

Информационно-коммуникационные технологии

<https://doi.org/10.63377/3005-4966.1-2024-14>

УДК: 621.9:004.432

МРНТИ: 55.01

Исследование жизненного цикла промышленного изделия «Муфта зубчатая»

^{*1}Удербаета А.Е., ^{*2}Шакенова Ж.Н., ²Карлинская М.А.

¹Satbayev University, г.Алматы, Казахстан

²Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова, г.Алматы, Казахстан

*Автор-корреспондент email: milya_scorpion@mail.ru

Поступила:
08 декабря 2024
Рецензирование:
18 января 2024
Принята в печать:
20 февраля 2024

Аннотация

В данной статье представлено исследование жизненного цикла промышленного изделия «Муфта зубчатая» с использованием итерационного подхода. Рассматриваются современные методы и средства моделирования, применяемые на всех этапах жизненного цикла изделия: от технического задания и проектирования до производства, контроля и сбыта. Основное внимание уделено построению итерационной и функциональной моделей, позволяющих структурировать процесс разработки и реализации изделия в машиностроительном производстве. Итерационная модель отражает поэтапную реализацию жизненного цикла и включает семь итераций, каждая из которых представляет собой логически завершённый этап проектирования и обработки. На основе этой модели разработана функциональная схема обработки изделия, в которой учтены все входные и выходные параметры, технологические требования и особенности станочной системы. Особое внимание в работе уделено построению трёх типов математических моделей синтеза станочной системы: с полной, частичной и маршрутной взаимозаменяемостью оборудования. Эти модели позволяют эффективно планировать ресурсы и оптимизировать производственные затраты. Результаты исследования показывают, что интеграция САПР-технологий, таких как SolidWorks и Cimatron, с итерационной моделью жизненного цикла существенно повышает качество проектных решений, снижает количество ошибок и сокращает сроки подготовки производства. Разработанные модели могут быть адаптированы и внедрены в машиностроительных предприятиях Республики Казахстан и других стран, стремящихся к цифровизации производственных процессов.

Ключевые слова: программный модуль, компьютерное моделирование, итерация, техническое задание, оператор СЧПУ, станочная система

Удербаета А.Е.

Информация об авторах:

Доктор PhD, ассоциированный профессор, Satbayev University, г. Алматы, Республика Казахстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1641-7404>. E-mail: asem_007800@inbox.ru

Шакенова Ж.Н.

Магистр, старший преподаватель кафедры «История Казахстана, общеобразовательные дисциплины и информационные системы», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Республика Казахстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7801-4619>. E-mail: milya_scorpion@mail.ru

Карлинская М.А.

Магистр, старший преподаватель кафедры «История Казахстана, общеобразовательные дисциплины и информационные системы», Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Республика Казахстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-2725-0305>. E-mail: m_kar@mail.ru

Ақпараттық-коммуникациялық технологиялар

<https://doi.org/10.63377/3005-4966.1-2024-14>

ЭОЖ: 621.9:004.432

GTAMP: 55.01

«Тісті муфта» өнеркәсіптік бұйымының өмірлік циклін зерттеу

*¹Удербоева А.Е., *²Шакенова Ж.Н., ²Карлинская М.А.¹Satbayev University, Алматы қ, Қазақстан Республикасы¹Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ, Қазақстан Республикасы*Автор-корреспондент email: milya_scorpion@mail.ru

Мақала келді:
08 желтоқсан 2024
Сараптамадан өтті:
18 қаңтар 2024
Қабылданды:
20 ақпан 2024

Түйіндеме

Бұл мақалада итерациялық тәсілді қолдана отырып, "муфта тісті" өнеркәсіптік өнімнің өмірлік циклін зерттеу ұсынылған. Өнімнің өмірлік циклінің барлық кезеңдерінде қолданылатын модельдеудің заманауи әдістері мен құралдары қарастырылады: техникалық тапсырма мен жобалаудан бастап өндіріске, бақылауға және сатуға дейін. Негізгі назар машина жасау өндірісінде өнімді әзірлеу және сату процесін құрылымдауға мүмкіндік беретін итерациялық және функционалды модельдерді құруға бағытталған. Итерациялық модель өмірлік циклдің кезең-кезеңімен жүзеге асырылуын көрсетеді және жеті қайталануды қамтиды, олардың әрқайсысы дизайн мен өңдеудің логикалық аяқталған кезеңін білдіреді. Осы модель негізінде өнімді өңдеудің функционалды схемасы жасалды, онда барлық кіріс және шығыс параметрлері, Технологиялық талаптар және машина жүйесінің ерекшеліктері ескеріледі. Жұмыста машина жүйесін синтездеудің математикалық модельдерінің үш түрін құруға ерекше назар аударылады: жабдықтың толық, ішінара және маршруттық өзара алмасуымен. Бұл модельдер ресурстарды тиімді жоспарлауға және өндіріс шығындарын оңтайландыруға мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері SolidWorks және Cimatron сияқты АЖЖ технологияларын итерациялық өмірлік цикл үлгісімен біріктіру дизайн шешімдерінің сапасын айтарлықтай жақсартады, қателерді азайтады және өндірісті дайындау уақытын қысқартады. Әзірленген модельдер Қазақстан Республикасының және өндірістік процестерді цифрландыруға ұмтылатын басқа елдердің машина жасау кәсіпорындарында бейімделуі және енгізілуі мүмкін.

