиками возможностей управления качеством поверхностей при использовании иных параметров шероховатости, а также рядом очевидных преимуществ применения  $R_a$  как предпочтительного из высотных параметров [1]. Отличительными признаками параметра являются:

- статистическая стабильность и высокая повторяемость результатов измерений;
- оптимальность для поверхностей со стохастическим характером профиля, например шлифованных;
- удобство при контроле стабильности технологического процесса;
- возможность измерений любым, даже самым простым современным профилографом.

Параметру  $R_a$  присущ недостаток, весьма значительный с учетом развития современных аддитивных технологий – он не позволяет определить тип профиля поверхности (не изменяется при изменении формы профиля поверхности).

Сложности выбора оптимального (или хотя бы оптимизированного) микрорельефа поверхностей сопрягаемых элементов в типовых конструкциях новых изделий обусловлены рядом объективных причин, к которым можно отнести:

- неограниченные возможности выбора материалов, включая возможности раздельного выбора материалов «материковой основы детали» и поверхностного слоя;
- широкие возможности выбора технологий формообразования деталей и микрорельефов сопрягаемых поверхностей и комбинирования их сочетаний;
- специфические требования и особенности нормирования микрорельефа поверхностей для изделий, применяемых в разных областях промышленности;
- существенные различия эксплуатационных требований к качеству поверхностей сопрягаемых элементов в типовых конструкциях разных изделий;
- различия режимов эксплуатации типовых конструкций не только разных изделий, но и однотипных изделий, используемых в разных условиях;
- эксплуатации типовых конструкций изделий

в разных рабочих режимах, включая неустановившиеся режимы.

Использование аддитивных технологий позволяет получать поверхности с полностью регулярным микрорельефом или с частично регулярным микрорельефом. Поверхности первого вида получают при полном переформировании исходных «специальными способами обработки», а поверхности второго вида предусматривают возможность сохранения участков исходного микрорельефа [2].

Регулярный характер микрорельефа обеспечивает сопрягаемым поверхностям «дополнительные преимущества»:

- снижение потерь на трение и исключении надиров, задиров и схватывания поверхностей, что повышает надежность изделий;
- существенное сокращение длительности периода приработки поверхностей деталей;
- возможность применения расчетных методов нормирования и соответствующего технологического обеспечения микрогеометрии.

Кроме того, создание и использование поверхностей с регулярным микрорельефом могут преследовать и такие перспективные цели, как уменьшение материалоемкости деталей и улучшение других эксплуатационных свойств, которые могут быть достигнуты только в ходе комплексного нормирования качества деталей.

Очевидно, что для наиболее полного использования микрорельефа поверхностей в качестве инструмента обеспечения качества необходимо расширить номенклатуру параметров, что может потребовать дальнейшего совершенствования соответствующих стандартов. В настоящее время существуют зарубежные стандарты, которые позволяют нормировать значительно большее число параметров шероховатости поверхностей, чем это принято сегодня у нас. При этом их инструментальный контроль обеспечивается серийно выпускаемыми средствами измерений.

Естественным выходом из сложившейся на сегодня ситуации является системное планирование объемных исследовательских работ, направленных на разработку давно необходимых рекомендаций по рациональному нормированию и выбору параметров шероховатости поверхностей.

#### Литература

1. Табенкин, А.И. Шероховатость, волнистость, профиль / А.Н. Табенкин, С.Б. Тарасов, С.Н. Степанов. – Санкт-Петербург: Изд. Политехнического университета, 2007. – 133с.
2. Шнейдер, Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом / Ю.Г. Шнейдер. – Л.: Машиностроение, 1982.



УДК 681.58

## РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПАЙКИ

*А.Г. Колмаков<sup>1</sup>, И.Б. Опарина<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Институт металлургии и материаловедения им. А.А.Байкова РАН,  
Москва, Россия*

*В.В. Шкурко<sup>2</sup>, И. М. Хейфец<sup>2</sup>*

*<sup>2</sup>Институт подготовки научных кадров НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

Подходы к решениям задач автоматизации технологических процессов в современных условиях настолько широки и подвержены обновлению практически с такой же скоростью, как и в современных устройствах мобильной связи [1–4]. Не так давно поддержание рабочего режима технологического процесса было значимым условием при разработке системы [1]. Сейчас система управления строится как открытая платформа с возможностью наблюдения, контроля и управления оборудованием, а также оповещения оператора [3]. Набор опций системы каждый разработчик формирует по своему усмотрению с учетом их значимости [2].

Для установки индукционной пайки возникла необходимость разработать автономную автоматизированную систему удаленного мониторинга и управления технологическим процессом [4]. В этой связи потребовалось выбрать технические средства и устройства обработки информации для конкретного процесса и подготовить программное обеспечение для выбранных устройств обработки информации.

**Технические средства и устройства обработки информации в производственных процессах.** Программируемый логический контроллер (ПЛК, PLC) является автономным программируемым устройством сбора и обработки информации, а также базовым аппаратным средством обработки уровня локальных систем автоматизированного управления (САУ) [3]. Промышленный контроллер выполняет следующие основные операции (цикл операций): сбор

сигналов с датчиков; обработка сигналов согласно прикладному алгоритму (закону) управления; выдача управляющих воздействий на исполнительные устройства (механизмы).

В отличие от персонального компьютера он рассчитан на решение ограниченного круга задач и должен обладать следующими основными свойствами:

1) работа в режиме реального времени, т. е. обеспечение высокой реактивности (быстродействия) на запросы обслуживания со стороны объекта управления (обеспечение управления в темпе протекания технологического процесса);

2) повышенные требования к надежности функционирования: автоматический перезапуск, в случае «зависания» программы; конструкция, приспособленная для работы в цеховых условиях (повышенные вибрации, электромагнитные помехи, запыленность, перепады температуры, иногда взрывоопасность); минимальное потребление энергии и рассеяние тепла в условиях ограниченной мощности источника питания и отсутствия элементов принудительной вентиляции и охлаждения;

3) модульность архитектуры, что дает возможность расширения и модификации (встраивание дополнительных блоков или модулей).

При построении САУ важно выбрать контроллер, удовлетворяющий всем техническим условиям и требованиям конкретного производства [1, 3]:

1. Возможность полного резервирования для процессов, где отказоустойчивость критична.

2. Количество и тип поддерживаемых коммуникационных интерфейсов. Это определяет гибкость и масштабируемость системы управления в целом. Современные контроллеры способны поддерживать до 10 стандартов передачи данных одновременно, что во многом определяет их универсальность.

3. Быстродействие. Измеряется, как правило, в количестве выполняемых в секунду элементарных операций (до 200 млн) или количеством обрабатываемых за секунду функциональных блоков.

4. Объем оперативной памяти. Во время работы контроллера в его оперативную память загружены запрограммированные пользователем алгоритмы автоматизированного управления, операционная система, библиотечные модули и т.д., т.е. чем больше оперативной памяти, тем сложнее и объемнее алгоритмы контроллер может выполнять. Варьируется от 256 килобайт до 32 мегабайт.

5. Надежность. Нарботка на отказ до 10–12 лет.

6. Наличие специализированных средств разработки и поддержка различных языков программирования. Для удобства программиста реализуется поддержка нескольких языков как визуального, так и текстового программирования (FBD, SFC, IL, LAD, ST).

7. Возможность изменения алгоритмов управления на «лету», т.е. без остановки работы контроллера.

8. Возможность локального ввода/вывода. Некоторые PLC рассчитаны на работу только с удаленной подсистемой ввода/вывода, другие могут работать как с локальными модулями ввода/вывода, так и удаленными узлами.

9. Вес, габаритные размеры, вид монтажа (на DIN-рейку, на монтажную панель или в стойку). Важно учитывать при проектировании и сборке шкафов.

10. Условия эксплуатации (температура, влажность, механические нагрузки). Большинство промышленных контроллеров могут работать в жестких промышленных условиях от 0 до 65°C и при влажности до 95-98%

**Программное обеспечение устройств обработки информации в производственных процессах.** Основные требования к программному обеспечению для PLC: автономность; поддержка процессов сбора, анализа информации и управления, а также локальных баз данных в реальном времени; возможность дистанционного управле-

ния со стороны диспетчерского пункта (уровень SCADA-систем); сетевая поддержка [1, 3].

