

Выбор оборудования для изготовления эжектора с применением методики исследования бенчмаркинга и функционального анализа

Д.А. Рычков^а, О.Ю. Шмакова^б

Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия

^а rychkovda@gmail.com, ^б shtytgard@gmail.com

^а <https://orcid.org/0000-0002-9323-7693>, ^б <https://orcid.org/0000-0002-7656-8415>

Статья поступила 12.08.2024, принята 17.09.2024

В статье представлено исследование процесса изготовления эжектора экструдированием, анализ экструдеров на основе бенчмаркинга, а также функциональный анализ оборудования для требуемых производственных задач с выявлением адекватности выполнения функций. Одной из главных проблем экструдирования эжектора является наличие дефектов, из-за которых становится невозможной эксплуатация изделия. Большую роль в получении качественной структуры полимерной части эжектора играет оборудование для формообразования. В настоящей работе исследуется ряд экструдеров, широко применяемых на производстве, с целью выбора оптимального оборудования для изготовления эжектора с учетом требований производства. Для анализа оборудования по методике бенчмаркинга отобраны 6 экструдеров разных производителей. Критериями оценки являлись производительность, диаметр и частота вращения шнека, мощность привода, габаритные размеры, масса экструдера, перерабатываемый материал и стоимость. Для каждого критерия оценки были назначены весовые коэффициенты по 5-балльной шкале. Наибольший вес имеют диаметр шнека и стоимость экструдера. По результатам расчетов для изготовления эжектора рекомендованы два экструдера с разными характеристиками. На основе функционального анализа показано, что конструктивные элементы экструдера выполняют как адекватные функции, так и вредные. Установлено, что шнек экструдера недостаточно перемешивает и прогревает материал, а нагревательные элементы осуществляют нежелательный нагрев близлежащих компонентов. Решение этих проблем лежит в области совершенствования конструкции экструдера, применения других конструкций шнеков, увеличения внутренней части корпуса и термоизоляции нагревателя от окружающей среды.

Ключевые слова: бенчмаркинг; функциональный анализ; эжектор.

Selection of equipment for the manufacture of an ejector using benchmarking and functional analysis research techniques

D.A. Rychkov^а, O.Yu. Shmakova^б

Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

^а rychkovda@gmail.com, ^б shtytgard@gmail.com

^а <https://orcid.org/0000-0002-9323-7693>, ^б <https://orcid.org/0000-0002-7656-8415>

Received 12.08.2024, accepted 17.09.2024

The article presents a study of the process of manufacturing an ejector by extrusion, an analysis of extruders based on benchmarking, as well as a functional analysis of equipment for the required production tasks, identifying the adequacy of the functions. One of the main problems with ejector extrusion is the presence of defects, which makes it impossible to operate the product. Forming equipment plays a major role in obtaining a high-quality structure of the polymer part of the ejector. In this paper, a number of extruders widely used in production are examined in order to select the optimal equipment for the manufacture of an ejector, taking into account production requirements. To analyze the equipment using the benchmarking method, 6 extruders from different manufacturers are selected. The criteria for evaluating extruders are productivity, screw diameter, screw rotation speed, drive power, overall dimensions, extruder weight, processed material and cost. For each evaluation criterion, weighting coefficients are assigned on a 5-point scale. The greatest weight has the diameter of the screw and the cost of the extruder. Based on the calculation results, two extruders with different characteristics are recommended for the manufacture of the ejector. Based on functional analysis, it is shown that the structural elements of the extruder perform both adequate and harmful functions. It has been found that the extruder screw does not sufficiently mix and heat the material, and the heating elements produce unwanted heating of nearby components. The solution to these problems lies in improving the design of the extruder, using other screw designs, increasing the internal part of the housing and thermally insulating the heater from the environment.

Keywords: benchmarking; functional analysis; ejector.

Введение. Конструкция эжекторов для работы в агрессивной кислотной среде предполагает совмещение прочного металлического корпуса и полимерного материала для защиты корпуса от коррозии. Исследуемый эжектор имеет конструкцию, представленную на рис. 1. Он имеет корпус из алюминиевого сплава и внутреннюю часть, выполненную из смеси полиэтилена высокого давления и полипропилена, которые устойчивы к воздействию различных кислот и хорошо поддаются экструдированию [1–5].