Түйін сөздер: бағдарламалық модуль, компьютерлік модельдеу, қайталау, техникалық тапсырма, СБББ операторы, машина жүйесі.

Удербоева А.Е.	<p>Авторлар туралы ақпарат: PhD докторы, "Машина жасау" кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Satbayev University, Алматы қ, Қазақстан, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1641-7404. E-mail: asem_007800@inbox.ru</p>
Шакенова Ж.Н.	<p>Техника ғылымдарының магистрі, "Қазақстан тарихы, жалпы білім беретін пәндер және ақпараттық жүйелер" кафедрасының аға оқытушысы, Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ, Қазақстан, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-7801-4619. E-mail: milya_scorpion@mail.ru</p>
Карлинская М.А.	<p>Экономика ғылымдарының магистрі, "Қазақстан тарихы, жалпы білім беретін пәндер және ақпараттық жүйелер" кафедрасының аға оқытушысы, Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ, Қазақстан, ORCID ID: https://orcid.org/0009-0008-2725-0305. E-mail: m_kar@mail.ru</p>

Study of the life cycle of an industrial product «Tooth coupling»**¹Uderbayeva A.E., ²Shakenova Zh.N., ²Karlinskaya M.A.**¹Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan²Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Almaty, Republic of Kazakhstan*Corresponding author email: milya_scorpion@mail.ru

<p>Received: 08 December 2024 Peer-reviewed: 18 January 2024 Accepted: 20 February 2024</p>	<p>Abstract</p> <p>This article presents a study of the life cycle of an industrial product "Gear coupling" using an iterative approach. Modern modeling methods and tools used at all stages of the product life cycle are considered: from technical specifications and design to production, control and marketing. The main attention is paid to the construction of iterative and functional models that allow structuring the process of product development and implementation in machine-building production. The iterative model reflects the phased implementation of the life cycle and includes seven iterations, each of which represents a logically completed design and processing stage. Based on this model, a functional product processing scheme has been developed, which takes into account all input and output parameters, technological requirements and features of the machine system. Special attention is paid to the construction of three types of mathematical models for the synthesis of a machine tool system: with full, partial and route interchangeability of equipment. These models make it possible to efficiently plan resources and optimize production costs. The results of the study show that the integration of CAD technologies such as SolidWorks and Cimatron with an iterative lifecycle model significantly improves the quality of design solutions, reduces errors and reduces production preparation time. The developed models can be adapted and implemented in machine-building enterprises of the Republic of Kazakhstan and other countries seeking to digitalize production processes.</p>
	<p>Keywords: the software module, computer simulation, iteration, technical specification, CNC operator, mathematical model, machine tool system.</p>
<p>Uderbayeva A.E.</p>	<p>Information about authors: PhD, associate professor of the Department "Mechanical Engineering", Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1641-7404. E-mail: asem_007800@inbox.ru.</p>
<p>Shakenova Zh.N.</p>	<p>Master of technical sciences, senior lecturer of the Department "History of Kazakhstan, General Education disciplines and Information Systems", Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Almaty, Kazakhstan, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-7801-4619. E-mail: milya_scorpion@mail.ru</p>
<p>Karlinskaya M.A.</p>	<p>Master of economic sciences, senior lecturer of the Department "History of Kazakhstan, General Education disciplines and Information Systems", Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Almaty, Kazakhstan, ORCID ID: https://orcid.org/0009-0008-2725-0305. E-mail: m_kar@mail.ru</p>

Введение

Особое внимание в наше время уделяется сокращению сроков разработки, улучшению качества и освоению выпуска новых конкурентоспособных изделий из металлопродукции, которые в дальнейшем будут пользоваться рыночным спросом и занимать доминирующее место в развитии промышленности Республики Казахстан, СНГ, так и в мировом сообществе. Главным критерием для прогресса материально-технической базы считается внедрение современных вычислительных комплексов и систем в основное и вспомогательное производство, что создает быстрый рост и эффективность производительности труда всего производства.

Выпуск продукции машиностроительной промышленности являются весьма сложными изделиями. Для их разработки и производства необходимо выполнить очень большой объем конструкторской и технологической подготовки. Чтобы повысить свою конкурентоспособность, предприятия непрерывно увеличивают номенклатуру выпускаемой продукции и конечно за счет расширения повышают объем подготовки производства. На сегодняшний день большинство машиностроительных предприятий работают под заказ. Соответственно изделия по каждому из заказов или даже отдельное изделие имеют свои спецификации комплектаций. Для разработки новых изделий необходимо использовать современные системы автоматизированного проектирования и управления. Для того чтобы было соответствие современным международным требованиям, в автоматизированных информационных системах должен быть программный модуль, который создавал бы интегрированную информационную среду. Данная интегрированная информационная среда будет обеспечена поддержкой жизненного цикла изделия (CALS-технологии), что позволит использовать методы управления ресурсами предприятия, которые включены в стандарте ERP системы и применять методы финансового планирования, от процессного подхода к управлению.

Таким образом, актуальными являются исследование жизненного цикла промышленного изделия «Муфта зубчатая», выбор процесса проектирования, построение модели с входными и выходными данными, разработка математических моделей синтеза станочной системы.

