

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.

**Р**оторная 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.

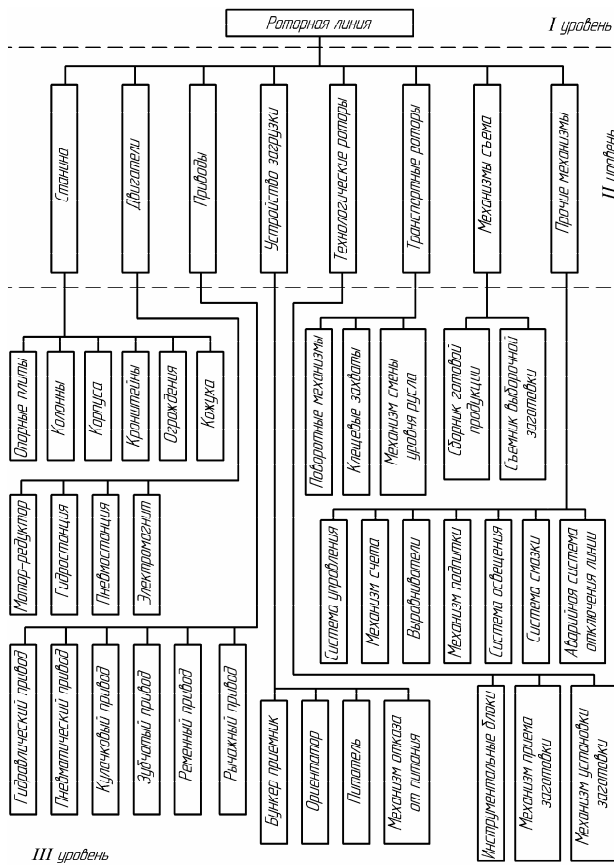


Рис. 1. Структурная модель роторной линии

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.

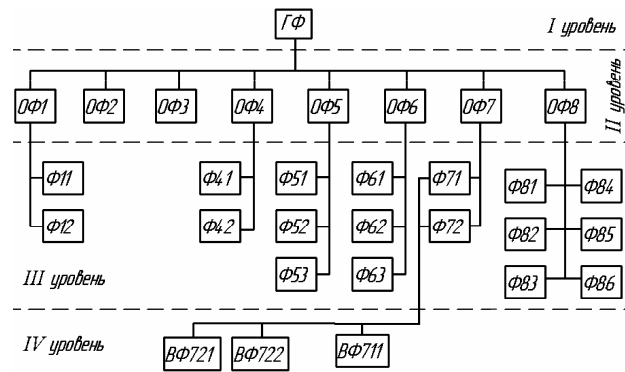


Рис. 2. Функциональная модель роторной линии

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 съем 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

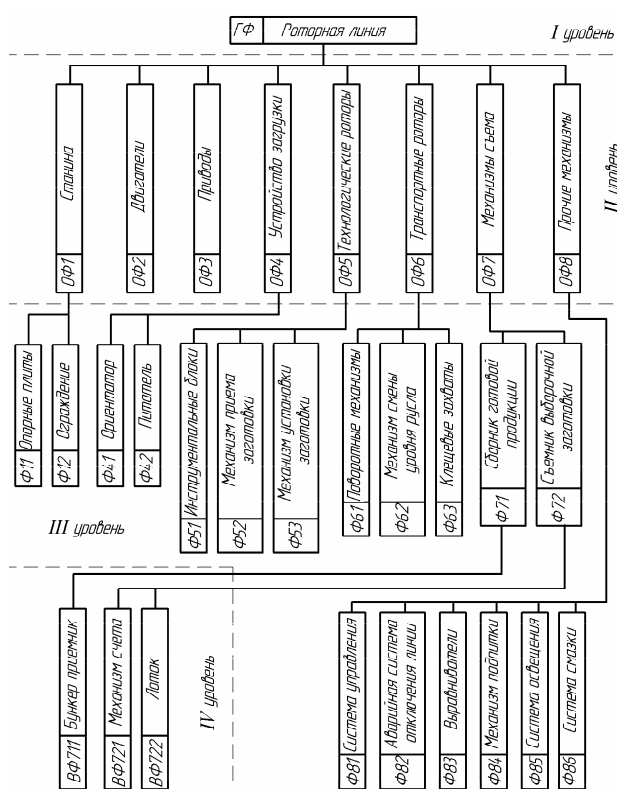


Рис. 3. Функционально-структурная модель роторной линии

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 счѐта, – магнитными (оптическими) датчиками, либо конструктивно путем применения кулачка или системы лотков. Механизм счѐта позволяет установить номер инструментального блока, на котором было обработано изделие, снятое для контроля, а также избежать недопустимых ударов или поломки из-за несвоевременного срабатывания съѐмника.