Программное обеспечение включает следующие основные компоненты: тестовое программное обеспечение; базовое программное обеспечение; прикладное технологическое программное обеспечение [3].

*Тестовое программное обеспечение.* Выполняет тестирование (отладку) отдельных PLC и системы в целом (включая тестирование и диагностику различных конфигураций) и содержит следующие компоненты: программы инициализации и конфигурирования, а также начальные тесты для PLC и сетевых адаптеров (внутреннее программное обеспечение, расположенное в ПЗУ); программы для тестирования PLC через линию связи с компьютером высшего уровня или специализированной наладочной аппаратурой; программы для тестирования, наладки и сбора статистики локальной сети распределенной системы; комплексное тестирование распределенной системы в целом; специализированное тестовое программное обеспечение для наладочных пультов, панелей, стендов, эмуляторов и т.д.

Отладка PLC выполняется с помощью компьютеров или специальных пультов, обеспечивающих доступ к памяти и портам PLC с целью отладки и оперативного ввода данных, уставок, управляющей информации. Отладчик позволяет перевести работу PLC в режим пошагового исполнения внутренних программ, эмулировать подачу внешних сигналов, отслеживать изменения состояний регистров и т.п.

*Базовое программное обеспечение.* В его состав входят: операционные системы реального времени, управляющие выполнением прикладной технологической программы и устройствами PLC; сетевые программные средства, обеспечивающие информационный обмен между отдельными узлами и возможность дистанционного доступа и управления в распределенной системе.

Прикладное технологическое программное обеспечение. Для разработки *технологических программ* используются следующие средства: редакторы, системы программирования (поддержка ассемблеров и языков высокого уровня, а также языков технологического программирования), средства отладки и тестирования, а также инструментарий для функционально-ориентированных языков программирования, позволяющих с минимальными трудозатратами осуществлять проектирование системы «под ключ».

Технологические языки, используемые для

разработки прикладных программ, включают в себя обычно арифметические и логические операции, средства организации циклов подключения и отключения портов, средства управления прерываниями (запрет/разрешение, установка приоритетов), средства работы с интервалами времени и обработки событий, а также средства для динамической загрузки и запуска программ. Элементами языка являются имена портов ввода-вывода и отдельных их разрядов, имена счетчиков, таймеров и контактов, флаги, а также параметры технологического процесса.

Главная задача PLC – это выполнение прикладных программ управления процессами. Учитывая их разнообразие контроллер должен быть свободно программируем, т.е. создавать пользовательские программы произвольной структуры без ограничений их функциональности. Персональный компьютер или портативный программатор, подключенные к контроллеру по сети, программные средства разработки.

Средства разработки программ значительно ускоряют процесс разработки программного обеспечения и включают:

1. Предподготовленные компоненты (программные библиотеки, функциональные блоки, готовые процедуры, шаблоны и скрипты);
2. Инструменты для отладки, тестирования и симуляции (позволяют выполнять разрабатываемую программу без загрузки в реальный контроллер).

Средства разработки прикладного программного обеспечения для контроллеров, как правило, поддерживают до шести разных языков программирования на основе международного стандарта IEC 61131, (разработан Международной электротехнической комиссией (МЭК). В части описания языков программирования стандарт является ориентиром для большинства разработчиков PLC. Языки программирования стандарта МЭК 6-1131/3 включают в себя четыре визуальных языка (LD, FBD, SFC, CFC), ориентированных на инженеров и бизнес-аналитиков и два текстовых (ST, IL), ориентированных на программистов.

**Проектирование автоматизированной системы управления процессом пайки.** При разработке технического задания на проектирование системы автоматизации учитываются технологические задачи: проведение пайки в вакууме и в газовой среде; охлаждение изделия в защитной атмосфере; выбор времени охлаждения; прижим частей изделия с заданным усилием; выбор времени полного цикла работы.

Проектирование системы управления. Основу системы управления составляет панельный контроллер СПК107 с сенсорным дисплеем. Контроллер может устанавливаться либо на самой установке, либо в шкафу управления. Удобен СПК107 тем, что объединяет в одном корпусе функции программируемого контроллера с панелью оператора.

Контроллер соединяется с компьютером по Ethernet. В SCADA-системе на ПК создаются мнемосхемы для отображения основных показателей. Например, демонстрируется на какой стадии исполнительской программы в данный момент времени находится процесс, или в какой среде происходит пайка.

Мониторинг работы можно вести не только на ПК, но и в облачном сервисе, например в OwenCloud. Сбор данных с датчиков (давление, разряжение, положение) и кнопок управления осуществляется модулями аналогового ввода MB110-224.8A и модулями дискретного ввода MB110-224.16ДН по интерфейсу RS-485.

Управление пневматическими исполнительными механизмами, системой вакуумной откачки и напуска газа ведется с помощью модулей аналогового вывода МУ110-224.8И и модулей дискретного вывода МУ110-224.16Р. Модули и источник питания соединены с панельным контроллером интерфейсом RS-485. Обмен данными осуществляется по протоколу Modbus RTU. Источником питания высокой частоты управляет контроллер.

Структурная схема разработанной системы управления показана на рис. 1.

На экран СПК107, как в SCADA-системе, могут выводиться мнемосхемы управления камерой, пневматической системой, системой вакуумной откачки и источником питания высокой частоты. Всплывающие окна содержат подсказки, отображается текущий этап, состояния и положения устройств и механизмов. Контроллер имеет возможность архивировать события, настройки параметров технологического процесса (время пайки, остаточное давление в камерах и т.д.).

Установка может работать как в ручном, так и в автоматическом режимах. Переключение режимов осуществляется при помощи виртуального переключателя. Для возможности оперативного управления часть функций дублируется устройствами MeyerTec – кнопками управления, сигнальными лампами, джойстиком. Система управления обеспечивает: сбор технологических параметров от первичных преобразователей; архивирование параметров; удаленный монито-

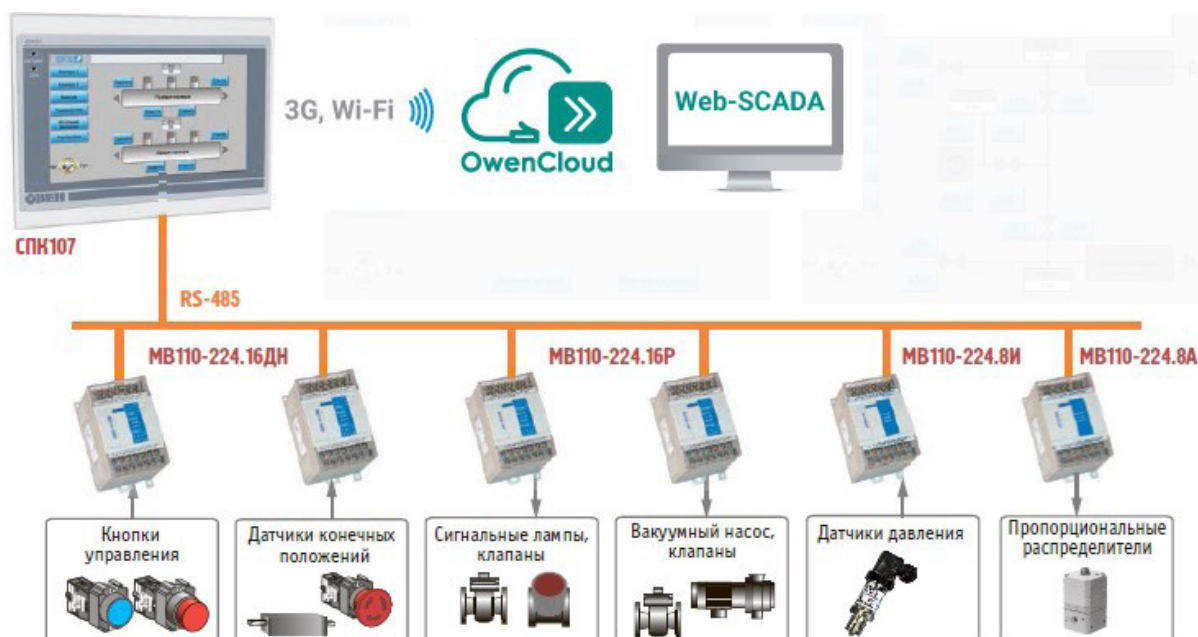


Рис. 1. Структурная схема системы управления процессом пайки

ринг; аварийный режим.

