

УДК 629.7.085.2

Г. С. Аленченков, аспирант, Ижевский государственный технический университет

А. Э. Пушкарёв, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет

ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ СТАРТОВЫХ УСТРОЙСТВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ МАЛОЙ МАССЫ

Проанализированы функциональные и структурные связи стартовых устройств летательных аппаратов. Рассмотрены основные направления улучшения характеристик устройств.

Ключевые слова: стартовое устройство, летательный аппарат, функционально-структурная модель.

Обширный спектр задач по мониторингу сельскохозяйственных, лесных и других объектов народного хозяйства способны выполнять дистанционно пилотируемые и беспилотные летательные аппараты.

Для взлета беспилотных летательных аппаратов широко используются стартовые устройства типа катапульты [1].

Конструкция катапульты должна обеспечивать надежный запуск летательного аппарата, причем параметры запуска должны быть постоянными при каждом старте. Таким образом, для эффективности запуска и для исключения повреждения дорогостоящей аппаратуры необходимо минимизировать вероятность отказов, влияние человеческого фактора и внешних условий, в том числе погодных.

Основные требования, предъявляемые к конструкции катапульты и автоматики:

- надежность, которая заключается в работоспособности механизма в разных климатических условиях, надежности запуска, исключении повреждений летательного аппарата;

- эргономичность, связанная с минимизацией массогабаритных характеристик, простотой использования автоматики, минимальным временем развертывания, установки и свертывания, мобильности;

- высокие эксплуатационные качества, заключающиеся в долговечности, неприхотливости, ремонтопригодности, пригодности к хранению и утилизации;

- безопасность, состоящая в исключении преждевременного срабатывания пусковых механизмов, а также вероятности нанесения травмы подвижными частями оператору.

Для выбора наиболее рациональной конструкции стартового устройства воспользуемся методами функционально-структурного анализа, сущность которого заключается в рассмотрении объекта не в его конкретной форме, а в совокупности функций, которые он должен выполнять [2]. Структурная модель устройства представлена на рис. 1.

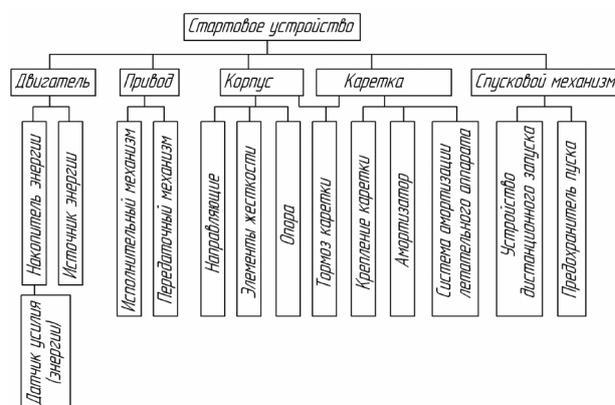


Рис. 1. Структурная модель стартовых устройств

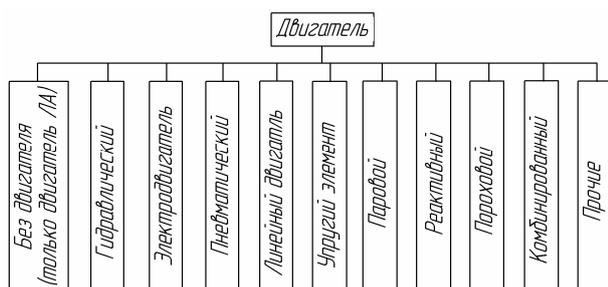
Каждая структура может быть выполнена в различных вариантах. Так, например, источниками энергии могут быть: сжатый воздух, пар, гидравлическая энергия, порох, газ, упругие элементы, линейный электромагнитный двигатель и т. д. Корпус может быть складным, телескопическим, разборным, цельным и т. д. Устройства крепления могут иметь механическое, электромагнитное, вакуумное и прочее исполнение.