Методы

В рамках исследования жизненного цикла промышленного изделия «Муфта зубчатая» применялся комплекс методов системного анализа, компьютерного моделирования и математического синтеза. Работа была основана на итерационном подходе, который позволил поэтапно моделировать жизненный цикл изделия, начиная от формирования технического задания до этапа реализации и сбыта продукции.

Итерационный метод: модель жизненного цикла была построена как последовательность итераций – каждая из которых соответствует ключевому этапу разработки и производства изделия: сбор информации, анализ требований, конструирование, проектирование, механическая обработка, контроль (ОТК) и сбыт.

Функциональное моделирование: для представления производственной системы применялась функциональная модель, в которой отображены входные и выходные параметры процесса обработки изделия. Это позволило учесть все элементы производственного цикла – от чертежей, технологических карт и характеристик инструмента до готовой 3D модели детали.

Применение CAD/CAM/CAE систем: в процессе моделирования использовались современные программные средства автоматизированного проектирования (САПР), включая модули SolidWorks для построения 3D моделей, анализа напряженно-деформированного состояния деталей и оптимизации конструкции.

Математическое моделирование: были разработаны три типа математических моделей синтеза станочной системы, различающиеся по степени взаимозаменяемости оборудования.

Эти модели позволяют определить оптимальное количество и типы станков, необходимые для выполнения производственной программы при различных условиях автоматизации и загрузки оборудования.

Анализ нормативной базы: параметры изделий и требований к ним базировались на положениях ГОСТ 12080, ГОСТ 12081, ГОСТ 2991, ГОСТ 24634 и ГОСТ 12082, что обеспечивало соответствие стандартам и промышленным требованиям.

Результаты

Жизненный цикл промышленного изделия – это сочетание операций, осуществляемых от момента появления запросов в обществе на определенное изделие до момента удовлетворения этих запросов и, в конечном счете, его утилизации после завершения срока эксплуатации.

Основные этапы жизненного цикла: проектирование, производство, техническая эксплуатация, утилизация. Применяется по отношению к промышленным изделиям с высокими потребительскими свойствами и к сложной наукоемкой продукции высокотехнологичных производств.

Жизненный цикл рассматриваемого промышленного изделия составляют:

1. Проведение сбора информации об объекте, выдвижение различных гипотез, пред-модельный анализ;
2. Разработка структуры и состава моделей (подмоделей);
3. Создание спецификаций модели, разработка и отладка отдельных подмоделей, интеграция модели в целом, аутентификация (если это нужно) значений моделей;
4. Выбор способов проведения исследования модели, разработка алгоритма для компьютерного моделирования;
5. Анализ модели на адекватность, устойчивость и чувствительность;
6. Проведение оценки средств моделирования (время затраченных ресурсов);
7. Интерпретация, анализ результатов компьютерного моделирования и установление некоторых причинно-следственных связей в исследуемом жизненном цикле промышленного изделия;
8. Формирование отчетов и проектных решений;
9. Детализация, модификация модели, если это необходимо, и возврат к системе с новыми знаниями, полученными с помощью компьютерного моделирования.

Учёт всех этапов жизненного цикла промышленного изделия существенно усложняет задачу проектирования и производства продукции. Однако возможность её решения достигается применением автоматизированных систем управления предприятием (АСУП).

Чтобы осуществить автоматизацию проектирования для этого используют системы автоматизированного проектирования (САПР).

Системы функционального, конструкторского и технологического проектирования непосредственно относятся к САПР машиностроительной промышленности.

CAE (computer-aided engineering) системы используют для инженерных расчетов и анализа. CAD (computer-aided design) системы необходимы при конструкторском проектировании промышленных изделий. CAM (computer-aided manufacturing) системы используются для технологической подготовки производства при механообработке промышленного изделия на станках СЧПУ [1,2].

Системы управления проектными данными PDM (product data management) используют для решения проблем совместного функционирования компонентов САПР различного назначения, координации работы систем CAE/CAD/CAM, управления проектными данными и проектированием. В состав модулей конкретной САПР входят системы PDM или возможен вариант решения, когда PDM имеет самостоятельное значение и может работать совместно с разными САПР.

Услуги системы управления цепочками поставок (SCM) необходимы практически на всех этапах жизненного цикла промышленного изделия, начиная с определения предприятий-поставщиков исходных материалов (заготовок) и компонентов и заканчивая реализацией продукции (детали). Цепь поставок обычно определяют, как совокупность стадий увеличения добавленной стоимости продукции при её движении от предприятий-поставщиков к компаниям-потребителям. Целью управления цепочкой поставок является минимизация издержек при продвижении материального потока.

Для координации совместной работы предприятий-партнеров с применением интернет-технологий используются системы электронной коммерции CPC (collaborative product commerce).

На различных этапах жизненного цикла промышленного изделия информационную поддержку обеспечивают АСУП и автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП). Можно сказать, что к АСУП непосредственно относятся: системы планирования ресурсов предприятия (ERP), системы планирования производства, SCM системы [3].

Производственная исполнительная система – MES занимает промежуточное положение между АСУП и АСУТП и предназначена для решения оперативных задач управления проектированием, производством и маркетингом.

Для выполнения диспетчерских функций (сбор и обработка данных о состоянии оборудования и технологических процессов) применяется система SCADA входящая в состав АСУТП. Система SCADA необходима для разработки программного обеспечения встроенного оборудования.