Проектирование технологического цикла. Процесс пайки начинается с загрузки заготовок и припоя в индуктор камеры. Запускается вакуумный насос, камера герметизируется, заготовки сдавливаются пневматическим прижимом, и выполняется вакуумная откачка. Остаточное давление в камере контролируется и регистрируется датчиком разряжения, сигнал с которого поступает в систему управления. При достижении заданного уровня разряжения происходит контролируемый напуск защитного газа до установленного давления, после чего начинается процесс пайки. Одновременно с ведением технологического процесса на первом посту идет подготовка к работе на втором.

После пайки камера через специальные клапаны продувается инертным газом, с прижимных цилиндров снимается давление, и изделие высвобождается. Готовое изделие извлекается

и загружаются новые. Выбирается время цикла. Отладка новой технологии осуществляется в ручном режиме. На мнемосхемах настраиваются новые элементы: кнопки управления механизмами, локальными системами.

Закключение. Таким образом, на основании выбора технических средства и устройств обработки информации для процесса индукционной пайки, подготовлено программное обеспечение контроля и диагностики процесса, и разработана автономная автоматизированная система удаленного мониторинга и управления технологическим процессом.

В результате на базе микропроцессорных средств управления создана полнофункциональная система управления сложным объектом - установкой индукционной пайки, обеспечивающая автоматизацию технологического процесса с высокой степенью надежности и возможностью удаленного мониторинга.

#### Список литературы

1. Теоретические основы проектирования технологических комплексов / А.М.Русецкий [и др.]; под общ. ред. А.М. Русецкого. – Минск: Беларуская навука, 2012. – 239 с.
2. Конструирование и оснащение технологических комплексов / А.М.Русецкий [и др.]; под общ. ред. А.М. Русецкого. – Минск: Беларуская навука, 2014. – 316 с.
3. Автоматизация и управление в технологических комплексах / А.М.Русецкий [и др.]; под общ. ред. А.М. Русецкого. – Минск: Беларуская навука, 2014. – 375 с.
4. Обеспечение качества изделий в технологических комплексах / С.А.Чижик [и др.]; под общ. ред. М.Л. Хейфеца. – Минск: Беларуская навука, 2019. – 248 с.



## НЕКОТОРЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ РАЗРАБОТКИ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНИКИ В НАСТОЛЬНОМ ТЕННИСЕ

*Павлович А.Э.*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники*

Журнал «Инженер-механик» периодически проводит и освещает на своих страницах (например, в выпуске 82 [1]) спортивные турниры, в которых есть и игры в настольный теннис, дающие ощутимый оздоровительный эффект, который усиливается за счет значительного аэробного обеспечения. Физические кондиции у человека, регулярно занимающегося настольным теннисом, растут. Заметно развивается выносливость, сила, быстроты, ловкость и гибкость. Это положительно влияет на центральную нервную систему, которая начинает более четко координировать работу наших физиологических систем. И тем самым улучшается самочувствие, растет работоспособность.

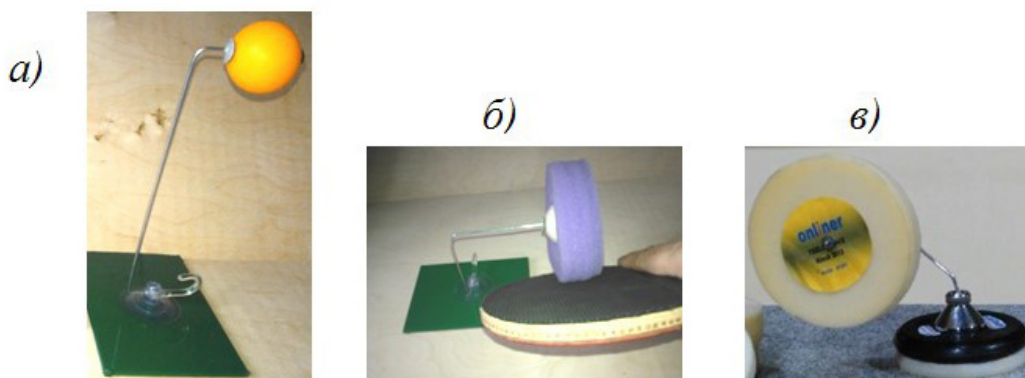
Настольный теннис является довольно сложным техническим видом спорта и для получения стабильности выполнения различных ударов ракеткой по мячу, правильности перемещений теннисиста, тренеры применяют как роботы-тренажеры, так и технические устройства проще.

Например, для отработки накатов, срезов, под-резок, топ-спинов и др. движений, применяются показанные на рис. 1 и 2 оригинальные устройства, приведенные на любительском форуме по настольному теннису [2].

Данные устройства можно легко, без крепления, устанавливать в разных местах стола, тренируя в движении удары по мячу или поролоновому колесу.

Имеется также интеллектуальная система для тренировки, в которой внутри мячей на спице устройств 1,а закреплены диодные источники света, а снаружи датчики Холла. Тренером с помощью переключателей или с помощью разработанной программы, например, от ноутбука, задается игроку очередность вспышек мячей, по которым он должен правильно нанести удар, что фиксируется через датчик Холла на мониторе с выдачей результатов по реакции.

Также, для отработки ударов «топ-спин» полезно мяч располагать не на спице с вращением



*Рис. 1. Устройство для отработки движений ракеткой:*

*а – на пластине, присоске с шарниром и спице с вращающимся мячом; б – то же что и на «а», но с поролоновым колесом; в – с таким колесом на диске, шарнирном узле и прутке*



Рис. 2. Пример применения устройства по рис. 1,а в тренировке:  
а – установка; б – отработка движений

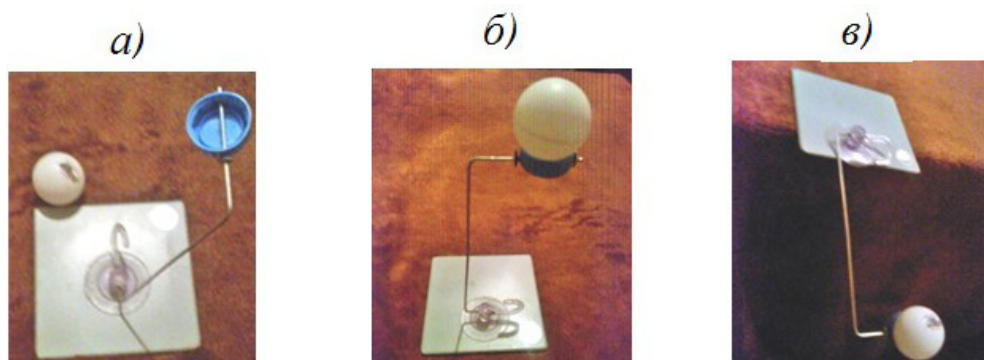


Рис. 3. Устройство для отработки топ-спинов:  
а – элементы устройства; б, в – установка мяча внизу и вверх

в подобном устройстве (рис. 1,а), а в поворотнo-фиксируемом гнезде (рис. 3), которое насажено на горизонтальное плечо спицы.

При этом имеется возможность выполнять движения в различных положениях мяча, придавая ему вращение во время срыва с гнезда с направлением полета в нужную точку стола.

Для закрепления в дальнейшем навыков по выполнению правильности топ-спинов рекомендуется применять также модернизированную ракетку (рис. 4), разработанную тренером Выдричем Юрием Васильевичем.

Перемещаемый элемент 3 в таком устройстве выполнен с возможностью своего поворота на оси 5 для учета технических и физических особенностей спортсменов (амплитуда удара, длина руки, точка касания мяча и ракетки при ударе и

т.д.), и устанавливается таким образом, чтобы направление углубления 4, как своеобразной направляющей, максимально совпадало с направлением движения ракетки в момент ускорения при ударе по мячу. Сразу после окончания контакта ракетки с мячом ее поступательное движение должно смениться на возвратное. При этом ползун 6 ударяется в стенку перемещаемого элемента 3, создавая при этом характерный звук удара, а также отдачу в кисть руки от соударения упомянутых перемещаемых элементов, что позволяет игроку научиться контролировать момент окончания удара и возврат руки с ракеткой в исходное положение, а также акцентировать ускорение ракетки в момент касания с мячом.