Пользуясь структурной моделью, можно провести классификацию стартовых установок по нескольким основаниям: по типу двигателя; по виду движителя летательного аппарата на стартовой установке; по массогабаритным характеристикам запускаемого летательного аппарата; по мобильности (рис. 2).

Структурная модель позволяет рассмотреть статические связи в устройстве. Сущностные связи проявляются в функциональной модели.

Функциональная модель стартового устройства формировалась на основе следующих принципов: соответствие выделяемой функции как частным целям данной составляющей процесса запуска летательного аппарата, так и общим целям, ради которых производится запуск; четкая определенность специфики действий, обуславливающих содержание выде-

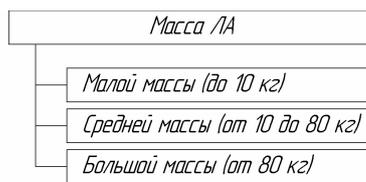
ляемой функции; соблюдение строгой согласованности целей и задач с действиями, составляющими содержание функции [2].



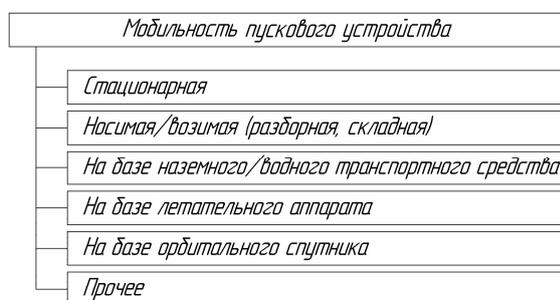
а



б



в



г

Рис. 2. Классификация стартовых установок: а – по типу двигателя; б – по виду движения летательного аппарата (ЛА) на стартовой установке; в – по массе летательного аппарата; г – по мобильности

Функциональная модель, полученная в результате анализа функциональных связей исследуемого процесса, представлена на рис. 3, состав функций приведен в табл. 1.

На первом уровне функциональной модели размещаются главные функции (ГФ). Это внешние для устройства целевые функции, которым подчинены остальные функции.

На втором уровне модели располагаются основные функции (ОФ), связанные с преобразованием или передачей энергии. Первая основная функция ОФ1 осуществляется двигателем. Вторая основная

функция ОФ2 связана с передачей энергии. Третья основная функция ОФ3 выполняется после запуска летательного аппарата. Функция ОФ4 связана с креплением и освобождением летательного аппарата.

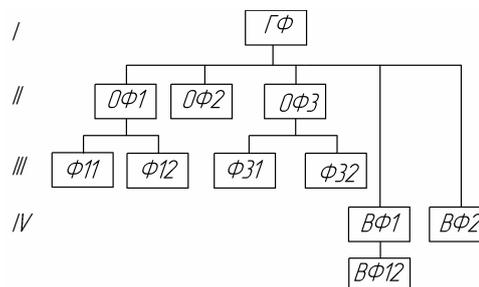


Рис. 3. Функциональная модель стартового устройства: ГФ – главная функция, ОФ – основная функция, Ф – функция, ВФ – вспомогательная функция; I – IV – уровни функциональной модели

Таблица 1. Состав функций

Уровень модели	Индекс функции	Наименование функции
I	ГФ	Пуск летательного аппарата
II	ОФ1	Ускорение летательного аппарата
	ОФ2	Придание направления движения
	ОФ3	Крепление и удержание летательного аппарата во время ускорения
III	Ф11	Передача энергии
	Ф12	Аккумуляция энергии
	Ф31	Расцепка в конце разгона
	Ф32	Торможение каретки
IV	ВФ1	Удержание каретки
	ВФ2	Амортизатор ударных нагрузок
	ВФ11	Предохранение, контроль

На третьем уровне функциональной модели расположены функции (Ф), представляющие собой дифференциацию основных функций.