На этапе реализации продукции при управлении отношениями с заказчиками и покупателями используют систему CRM.

Управление данными в едином информационном пространстве возлагается на систему управления жизненным циклом продукции – PLM (product life cycle management) [4].

В таблице 1 приведены границы стадий жизненного цикла промышленного изделия [5].

Таблица 1. Границы стадий жизненного цикла промышленного изделия

Стадия	Начало стадии	Окончание стадии
Маркетинговые исследования рынка	Заключение договора на проведение исследований	Сдача отчета по результатам исследований
Генерация идей и их фильтрация	Сбор и фиксирование предложений по проектам	Окончание отбора проектов-конкурентов
Техническая и экономическая экспертиза проектов	Комплектация групп оценки проектов	Сдача отчета по экспертизе проектов, выбор проекта-победителя
НИР	Утверждение ТЗ на НИР	Утверждение акта об окончании НИР
ОКР	Утверждение ТЗ на ОКР	Наличие комплекта конструкторской документации, откорректированной по результатам испытаний опытного образца
Пробный маркетинг	Начало подготовки производства опытной	Анализ отчета о результатах пробного маркетинга
Подготовка производства на заводе-изготовителе	Принятие решения о серийном производстве и коммерческой реализации изделий	Начало установившегося серийного производства
Собственно, производство и сбыт	Продажа первого серийного образца изделия	Поставка потребителю последнего экземпляра изделия
Эксплуатация	Получение потребителем первого экземпляра изделия	Снятие с эксплуатации последнего экземпляра изделия
Утилизация	Момент списания первого эк-	Завершение работ по утилиза-

	земпляра изделия с эксплуатаци	ции последнего изделия, снятого с эксплуатации
--	--------------------------------	--

Итерационная модель жизненного цикла изделия «Муфта зубчатая»

Для разработки процесса жизненного цикла промышленного изделия «Муфта зубчатая» разработана итерационная модель, как показано на рисунке 1. В данной модели итерационно выполняется каждый этап проектирования.

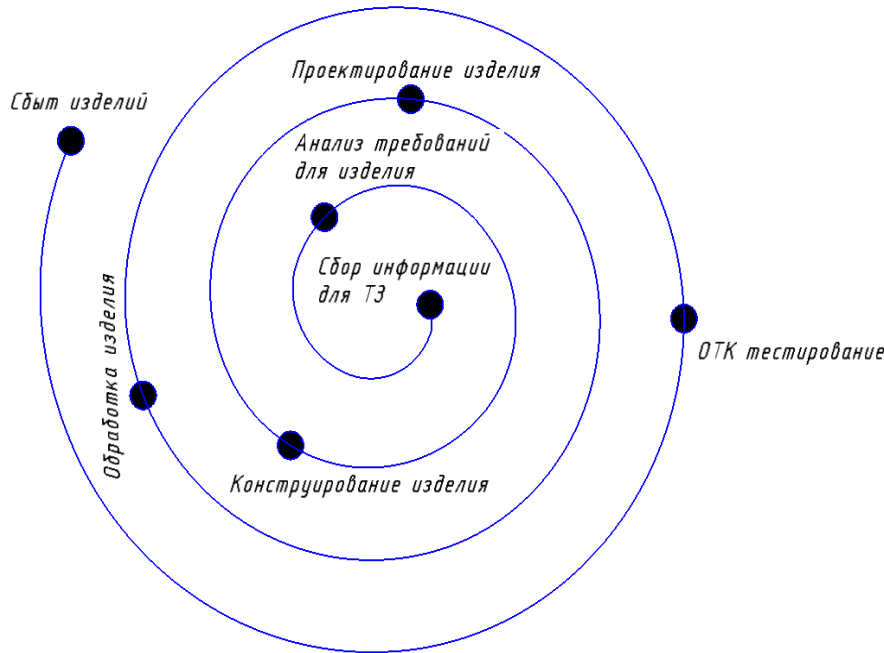


Рисунок 1. Итерационная модель жизненного цикла промышленного изделия «Муфта зубчатая»

Итерация I. Выполняется сбор информации для технического задания (ТЗ).

В техническом задании для разрабатываемой муфты вводятся ее технические характеристики, основные показатели качества, технико-экономические требования, предписание по выполнению необходимых этапов создания документации (конструкторской, технологической, программной и т.д.), её состав, а также специальные правила.

Итерация II. Анализ требований для изделия.

Эскиз детали в 2D, предварительные расчеты, технологичность изготовления каждой детали, определение оборудования для обработки изделия и его сборки.

Буквой С обозначают муфты, которые заказываются для эксплуатации при частоте вращения, равных или превышающих 50% от значения допускаемой частоты (смотреть табл. 2).