Данное устройство можно применять вместе с другой ракеткой для отработки топ-спинов как справа, так и слева.

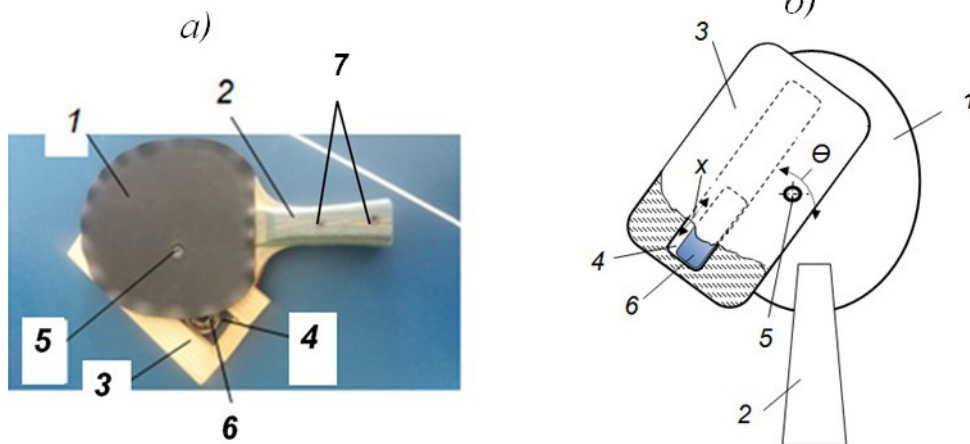


Рис. 4. Ракетка Выдрича Ю.В. для отработки топ-спинов:  
а – общий вид, б – схема:

1 – игровая пластина ракетки; 2 – ручка ракетки; 3 – перемещаемый элемент;  
4 – углубление в элементе 3; 5 – ось; 6 – ползун; 7 – шурупы

Однако оно громоздко, а для закрепления двух ракеток вместе требуется свинчивание рукояток 2 шурупами 7.

Для снижения габаритов устройства и сохранения целостности ракеток предлагается делать элементы в сборе с возможностью съемного крепления с двух сторон ракетки. Или же располагать такую сборку непосредственно в пластине ракеток увеличенной толщины, которые встречаются в моделях «Dr. Neubaer».

Значительную роль в настольном теннисе оказывает гибкость стопы и кистей рук.

Для развития и укрепления мышц стопы, а также для реабилитации после травмы создан и запатентован тренажер [3] (рис. 5)

Предварительно, за счет манипуляций маховиками 6 и 10 и за счет перемещения резьбовой части корпуса 4 по резьбовой части направляющей 7, устанавливают необходимое усилие прижатия эластичной втулки 5 к шару 3, который прижат также к седлу корпуса 4. Т.е. создают необходимое сопротивление последующему перемещению педали 2. Спортсмен располагается, например, на стуле и закрепляет одну из своих стоп на педали 2. Затем он совершает повороты и наклоны своей стопы самой ногой или/и рукой с помощью рукояти 1 в определенном темпе, испытывая на соответствующих мышцах и связках нагрузку от трения шара 3 по эластичной втулке 5.

В зависимости от методики разработки стопы можно изменять амплитуду движений, а также менять исходное положение на другую ногу.

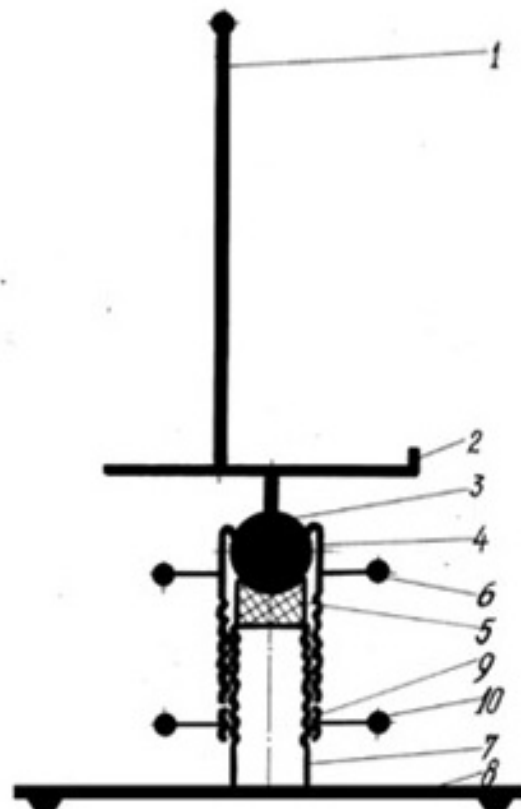


Рис. 5. принципиальная схема тренажера:  
1 – рукоять; 2 – педаль; 3 – шар; 4 – корпус; 5 – эластичная втулка; 6 – маховик; 7 – направляющая;  
8 – площадка; 9 – контргайка; 10 – маховик

Аналогично принципу работы такого ножно-го шарнирного тренажера создан и запатентован двухшарнирный тренажер для развития кистей [4] (рис. 6) с регулируемой нагрузкой.

В комплексе все перечисленные конструкции позволяют значительно быстрее усовершенствовать сложные технические приёмы в настольном теннисе.



*Рис. 6. Принципиальная схема двухшарнирного тренажера для развития рук [4]*

***Источники информации:***

1. Комби-турнир с участием инженеров-механиков // Инженер-механик, вып. 1(82), 2019. – С. 49.
2. Форум по настольному теннису (сообщения «Шура 52» за 20013...2018 гг.) – Электронный ресурс: <https://forum.onliner.by>. Дата доступа 16.09.2020.
3. Устройство для укрепления мышц стопы / А.Э. Павлович, В.А. Терещенко - Патент ВУ 3711 У, МПК А 63В 23/035, 30.06.2007.
4. Эргометр / А.Э. Павлович – Патент ВУ 4300 У, МПК А 63В 21/00, 30.04.2008.



## ОБРАТНАЯ СТРЕЛОВИДНОСТЬ САМОЛЕТНОГО КРЫЛА

*Клеванец Ю.В.*

### 1. Начало биографии, первые самостоятельные работы

Я давно собирался написать о работах авиаконструктора Виктора Беляева, однако меня сдерживало совершенное отсутствие в каких-либо источниках биографии этого человека. Разные авторы приводили разные годы его рождения: то ли 1896, то ли 1886. Дат смерти было целых три: 1953, 1955, 1958. И это почти для нашего современника, а не для фараона какого-нибудь. Если с рождением можно было как-то определиться, скорее всего, он родился в 1896 году, а иначе непонятно, чем этот человек занимался 10 лет после окончания гимназии, то истинная дата смерти для меня и до сей поры загадка.

Несколько прояснила ситуацию книга Л.Л. Селякова, главного конструктора самолёта Ту-134, «Тернистый путь в никуда». Дело в том, что автор начинал свою работу в КБ Беляева и, соответственно, хорошо знал непосредственного начальника. Но некоторые подробности биографии героя этого очерка прояснились только относительно недавно.

Впрочем, ничего сверхъестественного я не узнал. Биография Виктора Николаевича Беляева умещалась в разных книгах только в даты рождения и смерти из-за совсем не пролетарского происхождения. Наш герой родился в богатой семье. Его дед из разночинцев, окончил Московский университет, дослужился до профессорского звания, чина статского советника и, соответственно, дворянского статуса. Отец, Николай Васильевич, окончил кадетский корпус, однако офицером не стал, а занялся коммерцией. Он был председателем АО «Верхневолжская железная дорога», а также акционером «Московского автомобильного общества», (МАО, не путать с АМО миллионеров Рябушинских, как нужно понимать, конкурентов). Мать, Александра Александровна, из старинной купеческой семьи. Родители Виктора имели большой дом в Москве. Кроме нашего героя, у Николая и Александры было ещё двое сыновей и две дочери.

Как и следовало ожидать, революция стала потрясением для Беляевых. Семья разделилась: отец и Виктор, в то время студент механико-математического факультета МГУ, остались в Москве, мать с двумя старшими сыновьями поехали на юг. Там братья Виктора примкнули к белым, воевали в армии Деникина, остались живы и эмигрировали в Турцию вместе с матерью. Больше члены семьи уже никогда друг друга не видели.