На четвертый уровень модели помещены вспомогательные функции (ВФ), не связанные с преобразованием или передачей энергии и обеспечивающие выполнение основных функций.

Функциональная модель является открытой – можно добавлять другие главные функции, уточнять основные и т. д.

При построении функциональной модели стартового устройства учтено, что функции верхнего уровня являются отражением целей для функций нижестоящего уровня. В свою очередь нижний уровень функций есть средство обеспечения функций вышестоящего уровня. Выполнение нижестоящих функций является необходимой предпосылкой реализации вышестоящих функций, но при этом они не должны дублировать друг друга [2, 3].

Для поиска новых конструктивно-компоновочных схем пусковых устройств летательных аппаратов, выбора наиболее рациональной конструкции более удобна совмещенная функционально-струк-

турная модель [3] пускового устройства, представленная на рис. 4 и в табл. 2.

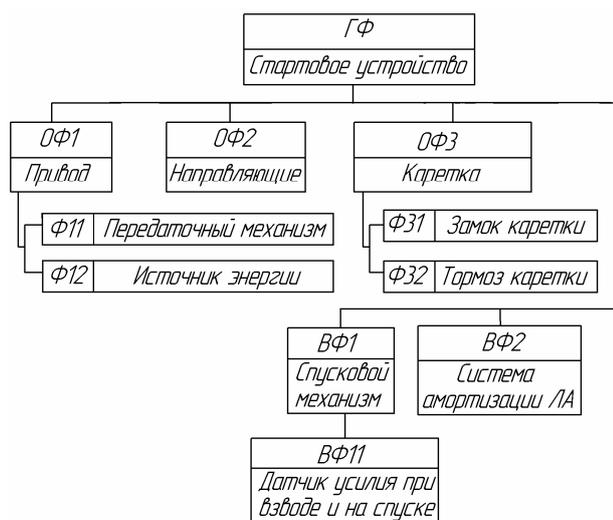


Рис. 4. Функционально-структурная модель стартовых устройств

Из рассмотрения функционально-структурной модели следует, что наибольший вклад в выполнение основной функции ОФ1, а также функций Ф11, Ф12 оказывает двигатель, который может быть гидравлическим, пневматическим, пороховым и т. д. (рис. 2, а).

Исходя из весовых коэффициентов (табл. 2), для летательного аппарата небольшой массы рационально использовать катапульты на основе упругих элементов, чаще всего резиновых тросов. Такие двигатели просты, надежны, предоставляют достаточную мобильность и независимость от источников электроэнергии. К тому же по отношению к другим двигателям, в том числе пороховым и пневматическим, практически бесшумны и не загрязняют окружающую среду.

Однако резиновый двигатель имеет ряд недостатков. Характеристика деформации резинового шнура при растяжении не является прямолинейной и кроме того отличается от характеристик восстановления. В свою очередь характеристика восстановления резины зависит от времени, в течение которого резина находилась в деформированном состоянии, и относительной деформации резины.

Таблица 2. Весовые коэффициенты

Уровень	Индекс функции	Материальный элемент	Вклад материального элемента в исполнение функции
I	ГФ	Пусковая установка	Вероятность отказа $\approx 2\%$
II	ОФ1	Двигатель	КПД $\approx 40\%$, коэффициент полезной упругости
	ОФ2	Направляющие	Отклонение от теоретического направления (отклонение углов пути $\Delta\psi$, наклона траектории $\Delta\theta$)
	ОФ3	Каретка	Жесткость конструкции IE , упругие деформации δ
III	Ф11	Передаточный механизм	Закон изменения передаваемой силы $F(t)$
	Ф12	Аккумулятор энергии	Максимальное значение энергии E_{\max} , диапазон рабочей температуры T , закон передачи энергии от изменения емкости $F(t)$
	Ф31	Выключатель замка	Усилия срабатывания, чувствительность
	Ф32	Тормоз каретки	Отрицательное ускорение $a/g(t)$
IV	ВФ1	Замок каретки	Жесткость замка, упругие деформации
	ВФ11	Динамометр	Точность (чувствительность) прибора ΔF , Н
	ВФ2	Амортизатор	Коэффициент поглощения энергии, E_{II}/E