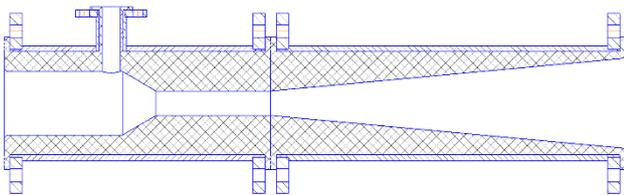


Рис. 1. Конструкция эжектора

Производство эжектора состоит из нескольких этапов: подготовительного, где происходит прогревание формующей головки и экструдера и дальнейшее их соединение; основного, с заполнением формующей головки; заключительного, где производится охлаждение формующей головки, отсоединение ее от экструдера, разборка формующей головки и извлечение детали (эжектора).

Одной из главных проблем экструдирования эжектора является наличие дефектов, из-за которых становится невозможной эксплуатация изделия. При производстве исследуемого эжектора преобладали

дефекты, связанные с наличием трещин, внутренних пор, завоздушенных полостей и задигов поверхности [4]. За счет снижения скорости охлаждения полимерного материала, уменьшения объема экструдированного материала и оптимизации конструкции металлической части эжектора снижается количество дефектов, однако технологический процесс его изготовления необходимо совершенствовать.

Большую роль в получении качественной структуры полимерной части эжектора играет оборудование для формообразования. В настоящей работе исследуется ряд экструдеров, широко применяемых на производстве, с целью выбора оптимального оборудования для изготовления эжектора с учетом требований производства.

Прогрессивным методом поиска оптимальных решений производства является бенчмаркинг — процесс сравнения товаров, услуг или оборудования с другими на рынке и в отрасли с целью повышения конкурентоспособности. Бенчмаркинг делится на несколько видов (рис. 2), среди которых для настоящего исследования наиболее близок товарный бенчмаркинг по объектам сравнения [6; 7].

Таким образом, целью исследования является совершенствование процесса изготовления эжектора экструдированием. В задачи исследования входит анализ экструдеров и выбор на основе бенчмаркинга рационального оборудования для решения производственной задачи, а также функциональный анализ для выявления адекватности выполнения экструдером своих функций.



Рис. 2. Классификация видов бенчмаркинга

Методика исследования. Методика бенчмаркинга предполагает проведение следующих этапов [8–16]:

1. Определение целей и параметров исследования;
2. Сбор данных об объекте исследования, которым в настоящей работе является экструдер, включая тип оборудования, его параметры, затраты, производительность и энергопотребление;
3. Идентификация сравнительных объектов и выбор наиболее подходящего оборудования для успешного выполнения операции;

4. Анализ и сравнение объектов с идентификацией ключевых различий и сходств в процессах и результатах;

5. Формирование плана по улучшению производства продукции с определением перечня мероприятий по внедрению для достижения результатов;

6. Внедрение изменений и мониторинг;

7. Оценка результатов.

В качестве основных критериев оценки экструдеров выбраны следующие:

1. Производительность — объем продукции, производимый в единицу времени, оказывает влияние ввиду наличия ручной работы и необходимости постоянной перезарядки формирующей головки, имеет среднюю степень значимости;

2. Диаметр шнека — влияет на способность экструдера заполнять большие формы и является весьма важным показателем при переработке больших объемов сырья;

3. Частота вращения шнека — влияет на равномерный прогрев и перемешивание сырья, имеет среднюю степень значимости;

4. Мощность привода — оказывает влияние на производительность и общий функционал оборудования, является важным показателем для требуемого производства;

5. Габаритные размеры — влияют на занимаемое место в цеху, для данного случая имеют среднюю степень значимости;

6. Масса экструдера — оказывает влияние на транспортные расходы, имеет среднюю степень значимости;

7. Перерабатываемый материал — способность станка работать с несколькими видами материалов. В настоящей работе используется широко распространенный материал, который применим в большинстве экструдеров, поэтому данный показатель имеет низкую значимость;

8. Стоимость — связана с ограничением бюджета, имеет высокую степень важности.

Таким образом, для каждого критерия оценки были назначены весовые коэффициенты по 5-балльной шкале (табл. 1).

