

РАЗРАБОТКА И ОПИСАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЯЧЕЙКИ ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ В ИМИТАЦИОННУЮ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ANYLOGIC

© 2023 А.А. Малютин¹, П.И. Киселева¹, И. Н. Хаймович^{1,2}

¹Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, г. Самара, Россия

²Самарский университет государственного управления «Международный институт рынка», г. Самара, Россия

В статье представлена разработка информационной структуры производственной ячейки (ПЯ). Описываются технологические процессы изготовления деталей, необходимые для получения исходных данных формирования ПЯ. Приводится информация о штучно-калькуляционном времени технологических операций (ТО) изготовления изделий в моделируемом механосборочном цехе по каждой номенклатуре деталей. Описаны элементы ПЯ формирования блока технологических маршрутов и рабочих центров, приводится описание оборудования, которое используется для выполнения операций.

Ключевые слова: оборудование, производственная ячейка, рабочий центр, станок, технологический процесс.

Для разработки имитационной модели управления производственным участком (цехом) необходимо разработать информационную структуру элементов цеха [1 – 5], в дальнейшем будем называть эту информационную структуру производственной ячейкой (ПЯ). Пилотная производственная ячейка должна состоять из производственной цепочки рабочих центров (часть производственного пространства, на котором соответствующим образом организованы производственные ресурсы и труд), включающих ме-

таллообработывающее оборудование для выполнения части операций технологического маршрута изготовления деталей, организованная с целью обработки методов оперативного управления производством с использованием технологий имитационного моделирования [6 – 10].

Исходными данными для формирования пилотной производственной ячейки являются технологические процессы изготовления четырех деталей в цехе (рис. 1 – 4).

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ ЯЧЕЙКА				КАРТА				ТАБЛИЦА ОПЕРАЦИЙ				ТАБЛИЦА ЦЕНТРОВ			
№				№				№				№			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			
детали				детали				детали				детали			

МАРШРУТНАЯ КАРТА				№ заказа		Обозначение детали		Код детали		
						Завихритель		20PY_300.002		
№ операции	№ участка	№ операции	Наименование операции	Классификация	Оборудование			Наименование	Модель	Код
					Наименование	Модель	Код			
		01	Оформление маршрутной карты							
		05	Отрезка заготовки от платформы		дрозини	AZE Agenc				
					станок	Losac				
					пробитка LPM Brass Wire					
		10	Токарная подготовка баз		покрыи	TRAB	Инструмент			
					станок	TAH300	из подбора			
							Операция выполняется			
		15	Токарная		покрыи	TRAB	Инструмент			
					станок	TAH300	из подбора			
							Операция выполняется			
		20	Токарная		покрыи	TRAB	Инструмент			
					станок	TAH300	из подбора			
							Операция выполняется			
		25	Фрезерная		фрезерн	Milton CP	Инструмент			
					станок	800 Duro	из подбора			
							Операция выполняется			
		30	Эрозивная		дрозини	AZE Agenc				
					станок	Losac				
					пробитка LPM Brass Wire					
							Операция выполняется			
				План	ИП Design	Станция	Получил	Дата	ИП Design	
				Технолог					Авант	
				Получил					2	
				Иван ТИ	Иван ТИ	Иван ТИ			Авант	
				Иван ТИ	Иван ТИ	Иван ТИ			2	

МАРШРУТНАЯ КАРТА				№ заказа		Обозначение детали		Код детали		
						Завихритель		20PY_300.002		
№ операции	№ участка	№ операции	Наименование операции	Классификация	Оборудование			Наименование	Модель	Код
					Наименование	Модель	Код			
		35	Эрозивная		дрозини	AZE Agenc				
					станок	SPT				
					электр инструмент					
							Операция выполняется			
		40	Фрезерная нарезка резьбы		фрезерн	Milton CP	Инструмент			
					станок	800 Duro	из подбора			
							Операция выполняется			
		45	Контрольно-измерительная		калибрати- смерительная маши	SEA Data Performance				
							Операция выполняется			
				План	ИП Design	Станция	Получил	Дата	ИП Design	
				Технолог					Авант	
				Получил					2	
				Иван ТИ	Иван ТИ	Иван ТИ			Авант	
				Иван ТИ	Иван ТИ	Иван ТИ			2	

Рисунок 2 – Технологический процесс изготовления детали «завихритель»

МАРШРУТНАЯ КАРТА				№ заказа	Обозначение детали				Код детали			
					Форсунка				20PY_300.003			
№ сериала	№ участка	№ опер.	Наименование операции	наименование	Оборудование			наименование	модель	код		
					наименование	модель	код					
		01	Оформление маршрутной карты									
		05	Отрезка заготовки от платформы	дрозини	AGC Agenc							
				станок	Losac							
				пробитка LPM Brass wire								
		10	Токарная	покрыи	TRAB	Инструмент						
				станок	TNA300	из подбора						
						Операция выполняется						
		15	Контрольно-измерительная	калибрати- смерительная	SEA Data Performance							
				машин		Операция выполняется						

Рисунок 3 – Технологический процесс изготовления детали «форсунка»