Отношение возвращенной работы к затраченной носит название коэффициента полезной упругости. Этот коэффициент в зависимости от сорта резины, времени деформации и относительного удлинения при деформации может изменяться в пределах от 35 до 90%. Вследствие явления релаксации напряжений при обычной по времени выдержке на взводе максимальное движущее усилие может упасть в среднем на 20%. Релаксационные и гистерезисные явления, присущие резине при деформации, могут поставить катапульту в невыгодное положение по сравнению с пружинным аналогом, так как подобные явления практически не свойственны пружинам.

Для того чтобы избежать больших потерь на внутреннее трение и, следовательно, максимально увеличить коэффициент упругости резины, а также для того чтобы энергоемкость не снижалась при длительном пребывании катапульты на взводе, необхо-

димо проектировать катапульту так, чтобы относительная деформация резин не превышала 300%. В этом случае характеристика деформации резины с достаточной степенью точности может считаться обратимой и линейной.

При рассмотрении функционально-структурной модели можно сделать вывод, что надежность может быть повышена путем введения дополнительных датчиков усилия на каретку, которые регистрируют возможные отклонения или выход из строя накопителей энергии и самого двигателя пускового устройства. Датчик для анализа усилия взвода – динамометр – может быть как механического, так и электронного исполнения.

Убывающий закон движущей силы в момент старта заставляет повышать прочность конструкции летательного аппарата из-за удара, что, соответственно, требует повышенной прочности летательного

аппарата в момент старта и, как следствие, снижает полезную нагрузку.

Проблема может быть решена несколькими способами: построением импульсной катапульты, где упругие элементы включаются в работу поочередно по мере движения летательного аппарата; введением дополнительных передаточных механизмов; использованием амортизирующих элементов между вагонеткой и летательным аппаратом; комбинированием методов; поиском другого принципа запуска.

Полученная в результате функционально-структурного синтеза катапульта для взлета летательного аппарата представляет собой платформу с устройством сцепки и расцепки, установленную на траверсе с вертикальной осью вращения. Устройство сцепки и расцепки позволяет устанавливать летательный аппарат и содержит специальные криволинейные направляющие [4].

Таким образом, функционально-структурная модель стартовых устройств летательных аппаратов малой массы позволяет: составить наиболее полное

представление о процессе запуска летательного аппарата малой массы; проследить связи в рассматриваемом процессе; выявить наиболее важные функции; обоснованно выбрать конструкцию стартового устройства; наметить пути повышения эффективности и надежности стартовых устройств.

Список литературы

1. Исследования способов пуска дистанционно пилотируемых летательных аппаратов / сб. статей. ; пер. с англ. – М. : ОНТИ МАИ, 1983.
2. Мусеева Н. К., Карпунин М. Г. Основы теории и практики функционально-стоимостного анализа. – М. : Высш. шк., 1988. – 192 с.
3. Гринберг В. Н., Пушкарев А. Э. Функционально-структурный анализ и синтез складных стабилизаторов // Изв. вузов. Машиностроение. – 1998. – № 1–3. – С. 19–26.
4. Пат. на полезную модель 98396 РФ, МПК В64F 1/06. Катапульта / Г. С. Аленченков, А. Э. Пушкарев. – № 2010119280/11; Заяв. 13.05.2010. – Оpubл. 20.10.2010. – Бюл. № 29.

G. S. Alenchenkov, Postgraduate Student, Izhevsk State Technical University

A. E. Pushkarev, Doctor of Technical Sciences, Izhevsk State Technical University

Functional-Structural Model of Starting Devices of Unmanned Small Weight Vehicles

Functional and structural relations of starting devices of unmanned vehicles are analyzed. The basic directions of improvement of the device characteristics are considered.