Таблица 1. Критерии оценки и их весовые коэффициенты

Параметр	Единицы измерения	Вес
Производительность	кг/ч	3
Диаметр шнека	мм	5
Частота вращения шнека	мин ⁻¹	3
Мощность главного привода	кВт	4
Габаритные размеры (ДхШхВ)	мм	3
Масса	кг	3
Перерабатываемый материал	виды	2
Стоимость	р.	5

Для выявления и оценки функций всех элементов технологического процесса получения эжектора проводится функциональный анализ с оценкой выполняемых элементами функций по критериям полезности, относительной значимости, качества выполнения и уровня затрат на выполнение. Это позволит выявить недостатки компонентов технической системы.

Функциональный анализ технической системы состоит из трех этапов [17–21]:

1. Компонентный анализ — это анализ технической системы, основанный на выявлении частей

(компонентов), из которых она состоит. Результатом компонентного анализа является компонентная модель, включающая все выявленные части технической системы, предназначенной для выполнения основной функции, и надсистемы, содержащей анализируемую техническую систему как компонент;

2. Структурный анализ — это анализ технической системы, основанный на выявлении взаимодействий между элементами самой системы и элементами надсистемы;

3. Функциональное моделирование. На заключительной стадии функционального анализа строится функциональная модель анализируемой технической системы, которая содержит функции компонентов, их полезность и уровень выполнения, а также стоимость компонентов системы и надсистемы. При этом функция может быть как полезной, меняющей параметр объекта функции в требуемом направлении, так и вредной, ухудшающей параметры объекта функции. Полезная функция разделяется на уровни ее выполнения, которые определяются разницей между требуемым значением и фактическим значением параметра.

Обозначения, применяемые для создания функциональной модели:

1. Функции:

- основная функция (О);
- вспомогательная функция (В);
- дополнительная функция (Д);

2. Уровни выполнения функции:

- вредный;
- недостаточный;
- избыточный;
- адекватный.

Таким образом, функциональный анализ позволит выявить компоненты технической системы, выполняющие функции неадекватно, и сформировать мероприятия по их устранению.

Бенчмаркинг. В качестве исследуемых экструдеров выбраны 6 марок, широко используемых в промышленности, из каталогов производителей (<https://polimech.ru/>; <https://www.polimer-servis.ru/>). Характеристики экструдеров представлены в табл. 2.

Сравнение экструдеров, применяемых для изготовления эжектора, проводится по методу субъективных оценок по 5-балльной шкале: по каждому параметру из табл. 1 для каждой марки экструдера дана субъективная оценка эффективности обеспечения критериев. Расчет итоговой оценки производился по формуле:

$$I_i = \sum_{j=1}^n C \cdot B_j,$$

где I — итоговая оценка; C — субъективная оценка; B — весовой коэффициент (вес); i — номер экструдера; j — номер критерия.

Диаграмма анализа параметров экструдеров (рис. 3) показывает, что экструдер SJ-150/25 лидирует по большинству показателей, при этом он габаритнее, тяжелее и дороже остальных станков. Экструдер ЭПС 90x25 показывает оценки выше среднего, но при этом остается таким же дорогим, как и экструдер SJ-150/25.

Экструдер ЭПС 63х30 по своим показателям схож с ЭПС 90х25, но при этом уже значительно дешевле. Экструдеры ЭПС 45х30 и ЭПС 20х25 уступают предыдущим моделям по производительности, диаметру шнека и мощности главного привода, при этом они дешевле, легче и компактней. Экструдер SLE 1-70 значительно проигрывает остальным моделям, он дорогой, но при этом не такой мощный, а также имеет средние и ниже средних баллы по оценке.

По методике бенчмаркинга первое место занимает экструдер SJ-150/25 с самыми высокими

характеристиками, стоимостью 13 500 тыс. р. Немного уступают ему экструдеры ЭПС 63х30 и ЭПС 45х30 стоимостью 3 120 и 2 830 тыс. р. соответственно. Таким образом, можно полагать, что для выполнения задачи по получению качественного эжектора подходят все три марки экструдеров, и целесообразно выбрать тот, который имеет среднюю стоимость. Оптимальным выбором по данному анализу будет экструдер ЭПС 63х30 или SJ-150/25.