Отец Виктора после революции стал служащим на железной дороге и работал там до своей смерти, которая произошла в 1920 году при невыясненных обстоятельствах. С 1918 года, прервав учёбу, на железную дорогу устраивается и Виктор. Можно думать, что тому были две причины: обыкновенный голод во-первых, а во-вторых, для продолжения образования нужно было приобрести рабочий стаж (в те времена был такой пункт – лицам «эксплуататорских классов» получать высшее образование не давали).

Университет Виктор окончил уже в 1923 году, а с 1925 года стал расчётчиком в авиационном КБ Григоровича. В 1926 году переводится в ЦАГИ. Здесь он работает в бригаде В.М. Петлякова. Заметим: согласно тогдашнему, довольно странному на современный взгляд, порядку, КБ Туполева было подразделением ЦАГИ, сам Туполев был руководителем КБ, занимал должности в институте и ещё в Главном управлении авиационной промышленности (ГУАП). Архангельский, Петляков, Сухой были руководителями бригад в КБ и параллельно вели научную работу. Подобно начальникам, Беляев также работал и в отделе прочности института. Там он занимался теорией флаттера, на чём «поднялся» его непосредственный начальник Келдыш, впоследствии академик.

В те годы весь авиационный мир волновала проблема увеличения скорости. В богатых странах устраивались состязания на призы, учреждённые тогдашними миллионерами и миллиардерами. В журнале об этом уже упоминалось в очерке, посвящённом самолётам авиаконструктора Москалёва. Повторю одно положение из того

очерка: к началу 1930-х годов исследователям стало ясно, что резкого прироста скорости можно добиться, применив стреловидное крыло.

Каким образом к Беляеву пришла в голову идея обратной стреловидности неизвестно. Возможно, он просто по характеру был «мальчик наоборот». Но именно он впервые задался «детскими» вопросами: а какая разница, куда будут отогнуты консоли крыла: назад или вперёд? Что будет, если действительно отогнуть консоли вперёд? Может быть, так можно избавиться от флаттера? Напомню: флаттер, разрушительные колебания недостаточно жёсткой конструкции при движении в некоей среде, был бичом деревополотняных самолётов при попытках преодолеть рубеж скорости в 300 км/ч.

Беляев занялся изготовлением моделей и продувкой их в аэродинамических трубах (благо, в ЦАГИ последние были «под боком»). В то же самое время в институте, буквально «в каморке под лестницей» в инициативном порядке началась постройка планера, придуманного Беляевым.

По результатам продувок было выяснено, что летательный аппарат с обратной стреловидностью крыла, в принципе, имеет право на жизнь. Однако проявилось множество неведанных ранее эффектов по части устойчивости и управляемости. Так, к примеру, оказалось, что крыло при виде сверху должно напоминать букву «М», то есть кончики консолей нужно всё-таки отогнуть назад.

В авиации вообще имеет большое значение центровка летательного аппарата, то есть взаимное расположение центра масс и центра давлений. К 1930-м годам уже были установлены твёрдые правила для расчётов центровок самолётов классической схемы. А всем экспериментаторам, в том числе и Беляеву, нужно было разрабатывать свои методики расчётов, чтобы их аппараты не теряли равновесия ни на одном режиме полёта. Для этого нужны были продувки, продувки и ещё раз продувки. Ну и, конечно, нешаблонное мышление самих экспериментаторов для того, чтобы превратить некие «точки» на координатной плоскости, полученные в результате продувок в графики, а графики – в формулы.

Перед Беляевым так же остро встал вопрос и управляемости летательного аппарата. Опять же, после череды продувок, было решено разбить крыло летательного аппарата на три части: центроплан и две консоли. При этом консоли должны были создавать максимальную подъёмную силу, а центроплан минимальную. То есть

при крейсерской скорости суммированная подъёмная сила как бы перемещалась вперёд и уравновешивалась полезным грузом. Дополнительно для балансировки в плоскости тангажа (движение вверх – вниз) на режимах взлёта – посадки позади центроплана навешивались добавочные рулевые поверхности – закрылки. Этими закрылками лётчик мог управлять так же, как и рулём высоты, то есть они служили не только для увеличения подъёмной силы на малых скоростях, но и для маневрирования в плоскости тангажа. Стабилизатор с рулём высоты для исключения вредных влияний от потока воздуха, сходящего с крыла, предполагалось максимально поднять, то есть закрепить его на киях. Килей было два, их площадь, равно как и площадь рулей направления, была заведомо большей, чем у самолётов и планеров нормальной аэродинамической схемы.

Для улучшения управляемости в плоскости крена предлагалось оснастить планер большими элеронами, опять же, более крупными, чем на самолётах нормальной аэродинамической схемы. Для предотвращения заклинивания из-за изгиба крыла элероны разбивались на секции. Размах крыла планера – 14,8 м, удлинение – 11,9, нагрузка на крыло 16,5 кг на метр квадратный, аэродинамическое качество – 18. Надо заметить, что нагрузка на крыло довольно большая, то есть не менее, чем в полтора раза превышала аналогичные показатели для планеров нормальной схемы. Аппараты с такой нагрузкой на крыло строил в СССР только студент Королёв, будущий академик.

Фюзеляж планера Беляева – это короткая гондола с открытой кабиной, которая крепилась к центроплану и в восприятии полётных нагрузок не участвовала.

Итак, после почти пяти лет исследований и экспериментов, летом 1934 года на Всесоюзном слёте планеристов в Коктебеле был представлен первый в мире летательный аппарат с обратной стреловидностью крыла, планер ЦАГИ-2 (в литературе иногда называют и БП-2) конструкции Виктора Беляева.

Между прочим, на том же слёте были и два планера с прямой стреловидностью крыла: ЦАГИ-1 конструкции А.А. Сенькова и «П.П. Постышев» конструктора из Харькова П.Г. Бенинга. На тот же слёт привезли и небольшой самолёт, построенный по схеме «летающее крыло» конструкции уже упомянутого Бенинга. То есть экспериментальные полупромышленные конструкции летательных аппаратов в СССР 1930-х годов шли

вполне в ногу со временем, а в чём-то и опережали наработки западных инженеров.

Добавлю для полноты картины: по тому, что для участия в полётах на конкурсе в Коктебеле ГУАП отправлял лучших лётчиков-испытателей, можно понять, что любительские и полупрофессиональные конструкции самолётов и планеров, там представленные, были совсем не безразличны для руководства советской авиационной промышленности.

На слёте 1934 года все три планера со стреловидным крылом показали вполне приемлемые лётные характеристики. ЦАГИ-2 пилотировал лётчик Кошиц, а на планере «П.П.Постышев» лётчик Кудрин даже выполнял фигуры высшего пилотажа. Также сообщается об экспериментах с весьма резким маневрированием на планере Беляева. После слёта эти три аппарата удостоились особой чести: быть отбуксированными из Коктебеля в Харьков «своим ходом», за самолётом-буксировщиком. Остальные планеры и самолёты отправлялись «домой» по железной дороге. А ЦАГИ-2 летел за буксировщиком аж до Москвы.

В течение 1935-36 годов В.Н. Беляев строит уже двухместный планер БП-2 увеличенных размеров. В литературе есть расхождение: в одной книге утверждается, что новый аппарат был готов в 1935, а в другой – в 1936 году. В источниках также различия и название новой конструкции, её называют то БП-2, то БП-3. По виду новый аппарат повторял ЦАГИ-2 с закрытой двухместной кабиной в гондоле. Крыло было увеличено в размахе до 20 м. Удлинение крыла 18,6, нагрузка 18,3 кг на метр квадратный, ещё большая, чем на предыдущем аппарате. Расчётное аэродинамическое качество 27,5. Сообщается, что в реальных полётах в том же Коктебеле было достигнуто качество 33.

Аэродинамика нового планера (то есть упомянутое выше качество) была улучшена из-за применения конструктором крыла типа «чайка», которое само по себе увеличивает устойчивость аппарата в полёте. Это позволило снять стабилизатор с килей, уменьшив тем самым силу сопротивления в движении.

В 1936 году Аэрофлот объявил конкурс на небольшой пассажирский самолёт для местных воздушных линий. Виктор Беляев представил на конкурс эскизный проект двухмоторного самолёта, подобного по схеме на свои ранние планеры. Вместо одной гондолы на самолёте предполагалось разместить две, в каждой—по двигателю М-25 (о нём писалось в очерке про самолёт

Дуглас ДиСи-3/Ли-2). За моторами размещались кабины. Каждая на 7 пассажиров. В левой кабине должен был находиться и пилот. Под полом кабин размещались ниши для убираемого шасси.