Key words: starting device, unmanned airborne vehicle, functional-structural model.

УДК 621.7.06

И. С. Аленченков, аспирант, Ижевский государственный технический университет

А. Э. Пушкарев, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет

ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ И СИНТЕЗ МЕХАНИЗМОВ РОТОРНОЙ ЛИНИИ

Проанализированы функциональные и структурные связи роторной линии. Подробно рассмотрена структура механизмов контроля. Предложены пути повышения эффективности их функционирования.

Ключевые слова: роторная линия, механизмы, функционально-структурный анализ и синтез.

Роторная линия – комплекс рабочих машин, транспортных устройств, приборов, объединенных единой системой автоматического управления, в котором изделия, одновременно с обработкой, перемещаются по дугам окружностей совместно с воздействующими на них инструментами. Наиболее распространены автоматические роторные линии для операций, выполняемых посредством прямолинейного рабочего движения (штамповка, вытяжка, прессование, сборка, контроль).

Автоматическая роторная линия состоит из рабочих роторов и транспортных роторов, передающих заготовки с одного рабочего ротора на другой. Помимо основных элементов роторная линия включает

в себя множество других вспомогательных узлов и механизмов.

Технические характеристики и качество роторной линии, как и любой машины, могут быть улучшены с помощью структурно-функционального анализа. При разработке новой конструкции роторной линии необходимо представлять состав машины, функциональное назначение ее составляющих.

Знание структуры роторной линии позволяет уже на этапе проектирования выбрать наиболее рациональные структурные элементы, унифицировать возможные и исключить лишние структуры. В статье [1] рассматривается структурная модель роторной линии. На рис. 1 приведена расширенная и дополнен-

ная структурная модель роторной линии, которая детально отражает взаимосвязь элементов, входящих в систему.

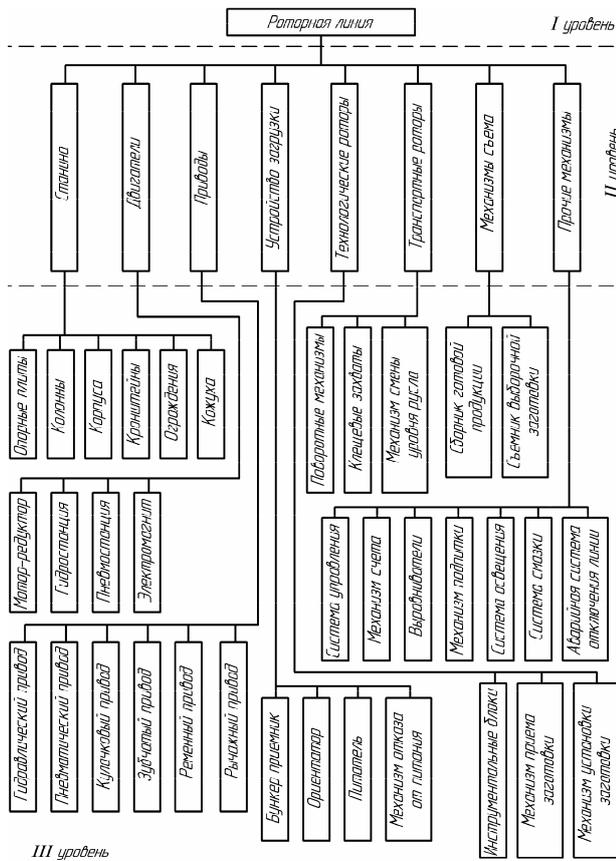


Рис. 1. Структурная модель роторной линии

Представление о функциональности элементов роторной линии имеет не меньшее значение. Функ-

циональная модель роторной линии позволяет: составить наиболее полное представление о процессе работы роторной линии; проследить связи в рассматриваемом процессе; выявить наиболее важные функции; обоснованно выбрать стратегию организации роторной линии; наметить пути повышения объективности, эффективности и надежности роторной линии [2]. На рис. 2 представлена функциональная модель роторной линии, состав функций приведен в табл. 1.