Таблица 2. Характеристики экструдеров

Критерии	Марка экструдера					
	ЭПС 63х30	SLE 1-70	SJ-150/25	ЭПС 45х30	ЭПС 20х25	ЭПС 90х25
Производительность, кг/ч	до 180	120	700	до 70	до 10	до 250
Диаметр шнека, мм	63	70	150	45	20	90
Частота вращения шнека, мин ⁻¹	125	125	125	125	125	125
Мощность главного привода, кВт	75,0	37	250	30,0	2,2	90
Габаритные размеры (ДхШхВ), мм	2500×1000×1300	4150×1210×1555	–	1700×1000×1300	1360×1200×1200	4700×1300×1400
Масса, кг	1 300	2 200	–	105	200	3 000
Перерабатываемый материал	ПЕНД, ПЕВД, ПП, АВС	ПВД, ПНД, ПП, ПА, АВС-пластик, ПС	ПЕНД, ПЕВД, ПП, АВС	ПЕНД, ПЕВД, ПП, АВС	ПЕНД, ПЕВД, ПП, АВС, ПА, ПВХ	ПВХ, ПА, ПК
Стоимость, тыс. р.	3 120	5 000	13 500	2 830	1 350	10 750

Таблица 3. Результаты субъективного анализа экструдеров

Марка экструдера	Производительность	Диаметр шнека	Частота вращения шнека	Мощность главного привода	Габаритные размеры (ДхШхВ)	Масса	Перерабатываемый материал	Стоимость	Итоговая оценка	Место
Весовой коэффициент	3	5	3	4	3	3	2	5	–	–
SJ-150/25	5	5	5	5	2	1	5	1	99	1
SLE 1-70	3	3	5	2	3	3	5	2	85	6
ЭПС 63х30	3	3	5	3	4	3	5	3	97	2
ЭПС 45х30	2	2	5	2	5	4	5	4	96	3
ЭПС 20х25	1	1	5	1	5	5	5	5	92	5
ЭПС 90х25	4	4	5	4	3	2	5	1	93	4

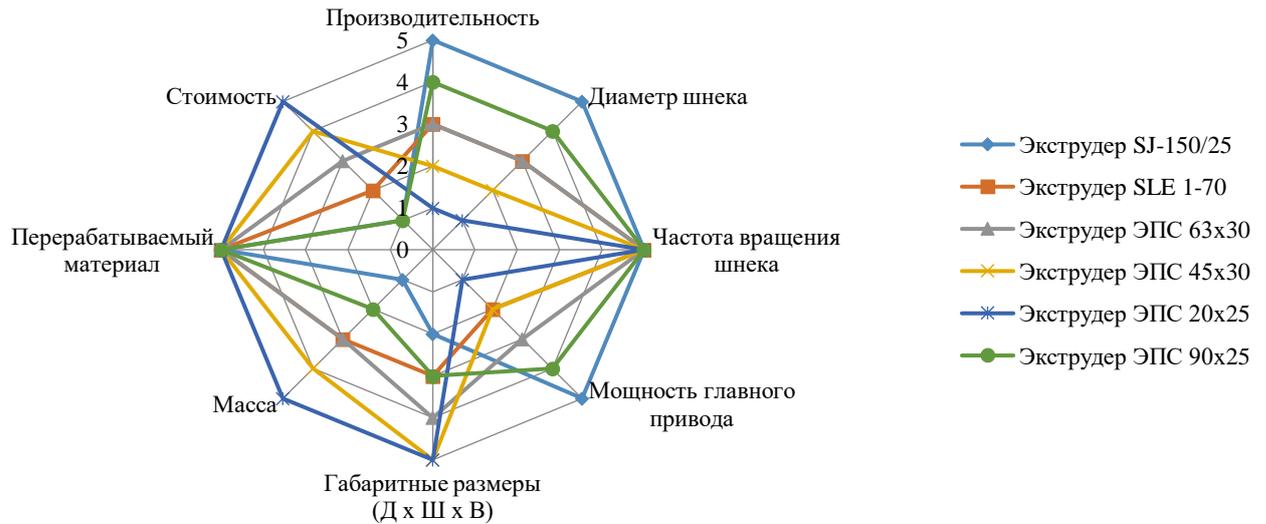


Рис. 3. Диаграмма анализа параметров экструдеров

Функциональный анализ. Для проведения функционального анализа необходимо провести сравнение показателей функций и процессов, обеспечиваемых всеми элементами технической системы и надсистемы. Технической системой выступает экструдер, а надсистемой — обрабатываемый материал и окружающая среда.