Самолёт должен был иметь цельнометаллическую конструкцию. Расчётная скорость достигала 410 км/ч.

Проект вошёл в число победителей конкурса, для его реализации под начало Беляева перевели 5 инженеров из штата ЦАГИ. Таким образом, появилось новое авиационное конструкторское бюро ОКБ-16.

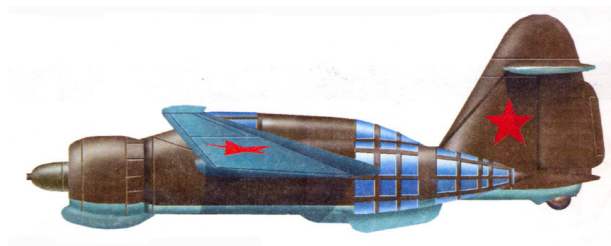
Однако в том же 1936 году, после начала военного мятежа в Испании руководство СССР всё более настойчиво продвигает военное самолётостроение, постепенно сворачивая гражданские программы. Вскоре и Беляеву было предложено пересмотреть свой проект, переделав пассажирский самолёт в бомбардировщик.

С этим бомбардировщиком, оказавшимся первым в мире летающим самолётом с крылом обратной стреловидности и названном ДБ-ЛК (дальний бомбардировщик-летающее крыло) конструктор Виктор Беляев и вошёл в историю мирового самолётостроения.

## 2. Описание конструкции.

Общая схема нового самолёта осталась в целом такой же, как и у предыдущих конструкций Беляева. От более раннего пассажирского самолёта бомбардировщик отличался увеличенными размерами, более мощными двигателями, более сложными органами управления и механизацией крыла. На большом киле крепился стабилизатор с рулём высоты, как на самолёте классической или нормальной схемы.

КРЫЛО самолёта, самая сложная часть конструкции, делилась двумя гондолами на центроплан и две консоли. Центроплан имел большую хорду (более 5 м), профиль его ЦАГИ МВ-6бис. В носке центроплана, в отдельной нише крепились на общем лафете спаренные пулемёты ШКАС. От этих пулемётов в кабину штурмана уходил



ДБ-ЛК. Вид сбоку, раскраска

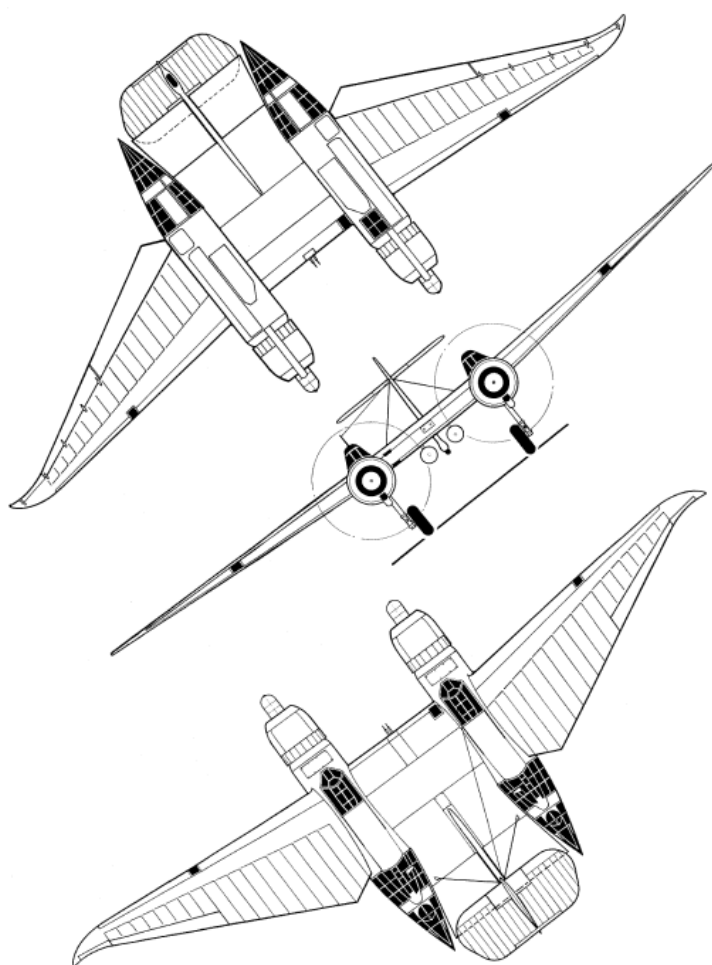
сложный параллелограммный механизм привода. Пулемёты навешивались на передний лонжерон крыла в карданном подвесе и могли качаться вверх-вниз и в стороны. Специальные упоры ограничивали углы качания пулемётов для того, чтобы исключить прострел своей собственной конструкции или винтов.

Лонжероны центроплана крепились к гондолам болтовыми соединениями. Всего лонжеронов было 5 (заметим: для расчёта на кручение пятилонжеронной конструкции нужно применять матричное счисление с матрицей  $6 \times 6$ ; без компьютера такая операция займёт не меньше недели). Обшивка между лонжеронами подкреплялась с внутренней стороны дюралевым гофром, нервюры центроплана были штампованными. Сзади на центроплан навешивалась дополнительная управляемая поверхность для балансировки самолёта в воздухе. Названия для неё во время проектирования ДБ-ЛК ещё не было придумано. Через 40 лет инженеры из США, разрабатывавшие бомбардировщик по разрекламированной технологии «Стелс» аэродинамической схемы «летающее крыло» применили там для балансировки такую же балансировочную управляемую поверхность и назвали её «бобровый хвост». Но, повторюсь, это было уже в конце 70-х годов.

Сам конструктор Беляев кроме аэродинамики очень внимательно относился и к динамике (то есть поведению) самолёта в воздухе своей машины и нашёл, что такой «бобровый хвост» (правда, ещё без названия) необходим. Всё дело в том, что момент инерции «летающего крыла» в плоскости крена всегда намного превышает момент инерции в плоскости тангажа. То есть накренив самолёт в полёте стоит лётчику больших усилий, зато вверх – вниз машина кувыркается очень легко. Это неприемлемо с точки зрения возможностей человека и особенно опасно на режимах взлёта – посадки.

«Бобровый хвост» на самолёте Беляева автоматически отклонялся вверх при выпуске посадочных щитков и призван был парировать момент на пикирование, возникающий при выпуске тех самых щитков.

Консоли крыла имели положительный угол аэродинамической крутки, то есть концы консолей проектировались с большим углом установ-



*ДБ-ЛК. Общая схема самолёта*

ки относительно направления полёта, чем корни этих консолей (угол отклонения +12 град.). Обратная стреловидность по передней кромке консолей 5 град. 42 мин. Профиль Геттингген 387. Снизу консолей навешивались посадочные щитки, здесь уже упоминаемые. Щитки могли отклоняться вниз на 45 град.

Заднюю кромку консолей крыла занимали большие элероны, увеличенные по размаху относительно подобных же поверхностей управления на самолётах нормальной схемы (здесь было повторено решение, применённое в конструкции планеров). Это связано с разницей в моментах инерции всего самолёта, о чём здесь уже говорилось. Элероны делились на секции, чтобы избежать перекосов и заклиниваний и были зависящими, то есть имели две оси качания. На режимах взлёта-посадки они по одной оси отклонялись вниз, играя роль закрылков. По второй оси при этом они имели возможность качаться, играя роль поверхностей управления. Надо заметить,



что поскольку элероны находились впереди центра тяжести самолёта, что является следствием обратной стреловидности, то перевод их в режим закрылков придавал всей машине дополнительный стабилизирующий эффект. Для облегчения работы лётчика элероны были снабжены триммерами с электроприводом.

Основной материал консолей крыла – дюралюминий, по-видимому, со стальными полками лонжеронов. Лонжеронов 2, обшивка между ними, как и на центроплане, подкреплялась гофром. Нервюры штампованные из листа.

На концах консолей устанавливались дополнительные крылышки, отогнутые назад. На этих крылышках, необходимых с точки зрения балансировки всего самолёта, имелись свои отдельные элероны, только уже не зависающие.