Рычажный электромеханический съѐмник 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 счѐта 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) $0,05 \dots 0,01$

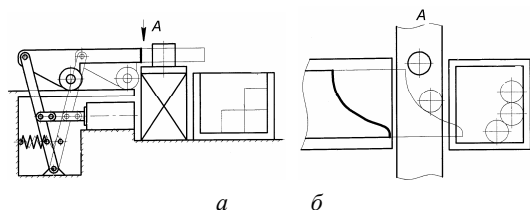


Рис. 4. Устройство толкателя: а – общий вид; б – вид сверху

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.

**Список литературы**

1. Аленченков И. С. Использование функциональной и структурной моделей для выбора механизма съема роторной линии // Будущее машиностроения России : сб. тр. Всерос. конф. молодых ученых и специалистов. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. – С. 59–62.

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 101435 РФ, МПК В65G 47/82. Конвейерный толкатель / И. С. Аленченков, А. Э. Пушкарев. – № 2010118816/11; Заяв. 11.05.2010. – Оpubл. 20.01.2011. – Бюл. № 2.

G. S. Alenchenkov, Postgraduate Student, Izhevsk State Technical University  
A. E. Pushkarev, Doctor of Technical Sciences, Izhevsk State Technical University

**The Functional-Structural Analysis and Synthesis of Rotary Line Mechanisms**

*Functional and structural relations of rotary line are analyzed. The structure of control mechanisms is considered in detail. Ways of increase of efficiency of their functioning are offered.*

**Key words:** rotary line, mechanisms, functional-structural analysis and synthesis.

УДК 623.19.47

**А. П. Куляшов**, доктор технических наук, профессор, Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

**В. А. Шапкин**, доктор технических наук, доцент, Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

**А. А. Кошурина**, кандидат технических наук, Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

**М. С. Крашенинников**, студент, Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

**ТЕХНИКА ДЛЯ ИЗОЛЯЦИИ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ**

*Настоящая работа посвящена анализу состояния российских нефтегазопроводов, а также технике, заменяющей их изоляцию. Выявленные недостатки переизоляционной техники предлагается устранить созданием связи с грунтом, находящимся в траншее, что обеспечивается добавлением в конструкцию роторно-винтового движителя. Приводится расчет погружения ротора в грунт, тягового усилия машины, а также значений преодолеваемых углов горизонтального уклона. Полученные результаты расчета позволяют говорить о перспективности предлагаемого технического решения.*

**Ключевые слова:** роторно-винтовой движитель, трубопроводный транспорт, изоляция нефтегазопровода, прокладка трубопровода, грунт, траншея.

Основная сеть трубопроводов в России была создана в середине 60-х годов прошлого века. Специалисты заложили срок ее эксплуатации в 25–30 лет, таким образом, к настоящему времени большая часть нефтегазовых сооружений уже выработала плановый ресурс на 60–70 % [1, 2, 3]. Распределение нефтегазопроводов по годам использования приведено в табл. 1 [4, 5].

**Таблица 1. Состояние основных фондов нефтегазодобывающей отрасли на 2009 г.**

Срок эксплуатации, лет	Эксплуатируемая доля трубопроводов, %	
	Газопроводов	Нефтепроводов
10 лет и менее	10,8	7
От 11 до 20	22,3	24
От 21 до 33	42,6	38
Более 33 лет	24,3	31

По состоянию на 2007 г. общая протяженность линейной части магистральных трубопроводов России составляла порядка 242 тыс. км, из которых 166 тыс. км – магистральные газопроводы; 51,4 тыс. км – магистральные нефтепроводы; 22 тыс. км – магистральные продуктопроводы; 1,4 тыс. км – аммакопроводы [2]. Основная часть газопроводов (60 % и более) состоит из труб большого диаметра (1020 мм и более).

По данным Министерства энергетики США, до 70 % российских нефтепроводов требуют капитального ремонта. Срок службы стальных труб без изоляционного покрытия на нефтепромыслах может составить от 6 месяцев до 5 лет, причем основной причиной выхода из строя (90 % случаев) является внутритрубная и наружная коррозия. В 1998 г. произошло почти 30 тысяч разрывов внутритрубных нефтепроводов. По данным 2004 г. в России