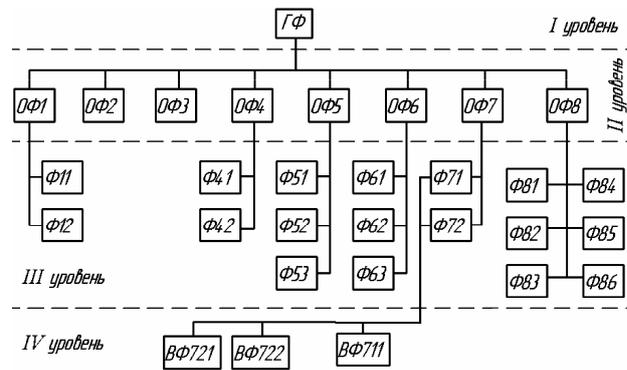


Рис. 2. Функциональная модель роторной линии

Структурная модель отражает только наиболее устоявшиеся, статические связи. Функциональная модель слишком абстрактна. Действительные свойства проявляются через динамические связи, действия и взаимодействия которых происходят в процессе функционирования [2, 3]. Для определения функциональности, полезности материальных элементов, оценки качества исполнения функций, определения функционально-структурной организации построена совмещенная функционально-структурная модель (рис. 3, табл. 2).

Таблица 1. Состав функций

Уровень модели	Индекс функции	Наименование функции
I	ГФ	Получение готовых изделий
II	ОФ1	Связь узлов станка
	ОФ2	Энергетическая функция
	ОФ3	Передача движения и энергии узлам линии
	ОФ4	Загрузка изделий
	ОФ5	Производство технологической операции
	ОФ6	Движение изделий по линии
	ОФ7	Съем изделий с линии
	ОФ8	Повышение производительности
III	Ф11	Увеличение жесткости
	Ф12	Защита операторов от работающих узлов линии
	Ф41	Ориентация изделий
	Ф42	Питание
	Ф51	Механическая обработка/формообразование/сборка
	Ф52	Установка изделий, обеспечивающая требуемую точность обработки/сборки
	Ф53	Зажим, закрепление изделия при обработке
	Ф61	Изменение уровня плоскости русла
Ф62	Поворот изделий	

Уровень модели	Индекс функции	Наименование функции
	Ф63	Передача изделий между технологическими роторами
	Ф71	Выборочный съём изделия между технологическими операциями
	Ф72	Сбор готовой продукции
	Ф81	Управление линией
	Ф82	Аварийная сигнализация/отключение
	Ф83	Выравнивание изделий по руслу
	Ф84	Подпитка (возвращение снятых изделий на линию)
	Ф85	Освещение линии
IV	ВФ711	Сортировка изделий по номерам инструментальных блоков
	ВФ721	Определение номера инструментального блока и снятой заготовки
	ВФ722	Вывод изделия за ограждение роторной линии