Переднюю кромку консолей занимали предкрылки. Они выдвигались автоматически в зависимости от разницы давлений на верхней и на нижней поверхностях крыла.

Самолёт оснащался нормальным Т-образным хвостовым оперением с большими рулевыми поверхностями, снабжёнными триммерами.

Вся конструкция крыла была цельнометаллической, обшивка элеронов и рулевых поверхностей вертикального и горизонтального оперения – тканевой. Некоторые источники говорят, что и обшивка консолей была не дюралевой, а фанерной (это маловероятно, так как стреловид-

ные крылья вообще, а крылья с обратной стреловидностью особенно, испытывают мощные крутильные нагрузки – Ю.К.).

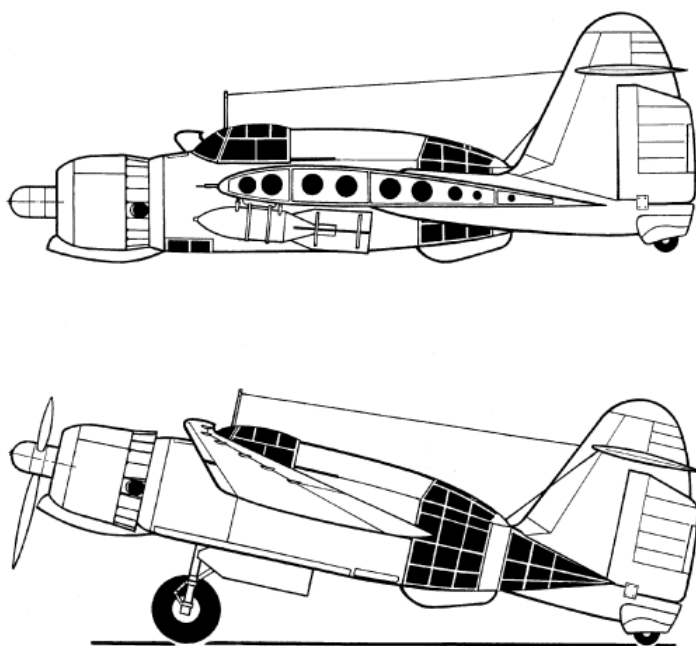
Уже из этого описания читатель может понять, что управление бомбардировщиком было довольно сложным, тем более для 40-х годов прошлого века.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ двойная, оборудование в кабине штурмана повторяло то, что было в кабине пилота. Штурман, таким образом, мог выполнять функции второго пилота в длительном полёте. В проводке управления применялись как тяги, так и тросы.

ШАССИ ДБ-ЛК нормальной схемы с хвостовым колесом. Основные стойки шасси в полёте убирались с поворотом в ниши в гондолах. На основных стойках крепились колёса 900х300 мм с тормозами. Хвостовое колесо в обтекателе, убираемое. Уборка – выпуск основных стоек производилась электромоторами с гидроприводами. Имелась также резервная ручная передача из кабины штурмана для выпуска шасси.

Теперь рассмотрим несколько подробнее компоновку ГОНДОЛ. Носовую их часть занимали двигатели на трубчатых моторах. Предполагалось использовать запорожские моторы М-88 (дальнейшая модификация закупленного по лицензии французского двигателя «Гном-Рон»). Однако после изготовления двух опытных образцов М-88 и гибели в конце 1938 года знаменитого лётчика Валерия Чкалова, взлетевшего на самолёте с одним из этих моторов, производство было остановлено, моторный завод стал объектом пристального внимания карательных органов. Поэтому опытный ДБ-ЛК было решено оснастить менее мощным мотором М-87Б (950 л.с. против 1100 л.с.).

В качестве лирического отступления нужно сказать, что в последние месяцы перед войной и в начале войны в советском авиационном моторостроении сложилась кризисная ситуация. Двигатели жидкостного охлаждения шли нарасхват, производство не удовлетворяло спрос, на самолётостроительных заводах стояли рядами готовые планера без моторов, зато моторы воздушного охлаждения частично шли на склад. Причина этого кризиса, в частности, в той упомянутой выше остановке производства на Запорожском моторном заводе, вследствие чего конструкторы-самолётчики переориентиро-



ДБ-ЛК. Схема. Разрез по центроплану



*ДБ-ЛК. Вид сзади.*

вались на двигатели жидкостного охлаждения (здесь, конечно, нельзя не упомянуть и своеобразную моду: и знаменитый «Мессершмитт», и уже известный «Спитфайр» оснащались именно такими моторами). Двигателями М-88, которые, в конце концов, всё-таки пошли в серию, оснащались только транспортный самолёт Ли-2 и советские бомбардировщики ДБ-3(Ил-4) и Су-2. Все три этих самолёта, особенно последний, выпускались в относительно небольших количествах. Зная обстановку на фронтах первых месяцев войны, можно сказать, что одно из слагаемых первоначальных поражений Красной армии – и в этом моторном кризисе.

Вернёмся к описанию конструкции гондол ДБ-ЛК.

Моторамы двигателей крепились на фланцевые поверхности передних шпангоутов. За двигателями располагались кабины: в левой – пилота, в правой – штурмана. Фонари кабин были несколько смещены в стороны относительно осей симметрии гондол для улучшения обзора вниз. За кабинами шли ниши для уборки шасси и бомбоотсеки. В хвостовой части гондол находились две кабины для стрелков. Эти кабины не входили в силовую схему гондол и крепились на фланцевые поверхности задних шпангоутов.

Всего шпангоутов было три (передний, средний, задний), они соединялись между собой четырьмя продольными балками—лонжеронами. Отдельное усиление имели вырезы под бомболоки.

Впервые в СССР каждая из стрелковых кабин оснащалась двумя пулемётами ШКАС. Причём один находился в самом конце застеклённой кабины, так называемом «стеклянном конусе», а второй – в специальном вращающемся элементе

конструкции, имеющем вид кольца. Весь этот элемент мог вместе с пулемётом качаться по рельсам относительно гондолы примерно так же, как вращается кольцо, надетое на палец. Угол качания – 180 град., привод – ручной и от электродвигателя. На шпангоуте был зубчатый венец, по которому бегала звёздочка привода. При этом пулемёт тоже находился в карданном подвесе и фактически имел

три степени свободы. Таким образом, стрелки из своих пулемётов могли обстреливать любую точку задней полусферы пространства вокруг самолёта. Отстрелянные гильзы и звенья пулемётных лент автоматически сбрасывались в нишу под полом кабин стрелков. Запас патронов – 4500 шт. на 6 пулемётов.

ТОПЛИВНАЯ СИСТЕМА состояла из 13 мягких резиновых баков с протектором на 3444 литра бензина (в центроплане – 5, в гондолах по 1, в консолях по 3). Понятно, что при таком количестве баков все они должны быть соединены трубопроводами с насосами в единую систему.

Итак, кроме агрегатов собственно силовой схемы, систем управления, вооружения и шасси, на самолёте были гидросистема, топливная система, система электрооборудования, приборное оборудование, радиооборудование.

Длина ДБ-ЛК 9,6 м, размах крыла 21,6 м, площадь крыла 56,87 м<sup>2</sup>, высота на земле без винтов 3,62 м, масса пустого 6060 кг, масса взлётная нормальная до 9280 кг, максимальная взлётная 10670 кг.

### **3. История постройки и испытаний**

Самолёт предполагалось строить на опытном заводе при КБ Туполева (в начале 1930-х годов это КБ было выделено из ЦАГИ). Сам Главный конструктор в 1938 году был уже арестован, равно как и значительная часть сотрудников его «фирмы». Поэтому опытное производство было недозагружено и без проволочек взялось за дело. Постановление Комитета обороны при СНК СССР о начале производства и, соответственно, о финансировании, вышло 29.07.1939 года, уже после начала работ.

Надо сказать, что коллектив, тщательно подбираемый, в том числе, и самим Туполевым,



*ДБ-ЛК. Вид сбоку*

справился с изготовлением довольно сложной и необычной машины качественно и в срок. Уже осенью 1939 года было принято решение о начале испытаний.