Компонентный анализ экструдера можно представить в виде схемы (рис. 4) с обозначением основных компонентов. Экструдер работает следующим образом. В бункер 5 загружается исходное сырье 8, которое попадает в корпус 2 экструдера, подогреваемый нагревателями 3. В корпусе расположен шнек 4, получающий вращение от редуктора 6 посредством электродвигателя главного привода 7. Вращение шнека приводит к перемещению материала в корпус к фланцу для крепления формующей головки 1. За счет нагрева корпуса материал принимает необходимую вязкость для заполнения формующей головки.

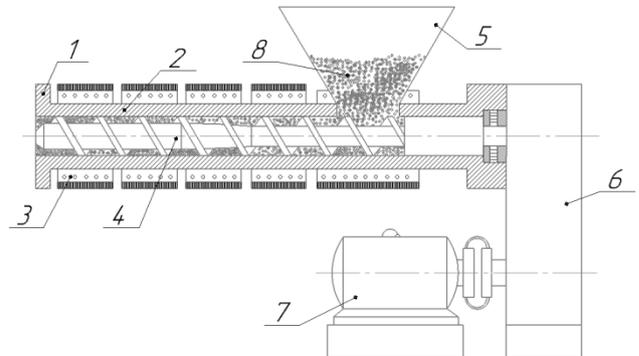


Рис. 4. Схема экструдера: 1 — фланец для крепления формующей головки; 2 — корпус экструдера; 3 — нагреватели; 4 — шнек; 5 — бункер; 6 — редуктор; 7 — электродвигатель главного привода; 8 — исходное сырье в виде гранул

На основе компонентной модели составлена матрица (структурная модель) взаимодействия компонентов между собой.

Таблица 4. Матрица взаимодействия компонентов

Компоненты	Фланец	Корпус	Нагреватель	Шнек	Бункер	Редуктор	Электродвигатель	Материал
Фланец		+	-	-	-	-	-	-
Корпус	+		+	+	+	+	-	+
Нагреватель	-	+		+	-	-	-	-
Шнек	-	+	+		+	+	-	+
Бункер	-	+	-	+		-	-	+
Редуктор	-	+	-	+	-		+	-
Электродвигатель	-	-	-	-	-	+		-
Материал	-	+	+	+	+	-	-	

Структурная модель позволяет провести анализ взаимодействия компонентов технической системы между собой с целью выявления проблемных мест. Например, корпус экструдера взаимодействует практически со всеми компонентами, поэтому качество его исполнения и надежность будут оказывать влияние

на работу других частей механизма. Соответственно, при поломке этой детали другие компоненты также могут выйти из строя. В то же время, нагреватель экструдера выполняет функцию нагрева материала, однако напрямую с ним не взаимодействует. В технологической схеме нагревается корпус, который, в

свою очередь, нагревает материал. Параллельно с нагревом материала и корпуса происходит нежелательный нагрев близлежащих компонентов (бункер, редуктор и др.).

Таким образом, на основе структурного анализа создана функциональная модель экструдера (табл. 5).

Функциональный анализ показывает, что шнек имеет недостаточный уровень выполнения функций в части перемещения и перемешивания материала. Вследствие этого часть экструдруемого материала не полностью переходит в вязкотекучее состояние, особенно при высоких скоростях, и возникает неоднородность структуры изделия.

Одним из путей решения этих проблем является применение других конструкций шнеков, а также возможность увеличения внутренней части корпуса. Для обеспечения лучшей однородности экструдруемого материала в конструкцию шнека добавляются смесительные элементы. Наиболее распространенными являются два типа функциональных элементов, Ле Рой-Мэддок и Грегори, которые иногда используются в комбинации. В настоящем исследовании применяется шнек конструкции типа Грегори, предполагающий

Таблица 5. Функциональная модель экструдера

Компонент	Функция	Уровень выполнения
Фланец		
Крепление формующей головки	В	Адекватный
Корпус		
Передача теплоты от нагревающих элементов	В	Адекватный
Удержание экструдированного материала	О	Адекватный
Направляющая шнека	О	Адекватный
Нагреватель		
Нагрев материала	О	Адекватный
Нагрев корпуса	О	Адекватный
Нагрев шнека	Д	Недостаточный
Нагрев бункера	Д	Вредный
Нагрев редуктора	Д	Вредный
Нагрев воздуха	Д	Вредный
Шнек		
Перемещение материала	О	Недостаточный
Перемешивание материала	О	Недостаточный
Опорная корпуса	О	Адекватный
Бункер		
Хранение материала	О	Адекватный
Подача материала	О	Адекватный
Редуктор		
Передача крутящего момента	О	Адекватный
Электродвигатель		
Преобразование энергии электрической в механическую	О	Адекватный