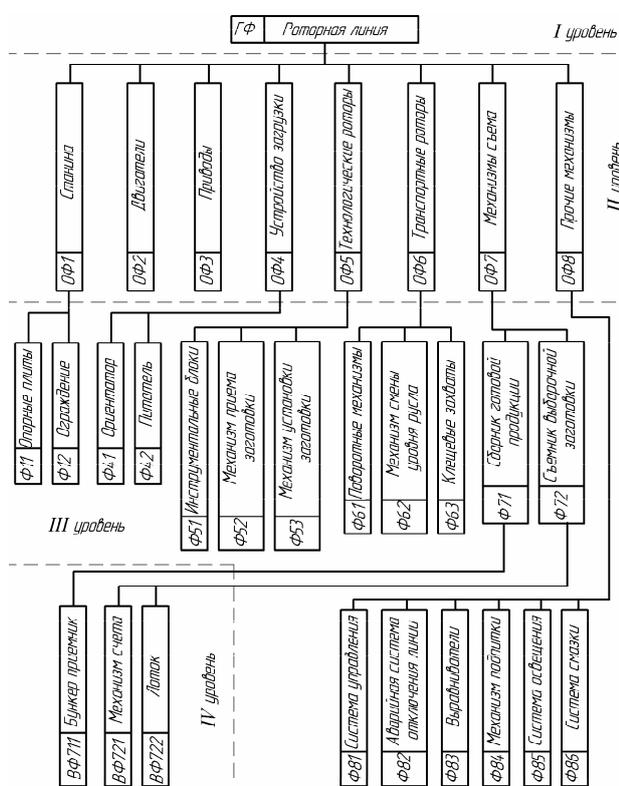


Рис. 3. Функционально-структурная модель роторной линии

Рассмотрим основную функцию ОФ7, функции Ф71 и структуры, их реализующие. Основная функция ОФ7 может быть реализована устройствами съема, которые устанавливаются для выборочного контроля с целью уменьшения затрат времени на контроль изделий и технического состояния инструмента автоматической линии между операциями обработки или сборки на транспортных роторах или передающих устройствах. Также в некоторых случаях эти механизмы должны обеспечивать возможность установить номер инструментального блока, на котором производилась обработка или сборка данного изделия с целью мониторинга инструментальных блоков, выявления причин, приведших

к тому или иному отклонению от требований на данной операции, и принятия соответствующих мер (ремонт, замена, исключение блока из процесса обработки и т. д.).

Автоматические механизмы съема могут приводиться в движение за счет электромагнита, гидро-, пневмоцилиндра, электродвигателя. Из структурной модели следует, что в некоторых случаях целесообразно использовать подвижные части линии с помощью кулачковых, зубчатых или рычажных механизмов.

При выборе привода решающую роль играет скорость срабатывания механизма и возврат его в исходное положение (см. табл. 2), так как скорость движения изделий по руслу может быть значительной, а удары выбрасывателей об изделие не допускаются. Также важна точность момента срабатывания (табл. 2), которая обеспечивается устройствами счета, – магнитными (оптическими) датчиками, либо конструктивно путем применения кулачка или системы лотков. Механизм счета позволяет установить номер инструментального блока, на котором было обработано изделие, снятое для контроля, а также избежать недопустимых ударов или поломки из-за несвоевременного срабатывания съёмника.

Рычажный электромеханический съёмник применяется в тех случаях, когда конструктивно невозможно или нецелесообразно устанавливать кулачок. Электромагнит, приводящий в движение механизм, превосходит по скорости срабатывания иные приводы, а выполненный совместно с механизмом счета позволяет максимально упростить механическую часть конструкции. Пользуясь функционально-структурной моделью, учитывая весовые коэффициенты материальных элементов, была синтезирована конструктивная схема механизма съема изделия, получившая положительное решение патентной экспертизы (рис. 4) [4].

Синтезированное устройство устраняет основной недостаток существующих механизмов съема заготовок с роторной линии, который заключается в ударном воздействии рычага толкателя на перемещаемые детали, что снижает долговечность конструкции

и отрицательно сказывается на самих деталях. В устройстве решена задача создания безударного толкателя повышенного быстродействия. При этом рабочий

профиль толкателя выполнен в форме синусоиды, а двигателем служат тянущий электромагнит и возвратная пружина.