Но тут начались некоторые осложнения. Дело в том, что лётчики-испытатели, те самые, кто в начале и в середине 1930-х годов с энтузиазмом брали в работу опытные самолёты нетрадиционных схем, к 1940-м годам на собственном, иногда горьком, опыте убедились, что не всё то золото, что блестит. Теперь, повзрослев и набив шишек, испытатели начали осторожничать. Об этом я уже писал в очерке, посвященном Александру Москалёву и его «Стреле». Острословы из НИИ ВВС прозвали машину Беляева «Курицей».

Ведущим лётчиком-испытателем был назначен М.А. Нюхтиков. За штурмана работал военный инженер Т.Т. Самарин.

Нюхтиков не спешил подниматься в воздух, занимался пробежками и подлётами. В ноябре, когда уже выпал снег, дело захотел ускорить А.И. Филин, начальник НИИ. Он сам решил выполнить полёт. Однако начальник попал в аварию, налетев на скорости более 200 км/ч на пень, сломал стойку шасси и погнул винты. В литературе пишут, что летом того 1939 года было решено срочно, в режиме «давай-давай», увеличить взлётно-посадочную полосу аэродрома НИИ ВВС. Полосу увеличили, то есть попилили растущие там деревья, но не все пни выкорчевали.

Самолёт разобрали и повезли в ремонт.

Здесь надо остановиться и сказать, что основная проблема бомбардировщика ДБ-ЛК была ни в недостатках конструкции, ни в прохладном отношении к нему в НИИ ВВС, ни в прочих заках, а в том, что его главный конструктор, по-видимому, не обладал качествами царедворца,

столь необходимыми в условиях установившейся в СССР командно-административной системы. Всё шло относительно хорошо, пока к Беляеву благоволили командующие ВВС Алкснис и Смушкевич. Но они, один за другим, были репрессированы, а главный конструктор, как видно, не расстарался найти нового высокого покровителя. Здесь видится главная причина того, что испытания, которые иные самолёты проходили за три-четыре месяца, для ДБ-ЛК растянулись более, чем на год.

Но вернёмся к испытаниям. Зимой отремонтированный бомбардировщик, уже на лыжах, вновь был собран на аэродроме НИИ ВВС. Однако всё тот же лётчик

Нюхтиков, как и раньше, не очень-то рвался в полёт. В начале февраля 1940 года Беляев даже жаловался на него письменно заместителю наркома авиапромышленности по опытным разработкам А.С. Яковлеву. Наконец 8 марта, видимо, устав получать нагоняи, и, скорее всего, без особого желания, лётчик поднял машину в воздух.

Оказалось, что ДБ-ЛК летает неплохо. Вся программа заводских испытаний была выполнена к середине апреля. Отдельные недочёты по ходу дела быстро устранялись. 25.04 было принято решение о начале государственных испытаний. Самолёт был допущен на первомайский парад на Красной площади для демонстрации вождям партии и правительства. В литературе пишут, что Беляев, не имевший доступа на правительственный верх, очень рассчитывал на этот показ, как, впрочем, и весь его небольшой коллектив. Однако в решающий день получился конфуз. ДБ-ЛК должен был лететь над Москвой за строем бомбардировщиков. Эти самые бомбардировщики подняли при взлёте на земляном аэродроме НИИ ВВС тучу пыли и песка. Песком забились фильтры карбюраторов двигателей Беляевского самолёта, тоже вырвавшегося на старт. Бомбардировщик всё-таки пролетел над Красной площадью, но Сталина на трибуне Мавзолея в этот момент уже не было.

В течение лета в целом была выполнена и программа госиспытаний. В более, чем 100 полётах ДБ-ЛК налетал 45 часов. Самолёт показал скорость 488 км/ч, что примерно на 30 км/ч больше, чем у ДБ-3 (Ил-4). Дальность при израсходовании 1 т топлива была 1290 км. Разбег составил 600–620 м, пробег 550–600 м. Машина нормально летела с одним выключенным двигателем и даже



могла набирать высоту. Были проведены 2 боя с закупленными в Германии «Мессершмиттами» варианта «Е», давшие очень хороший результат. Следовало ожидать, что с применением «родных» двигателей все показатели только улучшатся. Однако были и недостатки. Экипажи (кроме Нюхтикова летали Филин, Холопцев, Кабанов, Стефановский, Дудкин) отмечали тесноту кабин, плохой обзор, в задние кабины попадали выхлопные газы от двигателей. Все недостатки машины были, в основном, следствием отсутствия у коллектива КБ опыта реального проектирования и были устранимы. Государственная комиссия, отметив перспективность и достоинства представленной машины, всё-таки признала её не прошедшей испытания, потребовав срочно переделать её в пикирующий бомбардировщик. Видимо, на командный состав армии и верхушку правительства произвёл очень большое впечатление быстрый разгром Франции, одним из главных слагаемых которого стало успешное применение пикировщиков Юнкерса.

Коллектив КБ вновь взялся за работу. Осенью того года на заводе был построен макет нового варианта машины, но тут произошло событие, поставившее крест на дальнейших работах: в своё КБ вернулся Туполев (ещё в статусе з/к). В отличие от Беляева, патриарх советского самолётостроения обладал качествами человека-тарана и теперь, будучи, повторюсь, в статусе з/к, немедленно потребовал освобождения опытного производства от всех проектов, кроме своего «100» и Петляковского «102» (будущие Ту-2 и Пе-2). Всё, что мешало Туполеву, было выброшено на улицу, а оснастка ещё и порезана на металлолом. Беляев так и не смог добиться возобновления работ.

Сам ДБ-ЛК простоял на приколе до середины октября 1941 года, и был сожжён ввиду приближения немцев.

#### **4. Другие работы Виктора Николаевича Беляева**

Как уже здесь говорилось, в 1930-е годы В.Н. Беляев, кроме проектирования и постройки планеров и самолётов, работал как прочност-расчётчик в ЦАГИ. В этом качестве он участвовал

в разработке проектов самолётов АНТ-16 (большой восьмимоторный бомбардировщик), АНТ-20 (более известный как «Максим Горький»), ТБ-7 (единственный советский тяжёлый бомбардировщик, применявшийся во время Великой Отечественной войны и стоявший на вооружении до 1950 года).

На основании опыта этих работ в 1939 году в серии «Труды ЦАГИ» была издана книга о расчёте на прочность крыла тяжёлых самолётов, за что через год Беляеву было присвоено звание доктора технических наук без защиты диссертации.

В 1940 году герой нашего рассказа предложил ВВС проект высотного истребителя-перехватчика. И этот самолёт отличался оригинальностью. Особенности проекта таковы.

1. Двигатель М-105 (вариант закупленного по лицензии французского «Испано-Сюиза») с турбокомпрессором располагался позади кабины пилота, соответственно, винт был толкающим.

2. Впервые в СССР был применён только что разработанный в ЦАГИ ламинаризованный (т. е. с гладким обтеканием большей его части) профиль крыла.

3. Крыло было стреловидным.

4. Кабина была герметичной, с дверью автомобильного типа и большой площадью остекления.

5. Применялось трёхстоечное убирающееся шасси с носовым колесом.

Истребитель предлагалось сделать в двух вариантах: нормальной схемы, при этом хвостовая часть держалась бы на трубе, проходящей через вал двигателя, и двухбалочной схемы (известной как «рама»). Предполагалось, что скорость машины достигнет 700 км/ч и более.

Проект был принят к постройке и до 22.06.1941 велось реальное изготовление опытного образца. Начавшаяся война прекратила работы.

В августе 1941 года ОКБ-16 было расформировано, Виктор Беляев эвакуирован в Омск, где продолжал работу в качестве расчётчика. Затем он перевёлся в КБ Мясищевя. В этом КБ, а также в ЦАГИ Беляев работал до конца жизни.

В 1949 году В.Н. Беляеву было присвоено звание профессора.

#### **Источники информации**

1. Костенко, И.К. Летаящие крылья / И.К. Костенко. – М., 1985.
2. Маслов, А.М. Утерянные победы советской авиации / А.М. Маслов. – М., 2012.
3. Селяков, Л.Л. Тернистый путь в никуда / Л.Л. Селяков. – М., 1994.
4. Соболев, Д.А. Самолёты особых схем / Д.А. Соболев. – М., 1989.
5. Соболев, Д.А. Экспериментальные самолёты России. 1912–1941 / Д.А. Соболев. – М., 2015.
6. Шавров, В.Б. История конструкций самолётов в СССР. 1938–1950 гг. / В.Б. Шавров. – М., 2001.