Таблица 2. Допускаемая частота вращения

Номинальный крутящий момент $T_{кр}$, Н·м	∂, ∂_1	D	D_1	D_2	I	L	С, не менее	Частота вращения для типа 1, с ⁻¹ , не более*	Динамический момент для типа 1, кг·м ²	Масса для типа 1, кг, не более
	не более									
1000	40	145	100	60	82	174	12	90	0,05	6,7
1600	55	170	125	80				80	0,06	9,2
2500	60	185	135	85					75	0,08

4000	65	200	150	95	105	220	18	62	0,15	15,2
6300	80	230	175	115	130	270		55	0,25	22,6
10000	100	270	200	145	165	340		47	0,50	40,5
16000	120	300	230	175	200	345	25	40	1,15	62,5
25000	140	330	260	200		415	30	35	2,25	100,0
40000	160	410	330	230				29	6,00	164,3
63000	200	470	390	290	240	500	35	20	10,50	228,0

Также нужно принять во внимание, что:

1. Наибольший крутящий момент – это номинальный крутящий момент, передаваемый муфтой в течение своей эксплуатационной службы при длительном режиме работы с постоянной нагрузкой и постоянным направлением вращения.

2. Допускаемое значение крутящего момента, действующего кратковременно должно быть не более двукратной величины $T_{кр}$.

3. По заказу потребителя допускается изготовление муфт с параметрами размеров d и d_1 меньшими, которые указаны в таблице 2 и определяемыми по ГОСТ 12080 [6] и ГОСТ 12081 [7].

4. Предельные отклонения размеров d – по Н7, d_1 – по Н9. После закалки токами высокой частоты (ТВЧ) допускается усадки отверстий по диаметрам d и d_1 в зоне зубчатого венца до 0,03 мм.

5. Согласно ГОСТ 12080 и ГОСТ 12081 допускается изготавливать муфты с втулками или фланцевыми полумуфтами для длинных концов валов, а также чтобы уменьшить их длину нужно придерживаться ГОСТу 12080 в пределах двух диапазонов диаметра d расточки по заказу потребителя с соблюдением всех установленных требований (d , d_1 , D_1 , D_2 , C и частоты вращения).

6. Для третьего типа наружный диаметр муфт должен соответствовать размеру D_1 а величины и другие размеры должны соответствовать параметрам приведенным в таблице 2.

7. Для муфт с наибольшим диаметром расточки указаны массы.

8. Дозволяются варианты сборки муфт второго типа с посадочными отверстиями исполнения 2.

9. В муфтах второго типа посадочный размер фланцевых полумуфт разрешается увеличивать до любых значений по ГОСТ 12080 и ГОСТ 12081, не влекущих изменения остальных размеров и параметров по таблице 2.

Итерация III. Конструирование изделия.

При конструировании изделия «Муфты зубчатой» следует учитывать требования эксплуатации, в которых определяется эффективность использования изделия; требования производства, определяющие возможность воплощения проекта.

Итерация IV. Проектирование изделия (компьютерное моделирование изделия).

Компьютерное моделирование изделия должно быть нацелено на удовлетворение потребностей клиентов. В ходе конструирования изделия, отдел конструкторского бюро (ОКБ) должен рассмотреть относительную значимость следующих критериев проектирования:

1. Производственная мощность.
2. Экономическая эффективность.
3. Гибкость производственной системы.
4. Производительность оборудования.
5. Надежность оборудования.
6. Ремонтопригодность оборудования.
7. Стандартизация и постоянство результатов.
8. Безопасность, промышленная санитария и гигиена.
9. Удовлетворение жизненных потребностей рабочих.

Чтобы обеспечить необходимые характеристики процесса, конструктор-технолог

должен предоставить выбор по следующим направлениям:

1. Тип обрабатывающей системы (проектная система, мелкосерийное производство, массовое производство, непрерывный процесс, комбинированные варианты).
2. Собственное производство или приобретение некоторых комплектующих изделий.
3. Выполнение некоторых задач своими средствами.
4. Методы переработки.
5. Степень механизации и автоматизации.
6. Степень специализации труда рабочих.

Отдел технологического бюро (ОТБ) согласовав с отделом ОКБ, разрабатывают (проектируют) технологическую карту обработки изделия «Муфта зубчатая» по соответствующим ГОСТам с использованием современных САПР программ.

Итерация V. Обработка изделия.

Пройдя все с I по IV этапы жизненного цикла изделия, наступает процесс механической обработки детали. По операционно-технологической карте изделие «Муфта зубчатая» проходит все операции механической обработки в станочной системе.

Итерация VI. ОТК тестирование.

Проводится контроль допустимых размеров: допуски и посадки согласно чертежу изделия «Муфта зубчатая», также проводится анализ твердости изделия.

Итерация VII. Сбыт изделия.

В разобранном виде необходимо транспортировать муфты зубчатые, также допускается транспортировка муфты с соединением обойм или же полумуфт не менее чем двумя болтами. Согласно ГОСТу 2991 [8], ГОСТу 24634 разобранные муфты упаковываются в ящики типа V [9] или же в обрешетки согласно ГОСТу 12082 [10].

Используя разработанную итерационную модель жизненного цикла промышленного изделия «Муфта зубчатая» можно построить функциональную модель данного изделия.

Функциональная модель обработки изделия «Муфта зубчатая»

На рисунке 2 приведена функциональная модель для изделия «Муфта зубчатая». Данная модель представляет собой структурированное изображение функций производственной системы или среды (информации и объектов).



Рисунок 2. Функциональная модель для обработки промышленного изделия «Муфта зубчатая»

Входными параметрами функциональной модели для компьютерного моделирования (проектирования) будут:

– данные из чертежа «Муфта зубчатая» разработанные в CAD программах, которые включают весь комплекс информации о геометрических свойствах изделия, его размерах, наборе поверхностей, подлежащих обработке, их точности шероховатости, о физико-химических свойствах изделия;

– технологический процесс, содержащий рекомендации по режимам резания, технологической оснастке, применяемой при данной обработке;

– информация об режущим инструменте и заготовке, которые будут использоваться в процессе обработки данного изделия.