Таблица 2. Весовые коэффициенты

Функция	Материальный элемент	Вклад материального элемента в выполнение функции
ГФ	Роторная линия	Номинальная производительность N , шт. / мин
ОФ1	Станина	Коэффициент запаса жесткости $n = 1,2 \dots 1,5$
ОФ2	Двигатель	Коэффициент полезного действия $\eta = 20 \dots 40 \%$
ОФ3	Привод	Коэффициент полезного действия $\eta = 80 \dots 95 \%$
ОФ4	Устройство загрузки	Вероятность заклинивания при загрузке заготовок, приведшей к аварийной ситуации в период работы линии, $1 \dots 2 \%$
ОФ5	Технологический ротор	Коэффициент загрузки оборудования $K_{з.о} = 1$
ОФ6	Транспортный ротор	Максимальная окружная скорость $V = 0,5$ м/с
ОФ7	Механизмы съема	Безотказность механизма в период работы $k = 0,95$
ОФ8	Вспомогательные механизмы	Производительность $N_{г}$, шт./г.
Ф11	Опорные плиты	Коэффициент запаса жесткости $n = 1,5 \dots 2$
Ф12	Ограждение	Звукоизоляция $70 \dots 85$ дБ; исключение возможности травмирования рабочих и операторов 95%
Ф41	Ориентатор	Вероятность неправильной ориентации, приведшей к аварийной ситуации в период работы линии, $2 \dots 5 \%$
Ф42	Питатель	Вероятность срабатывания 95%
Ф51	Инструментальные блоки	Коэффициент использования металла (КИМ) $80 \dots 95 \%$
Ф52	Механизм установки изделия	Погрешность установки от суммарной погрешности $0 \dots 30 \%$
Ф53	Механизм зажима изделия	Запас усилия зажима $n_{зж} = 1,5 \dots 2$
Ф61	Поворотные механизмы	Угол поворота $0 \dots 180^\circ$
Ф62	Механизмы смены уровня русла	Высота подъема / опускания изделия h , мм
Ф63	Клещевые захваты	Запас усилия зажима $n_{зж} = 2 \dots 2,5$
Ф71	Сборник готовой продукции	Относительный объем сборника $N_{сб}$, шт.
Ф72	Съемник выборочной заготовки	Время срабатывания (затраченное время / допустимое время) $0,7 \dots 0,9$
Ф81	Система управления	Оснащенность (оснащенные узлы / общее количество узлов) $0,4 \dots 0,8$
Ф82	Аварийная сигнализация / отключение	Вероятность срабатывания $95 \dots 99 \%$
Ф83	Выравниватели	Угол наклона плоскости выравнивания (высота/длина) $\operatorname{tg} \alpha = 0,2$
Ф84	Механизм подпитки	Вероятность возврата $90 \dots 95 \%$
Ф85	Система освещения	Освещенность 200 лк
Ф86	Система смазки	Полезный расход (объем охлаждающей жидкости / объем затраченной жидкости) $0,1 \dots 0,2$
ВФ711	Бункер приемник	Уровень сортировки (количество лотков бункера / число инструментальных блоков ротора) $k = 0,08$; $k = 0,17$; $k = 1$
ВФ721	Механизм счета	Вероятность неверного определения номера, отказа механизма в период работы линии $1 \dots 2 \%$
ВФ722	Лоток	Полезная площадь (максимальная площадь сечения изделия / площадь сечения лотка) $0,05 \dots 0,01$

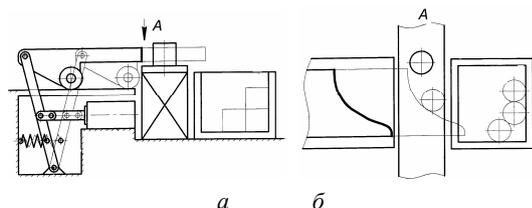


Рис. 4. Устройство толкателя: а – общий вид; б – вид сверху

Таким образом, предложенная функционально-структурная модель роторной линии позволяет вести целенаправленный синтез механизмов линии. Окончательный выбор схемы выбранного механизма, а также его параметров возможен с помощью математической модели, отражающей наиболее общие особенности работы синтезируемых механизмов.