Для улучшения размола исходного сырья, находящегося в твердом состоянии, в конструкцию шнека вводятся дополнительные PIN-элементы, представляющие собой штыри, выступающие над поверхностью корпуса шнека. Это позволяет увеличить

перемещение экструдруемого материала по спиральным каналам (рис. 5).

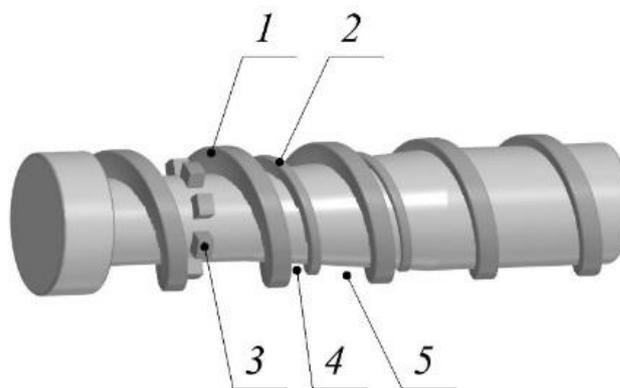


Рис. 5. Конструкция шнека: 1 — главный гребень; 2 — вспомогательный гребень; 3 — PIN-элементы; 4 — канал расплава; 5 — канал твердого материала

дисперсность частиц и их скорейший переход в жидкую фазу.

Повышение однородности смеси достигается применением дополнительных барьерных зон. Барьерная зона представляет собой дополнительный

виток, который не соприкасается с основным гребнем шнека. Таким образом, на шнеке образуются два канала, разделенные основным и вспомогательным гребнями. В начале канал имеет небольшой объем для расплава и большой — для твердого вещества, а в конце наоборот — канал для расплава становится большего объема, а для нерасплавленного полимера — меньшего. Такая конструкция позволяет разделить твердый материал и расплав в зоне плавления смеси. В канале твердого материала 5 (рис. 5) находится вещество как в твердом состоянии, так и в расплавленном. Через вспомогательный гребень 2 расплав из канала 5 с веществом в твердом состоянии перетекает в канал 4 с расплавом. Изменяя высоту нарезки обоих каналов, можно регулировать мощность расплавления и однородность расплава.

Функциональный анализ показывает также наличие дополнительных вредных функций нагревателя: нагрев бункера, редуктора и воздуха. Решением является термоизоляция нагревателя от окружающей среды и направление теплового потока на корпус. Другое прогрессивное решение может быть найдено с помощью функциональной идеализации системы, т. е. поиска идеального конечного результата — инструмента для расширения функциональности элемента при минимизации затрат. В этом случае из системы удаляется искомый элемент, но его функция продолжает выполняться. Тогда из схемы экструдера должны быть исключены все нагревательные

элементы, а функции нагрева материала переносятся на корпус экструдера и шнек путем конструктивных доработок.

Таким образом, исключается наличие дополнительных вредных функций нагревателя, а недостаточный уровень выполнения функции нагрева шнека станет его основной функцией.

Выводы. В результате проведенных исследований удалось выделить мероприятия по совершенствованию процесса изготовления эжектора экструдированием:

- подобрать оборудование методом бенчмаркинга для изготовления продукции в соответствии с особенностями производства;

- определить уровень выполнения функциональных задач конструктивными элементами экструдера и выявить компоненты, которые недостаточно выполняют свои функции;

- для увеличения однородности смеси и повышения качества изделия рекомендуется добавить в конструкцию шнека дополнительные элементы для диспергирования полимерного материала в твердом состоянии, а также дополнительный виток шнека, позволяющий разделять вещество в твердой и жидкой фазе.

Дальнейшие исследования направлены на совершенствование конструкции экструдера и оценки влияния конструктивных изменений на качество изделий.