С данной системой непосредственно будут работать:

– САПР конструктор-технолог, отвечающий за весь технологический процесс;

– оператор СЧПУ, отвечающий за корректную работу программных модулей станочной системы.

Работа системы будет осуществляться по следующим документам:

– технический паспорт станка, где содержится информация об особенностях его эксплуатации, ограничениях перемещений по осям, режимах работы и габаритных ограничениях заготовки и инструмента (вся станочная система);

– справочная информация о машинно-ориентированном языке программирования (МОП), вспомогательных и служебных функциях станка с ЧПУ;

– ГОСТ, нормы и правила по работе на станках, в которых отражена методология по способам безопасного ведения обработки.

Результатом работы будет расчет и обработка данных в САЕ системе – модулях программы Solid Works: модель промышленного изделия «Муфта зубчатая» в формате 3D, напряженно-деформированное состояние детали «Втулка зубчатая» при нагрузках 400Н·м, решение задач анализа и синтеза проектно-конструкторских решений.

Для обработки промышленного изделия «Муфта зубчатая» в виртуальном режиме с использованием САПР программ требуется построение математических моделей синтеза станочной системы.

Математические модели синтеза станочной системы

Модели синтеза станочной системы в зависимости от возможностей оборудования, выполняющего операции технологического процесса обработки деталей, можно разбить на три типа [11,12]:

– модель выбора станочной системы с полной взаимозаменяемостью;

– модель с частичной заменяемостью станков;

– модель с взаимозаменяемостью технологических маршрутов обработки.

Модель синтеза I типа предполагает применение технологически взаимозаменяемых станков, различающихся по производительности, уровню автоматизации, стоимости и затратам на автоматизацию. На каждом станке i -го типа ($i=1 \div I$) производится полная обработка деталей k -й группы ($k=1 \div r$), r – число групп деталей, составляющих годовую производственную программу выпуска. При этом число деталей каждой группы r_k . Станкоемкость обработки деталей k -й группы на станке i -го типа составляет t_{ik} ; фактический годовой фонд времени станка i -го типа равен IK_{ui} , где I_i – эффективный фонд времени; K_{ui} – коэффициент использования станка i -го типа. Приведенные затраты на приобретение и эксплуатацию станка составляют C_i . требуется определить число S_i станков i -го типа, составляющих станочную систему. Математическая модель оптимизации для синтеза I-го типа будет иметь:

– тип модели – 1;

– характеристика станочной системы – из технологически взаимозаменяемых станков;

– варьируемая переменная – S_i – число станков i -го типа;

– ограничения – по производственной программе $\sum_{i=1}^I x_{ik} = r_k$, по реальному годовому времени. $\sum_{k=1}^r t_{ik} x_{ik} \leq S_i T_i K_{ui}$. На переменные $S_i \geq 0$, x_{ik} , $x_{ik} \geq 0$ – целые числа;

– целевая функция – $\sum_{i=1}^I C_i \cdot S_i$.

Модель синтеза компоновки II типа для станочной системы, на которой должна производиться обработка деталей r групп при годовой программе r_k выпуска деталей каждой группы. Детали k -й группы ($k=1 \div r$) некоторое число операций из набора J_k . На каждой j -й операции из этого набора ($j_k=1 \div J_k$) возможно применение S_{ij} взаимозаменяемых станков I_j типов ($i_j=1 \div I_j$), отличающихся друг от друга производительностью и уровнем автоматизации, стоимостью и затратами на эксплуатацию. Станкоемкость обработки детали k -й группы на j -й операции, осуществляемой на станке i_j -го типа, равна t_{ijk} ; реальный годовой фонд времени станка i_j -го типа составляет $T_{ij} K_{uij}$, а приведенные затраты на его приобретение и эксплуатацию равны C_{ij} . Математическая модель для синтеза компоновки II типа будет иметь:

- тип модели – 2;
- характеристика станочной системы – из станков с частичной взаимозаменяемостью;
- варьируемая переменная – S_{ij} – число станков i -го типа для j -й операции;

– ограничения – по использованию станков $\sum_{i,j=1}^{I_j} d_{ijk} = 1$,

где $d_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{если станок } i\text{-го типа на } j\text{-й операции} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$

по реальному годовому фонду времени $\sum_{k=1}^r r_k \sum_{j_k=1}^{J_k} t_{ijk} \cdot d_{ijk} \leq S_{ij} T_{ij} K_{uij}$;

– целевая функция – $\sum_{i,j=1}^{I_j} r_k \sum_{j_k=1}^{J_k} C_{ij} S_{ij}$.

Модель синтеза компоновок станочных систем III типа строится также для r групп деталей с годовой программой r_k выпуска деталей каждой группы. Для деталей каждой k -й группы возможна реализация M_k технологических маршрутов. Станкоемкость обработки деталей k -й группы на станке i -го типа по j_k -му маршруту ($j_k=1 \div M_k$) составляет t_{ijk} . Реальный годовой фонд времени работы станка i -го типа равен $T_i K_{ui}$. Во всех технологических маршрутах обработки всех групп деталей используется I -го типов станков. Приведенные затраты на приобретение и эксплуатационные издержки станков i -го типа равны C_i , т.е. имеется некоторое множество технологических маршрутов, соответствующих множеству обрабатываемых деталей. Требуется определить оптимальный уровень автоматизации станков (тип станка) и их число, а также перечень технологических маршрутов обработки [13]. Математическая модель для синтеза компоновки III типа будет иметь:

- тип модели – 3;
- характеристика станочной системы – с взаимозаменяемостью технологических маршрутов обработки;

– варьируемая переменная – S_i – число станков i -го типа;

$$\sum_{j_k=1}^{M_k} L_{kj_k} = 1,$$

– ограничения – по технологическому маршруту

$$L_{kj_k} = \begin{cases} 1, & \text{если для деталей } k\text{-й} \\ & \text{группы используется } j\text{-й маршрут} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

где

По производственной программе и реальному годовому фонду времени

$$\sum_{k=1}^r r_k \sum_{j_k=1}^{M_k} L_{kj_k} t_{j_k} < S_i T_i K_{ui}$$

. На переменные $S_i \geq 0$ – целые числа;
 $\sum C_i \cdot S_i$.

– целевая функция – $i=1$

Анализ моделей синтеза станочных систем показывает, что первая модель является частным случаем второй модели при $j_k=1$, а вторая является частным случаем третьей при $M_k=1$.

Итерационная модель жизненного цикла изделия «Муфта зубчатая» позволяет визуально на всех этапах проектирования (моделирования) определить недочеты, погрешности и своевременного исправления ошибок.

Функциональная модель обработки изделия «Муфта зубчатая», отображает процесс преобразования начального состояния полуфабриката в его конечное состояние заданным технологическим процессом в общем виде.

Обсуждение

Результаты, полученные в ходе исследования жизненного цикла изделия «Муфта зубчатая», демонстрируют эффективность применения итерационной модели как инструмента системного анализа и оптимизации производственного процесса. Разделение жизненного цикла на отдельные итерации позволило более точно учитывать специфику каждого этапа: от технического задания до сбыта изделия. Это особенно актуально в условиях перехода к средне- и мелкосерийному производству, характерному для современной промышленности Казахстана.

Функциональная модель обработки, представленная в работе, обеспечивает ясное структурирование всех производственных операций и позволяет учитывать технологические параметры, геометрию изделия и требования к качеству на всех стадиях. Такая модель полезна как для проектировщиков, так и для специалистов по технологической подготовке производства.

Разработанные математические модели синтеза станочной системы представляют собой мощный инструмент для выбора оптимального количества и типа оборудования с учетом заданной производственной программы. Это особенно важно при планировании затрат и распределении ресурсов на предприятиях, работающих в условиях гибкого производства.

Практическое применение предложенного подхода возможно при использовании современных САПР систем (SolidWorks, Cimatron и др.), что обеспечивает интеграцию результатов моделирования с реальными производственными процессами. Тем не менее, внедрение

требует наличия квалифицированных специалистов и адаптации нормативной документации под конкретные условия производства.

Таким образом, итерационная модель, функциональный и математический инструментарий позволяют не только повысить эффективность обработки изделия, но и сформировать основу для цифровизации жизненного цикла продукции на машиностроительных предприятиях.

Выводы

В промышленности Республики Казахстан наблюдается тенденция к переходу от крупносерийного производства к среднесерийному и мелкосерийному производству. В этих условиях на передний план выходят опыт и знания профессионалов, способных благодаря многолетнему опыту провести качественную обработку детали без длительного наладочного процесса на станках невысокой точности. Интенсивное развитие современных САПР программ позволяют автоматизировать и повышать качество и производительность многих этапов ЖЦИ изделия.

В ходе данного исследования получена итерационная модель жизненного цикла промышленного изделия «Муфта зубчатая», которая состоит из 7 итераций: сбор информации для технического задания (ТЗ), анализ требований для изделия, конструирование изделия, проектирование изделия (компьютерное моделирование изделия), обработка изделия, ОТК тестирование, сбыт изделия.

При использовании итерационной модели жизненного цикла промышленного изделия «Муфта зубчатая» была сформирована функциональная модель для данного изделия. Из рассмотренной функциональной модели обработки изделия «Муфта зубчатая» можно выделить следующее: на вход поступают информационные потоки, на выходе получаем 3D модель изделия.

Для обработки промышленного изделия «Муфта зубчатая» в виртуальном режиме разработаны математические модели 3-х типов синтеза с характеристиками станочной системы, варьируемыми переменными, ограничениями и целевыми функциями.

Конфликт интересов. Корреспондент автор заявляет, что конфликта интересов нет.