Литература

1. Маздубай А.В., Амерханов Т.Б. Расчет и проектирование оснастки оборудования для экструзии труб из композиции «полиэтилен-резиновая крошка» // Наука и техника Казахстана. 2019. № 2. С. 86-95.
2. Sazonov I.A., Mokhov M.A., Tumanyan K.A., Frankov M.A., Mun V.A., Osicheva L.V. Development of technologies for increase the ejector units' efficiency // Journal of Computational and Theoretical Nanoscience. 2019. V. 16. № 7. P. 3087-3093.
3. Шабалина О.К. Анализ работы двухфазного эжектора-диспергатора с применением методов численного моделирования // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной пром-сти. 2020. № 10 (567). С. 5-8.
4. Рычков Д.А., Шмакова О.Ю. Исследование технологии изготовления эжектора с внутренней полостью из полимерного материала // Системы. Методы. Технологии. 2022. № 3 (55). С. 32-36.
5. Sazonov I.A., Mokhov M.A., Tumanyan K.A., Frankov M.A., Markelov S.I. Development of an automated compressor unit for gas compression at the periodic connection of an ejector // Journal of Computational and Theoretical Nanoscience. 2019. V. 16, № 12. P. 5378-5383.
6. Равнение на конкурентов: что такое бенчмаркинг и где он применяется // РБК: тренды [Электронный ресурс]. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/education/61540f1e9a7947ed382de149> (дата обращения: 16.04.2024).
7. Баханцов Н.А., Ерохина Е.В. Бенчмаркинг как инструмент повышения конкурентоспособности // Тенденции развития науки и образования. 2019. № 57-4. С. 32-36.
8. Аренков И.А., Багиев Е.Г. Бенчмаркинг и маркетинговые решения. СПб.: Изд-во С.-Петербур. гос. ун-та экономики и финансов, 1997. 144 с.
9. Смотров Т.И., Наролина Т.С., Фокина О.М. Этапы формирования конкурентных преимуществ компании // Актуальные вопросы развития конкурентной политики, совершенствования правоприменительной практики пресечения недобросовестной конкуренции и ненадлежащей рекламы: материалы XI Международ. науч.-практической конф. (26 мая 2021 г.). Воронеж, 2021. С. 220-222.
10. Наумова Л.М., Сбоева И.А. Дефиниция «бенчмаркинг» в системе инструментов управления организацией // Вестн. Поволжского гос. технологического ун-та. Сер. Экономика и управление. 2018. № 2 (38). С. 68-81.
11. Кемхашвили Т.А. Ответственные за бизнес-процессы и их реализация // Рос. экономический интернет-журнал. 2019. № 3. С. 38.
12. Кемхашвили Т.А. Распределение бизнес-процессов в организации // Рос. экономический интернет-журнал. 2018. № 2. С. 36.
13. Кемхашвили Т.А., Витер К.А. Возможности реализации управления бизнес-процессами в организации // Рос. экономический интернет-журнал. 2018. № 2. С. 37.
14. Кучуков Р.Р., Гереев Р.З., Манакова Д.М. Особенности бенчмаркинга как инструмента повышения эффективности стратегического менеджмента // Аллея науки. 2018. Т. 2, № 7 (23). С. 686-689.
15. Цыварева О.П. Бенчмаркинг как способ повышения качества процесса управления организацией // Актуальные вопросы современной экономики. 2020. № 6. С. 338-342.
16. Сивандаева С.Ю. Этапы организации внутреннего бенчмаркинга // Синергия Наук. 2019. № 32. С. 140-144.