Ссылка на данную статью: Шакенова Ж.Н., Карлинская М.А. Исследование жизненного цикла промышленного изделия «Муфта зубчатая». Вестник Казахского автомобильно-дорожного института = Bulletin of Kazakh Automobile and Road Institute = Kazakh avtomobil-zhol institutynyn Khabarshysy. 2024; 1(5):149-162. <https://doi.org/10.63377/3005-4966.1-2024-14>

Cite this article as: Shakenova Zh.N., Karlinskaya M.A. Issledovanie zhiznennogo cikla promyshlennogo izdeliya «Mufta zubchataya» [Study of the life cycle of an industrial product «Tooth coupling»]. Vestnik Kazahskogo avtomobil'no-dorozhnogoinstituta = Bulletin of Kazakh Automobile and Road Institute = Kazakh avtomobil-zhol institutynyn Khabarshysy. 2024; 1(5):149-165. (In Rus.). <https://doi.org/10.63377/3005-4966.1-2024-14>

Литература

- [1] Калачев О.Н. Моделирование в CAD/CAM Cimatron механообработки на станке с ЧПУ. Ярославль: ЯРГТУ. 2016, 45.
- [2] Беднаржевский В.С. Обзор CAD/CAM/CAE-систем в энергомашиностроении. Барнаул: АлтГТУ им. И.И. Ползунова. 2002, 119-121.
- [3] Яблочников Е.И., Фомина Ю.Н., Саломатина А.А. Компьютерные технологии в жизненном цикле изделия. СПб: СПбГУ ИТМО. 2015, 180.
- [4] Кунву Ли. Основы САПР CAD/CAM/CAE. СПб: Питер. 2014, 560.
- [5] Гольдштейн Г.Я. Инновационный менеджмент. Таганрог: Издательство ТРТУ. 2014, 132.
- [6] ГОСТ 12080-66 (СТ СЭВ 537-77). Концы валов цилиндрические. Основные размеры, допускаемые крутящие моменты.

- [7] ГОСТ 12081-72 (СТ СЭВ 537-77). Концы валов конические с конусностью 1:10. Основные размеры. Допускаемые крутящие моменты.
- [8] ГОСТ 2991-85. Ящики дощатые неразборные для грузов массой до 500 кг.
- [9] ГОСТ 24634-81. Ящики деревянные для продукции, поставляемой для экспорта.
- [10] ГОСТ 12082-82. Обрешетки дощатые для грузов массой до 500 кг.
- [11] Базров Б.М. Основы технологии машиностроения. 4-е изд. М.: Машиностроение. 2017, 736.
- [12] Снаксаров А.М. Оптимизация размещения технологического оборудования гибких производственных систем. Станки и инструмент. 1987; 8:2–4.
- [13] Кудинов А.В. Обоснование уровня автоматизации при создании станочных систем. Станки и инструмент. 1987; 7:7–8.

References

- [1] Kalachev ON. Modelirovanie v CAD/CAM Cimatron mekhanobrabotki na stanke s ChPU [Modeling in CAD/CAM Cimatron for CNC machining]. Yaroslavl: YARGTU. 2016, 45. (in Russ.)
- [2] Bednarzhevskiy VS. Obzor CAD/CAM/CAE-sistem v energomashinostroenii [Overview of CAD/CAM/CAE-systems in power engineering]. Barnaul: AltSTU. 2002, 119-121. (in Russ.)
- [3] Yablochnikov EI, Fomina YuN, Salomatina AA. Komp'yuternye tekhnologii v zhiznennom tsikle izdeliya [Computer technologies in the product life cycle]. St. Petersburg: ITMO University. 2015, 180. (in Russ.)
- [4] Kunvu Li. Osnovy SAPR CAD/CAM/CAE [Fundamentals of CAD/CAM/CAE]. St. Petersburg: Piter. 2014, 560. (in Russ.)
- [5] Goldshtein GYa. Innovatsionnyy menedzhment [Innovation management]. Taganrog: TRTU Publishing. 2014, 132. (in Russ.)
- [6] GOST 12080-66 (ST SEV 537-77). Kontsy valov tsilindricheskie. Osnovnye razmery, dopuskaemye krutyashchie momenty [Cylindrical shaft ends. Basic dimensions and permissible torques]. (in Russ.)
- [7] GOST 12081-72 (ST SEV 537-77). Kontsy valov konicheskie s konusnost'yu 1:10. Osnovnye razmery. Dopuskaemye krutyashchie momenty [Tapered shaft ends with 1:10 taper. Basic dimensions. Permissible torques]. (in Russ.)
- [8] GOST 2991-85. Yashchiki doshatye nerazbornye dlya грузов massoy do 500 kg [Non-detachable wooden crates for loads up to 500 kg]. (in Russ.)
- [9] GOST 24634-81. Yashchiki derevyannye dlya produktsii, postavlyaemoy na eksport [Wooden boxes for export products]. (in Russ.)
- [10] GOST 12082-82. Obreshetki doshatye dlya грузов massoy do 500 kg [Wooden frameworks for loads up to 500 kg]. (in Russ.)
- [11] Bazrov BM. Osnovy tekhnologii mashinostroeniya [Fundamentals of mechanical engineering technology]. 4th ed. Moscow: Mashinostroyeniye. 2017, 736. (in Russ.)
- [12] Snaksarov AM. Optimizatsiya razmeshcheniya tekhnologicheskogo oborudovaniya gibkikh proizvodstvennykh sistem [Optimization of flexible production system equipment layout]. Stanki i instrument = Machine Tools and Equipment. 1987; (8):2–4. (in Russ.)
- [13] Kudinov AV. Obosnovanie urovnya avtomatizatsii pri sozdani stanochnykh sistem [Justification of automation level in creation of machine systems]. Stanki i instrument = Machine Tools and Equipment. 1987; (7):7–8. (in Russ.)