17. Бриль А.Р. Функционально-стоимостной анализ в экономических расчетах. Л.: Изд-во ЛГУ, 1989. 148 с.
18. Просветов Г.И. Управление качеством: задачи и решения. М: Изд-во «Альфа-Пресс», 2009. 168 с.
19. Роберт С. Каплан, Робин Купер. Функционально - стоимостной анализ: практическое применение / пер. с англ. С.В. Каденко. М.: Изд-во «Вильямс», 2008. 352 с.
20. Грамп Е.А. Организация служб функционально-стоимостного анализа в промышленных фирмах США. М.: Отд-ние ВНИИЭМ по науч.-техн. информации в электротехнике, 1971. 51 с.
21. Данилина Е.И., Данилин В.Н. Экономическая сущность функционально-стоимостного анализа в современных условиях хозяйствования // Вопросы региональной экономики. 2011. № 1 (6). С. 3-14.
8. Arenkov I.A., Bagiev E.G. Benchmarking and marketing solutions. SPb.: Izd-vo S.-Peterb. gos. un-ta ekonomiki i finansov, 1997. 144 p.
9. Smotrova T.I., Narolina T.S., Fokina O.M. Stages of formation of a company's competitive advantages // Aktual'nye voprosy razvitiya konkurentnoj politiki, sovershenstvovaniya pravoprimenitel'noj praktiki presecheniya nedobrosovestnoj konkurencii i nenadlezhashchej reklamy: materialy XI Mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. (26 maya 2021 g.). Voronezh, 2021. P. 220-222.
10. Naumova L.M., Sboeva I.A. Definition of «benchmarking» in the system of organization management tools // Vestnik of Volga State University of Technology. Ser. Economy and Management. 2018. № 2 (38). P. 68-81.
11. Kemhashvili T.A. Responsible for business processes and their implementation // Russian economic online journal («REJ-online»). 2019. № 3. P. 38.
12. Kemhashvili T.A. Distribution of business processes in an organization // Russian economic online journal («REJ-online»). 2018. № 2. P. 36.
13. Kemhashvili T.A., Viter K.A. Possibilities for implementing business process management in an organization // Russian economic online journal («REJ-online»). 2018. № 2. P. 37.
14. Kuchukov R.R., Gereev R.Z., Manakova D.M. Features of benchmarking as a tool for increasing the effectiveness of strategic management // Alley science. 2018. V. 2, № 7 (23). P. 686-689.
15. Cыварева О.Р. Benchmarking as a way to improve the quality of the organization's management process // Actual Issues of the Modern Economics. 2020. № 6. P. 338-342.
16. Sivandaeva S.Yu. Stages of organizing internal benchmarking // Sinergiya Nauk. 2019. № 32. P. 140-144.
17. Bril' A.R. Functional-cost analysis in economic calculations. L.: Izd-vo LGU, 1989. 148 p.
18. Prosvetov G.I. Quality management: tasks and solutions. M: Izd-vo «Al'fa-Press», 2009. 168 p.
19. Robert S. Kaplan, Robin Kuper. Functional-cost analysis: practical application / per. s angl. S.V. Kadenko. M.: Izd-vo «Vil'yams», 2008. 352 p.
20. Gramp E.A. Organization of functional cost analysis services in US industrial companies. M.: Otd-nie VNIIEEM po nauch.-tekh. informacii v elektrotekhnike, 1971. 51 p.
21. Danilina E.I., Danilin V.N. Economic essence of functional-cost analysis in modern economic conditions // Problems of regional economy. 2011. № 1 (6). P. 3-14.

References

1. Mazdubaj A.V., Amerhanov T.B. Calculation and design of equipment for extruding pipes from the composition "polyethylene-rubber crumb" // Science and Technology of Kazakhstan. 2019. № 2. P. 86-95.
2. Sazonov I.A., Mokhov M.A., Tumanyan K.A., Frankov M.A., Mun V.A., Osicheva L.V. Development of technologies for increase the ejector units' efficiency // Journal of Computational and Theoretical Nanoscience. 2019. V. 16. № 7. P. 3087-3093.
3. Shabalina O.K. Analysis of the operation of a two-phase ejector-disperser using numerical modeling methods // Automation, telemechanization and communication in oilindustry. 2020. № 10 (567). P. 5-8.
4. Rychkov D.A., Shmakova O.Yu. Study of the manufacturing technology of an ejector with an internal cavity made of polymer material // Systems. Methods. Technologies. 2022. № 3 (55). P. 32-36.
5. Sazonov I.A., Mokhov M.A., Tumanyan K.A., Frankov M.A., Markelov S.I. Development of an automated compressor unit for gas compression at the periodic connection of an ejector // Journal of Computational and Theoretical Nanoscience. 2019. V. 16, № 12. P. 5378-5383.
6. Competitor comparison: what is benchmarking and where is it used // RBK: trendy [Elektronnyj resurs]. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/education/61540f1e9a7947ed382de149> (data obrashcheniya: 16.04.2024).
7. Bahancov N.A., Erohina E.V. Benchmarking as a tool for increasing competitiveness // Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya. 2019. № 57-4. P. 32-36.