МАРШРУТНАЯ КАРТА			№ узла	Обозначение детали	Код детали		
				Втулка форсунки	20877_3027.004		
№ узла	№ узла	№ шаг	Наименование операции	Код	Инструмент		
					Назначение	Материал	Код
		01	Обработка маршрутной карты				
		05	Отрезка заготовки от платформы		электронный станок	ALU Agest	
					пробка EDM brass wire		
		10	Токарная		токарный станок	ТАЛД	Акселером
					ТАЛД	из алмаза	
					Операция продолжается		
		15	Токарная		токарный станок	ТАЛД	Акселером
					ТАЛД	из алмаза	
					Операция продолжается		
		20	Фрезерная		фрезерный станок	Милан 100	Акселером
					100 Duro	из алмаза	
					Операция продолжается		
		25	Фрезерная		электронный станок	ALU Agest	
					SPAT		
					завихритель		
					Операция продолжается		
		30	Контрольно-измерительная		кадровый измеритель	124 Duro	
					измеритель	Роторный	
					милан	Операция продолжается	
Итого			Всего	10	Всего	10	Всего
			Время	10	Время	10	Время
			Стоимость	10	Стоимость	10	Стоимость
			Всего	10	Всего	10	Всего

Рисунок 4 – Технологический процесс изготовления изделия «втулка форсунки»

Также к исходным данным относится информация о штучно-калькуляционном времени технологических операций (ТО) изготовления изделий в моделируемом механо-сборочном цехе по каждой номенклатуре деталей (рис. 5 – 8).

Корпус		
№Операций	Время штучно-калькуляционное, мин	
20		36
25		58,5
30		23
35		55
40		31

Рисунок 5 – Штучно-калькуляционное время ТО изготовления детали «корпус»

Завихритель		
№Операций	Время штучно-калькуляционное, мин	
10		15
15		10
20		15
25		12
30		30
35		105
40		30

Рисунок 6 – Штучно-калькуляционное время ТО изготовления детали «завихритель»

Форсунка		
№Операций	Время штучно-калькуляционное, ми	
5		70
10		70

Рисунок 7 – Штучно-калькуляционное время ТО изготовления детали «форсунка»

Втулка форсунки		
№Операций	Время штучно-калькуляционное, мин	
10		8
15		4
20		3
25		60

Рисунок 8 – Штучно-калькуляционное время ТО изготовления детали «втулка форсунки»

Для выполнения эрозионной операции № 05 (отрезка заготовки от платформы), применяемой на всех деталях, а также операции № 35 (отрезка технологических поддержек), находящейся в технологическом процессе

изготовления детали «корпус», используется электроэрозионный проволочно-вырезной станок Agie Charmilles Agiecut Classic V2. Внешний вид станка представлен на рисунке 9 [11 – 15].



Рисунок 9 – Электроэрозионный проволочно-вырезной станок Agie Charmilles Agiecut Classic V2

При выполнении токарных операций использовался токарно-фрезерный обрабатывающий центр Traub TNA 300, предназначенный для точения изделий на высоких скоростях резания.

Для выполнения фрезерных операций был использован фрезерный обрабатывающий центр Agie Charmilles UCP 800 Duro с пятью осями.

Для выполнения эрозионных операций использовался электроэрозионный прошивочный станок Agie Charmilles Agietron Spirit 2.

При выполнении контрольно-измерительных операций была использована координатно-измерительная машина DEA Global Perfomance 07.10.07.

Для выполнения операции № 10 (слесарная подготовка), которая находится в технологическом процессе изготовления детали «корпус», необходимо использовать слесарный верстак.

В работе предлагается следующее информационное представление ПЯ для имитаци-

онного моделирования работы механосборочного цеха, состоящего из пяти рабочих центров (таблицы 1, 2). ПЯ для имитационной модели должна состоять из трех блоков: блока технологических маршрутов, блока рабочих центров и блока показателей ключевых факторов успеха (KPI) для процессов изготовления всей номенклатуры деталей.

В свою очередь, каждый из рассматриваемых блоков ПЯ имеет свою структуру. Блок технологических маршрутов по каждой номенклатуре деталей должен состоять из следующих систематизированных элементов: порядок по технологическому процессу (ТП), штучное время технологической операции (ТО) в минутах, машинное время ТО в минутах, подготовительно-заключительное время ТО в минутах, время на наладку оборудования в минутах, размер партии запуска в штуках и приоритет обработки для определения последовательности загрузки оборудования в цехе. Структура блока технологических маршрутов представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Элементы ПЯ формирования блока технологических маршрутов

Блок технологических маршрутов	РЦ 1	РЦ 2	РЦ 3	РЦ 4	РЦ 5	РЦ 6
1. Корпус						
Порядок по ТП	1	6	4, 5, 8	7	3, 9	2
Штучное время, мин		23	4-36; 5-58,5; 8-31	55		
Машинное время, мин						

Подготовительно-заключительное время, мин						
Время на наладку, мин						
Размер партии запуска						
Приоритет обработки	1					
2. Завихритель						
Порядок по ТП	1,6	2, 3, 4	5, 8	7	9	
Штучное время, мин	6–30	2–15; 3–10; 4–15	5–12; 8–31	105		
Машинное время, мин						
Подготовительно-заключительное время, мин						
Время на наладку, мин						
Размер партии запуска						
Приоритет обработки	3					
3. Форсунка						
Порядок по ТП	1	2			3	
Штучное время, мин		70				
Машинное время, мин						
Подготовительно-заключительное время, мин						
Время на наладку, мин						
Размер партии запуска						
Приоритет обработки	2					
4. Втулка форсунки						
Порядок по ТП	1	2, 3	4	5	6	
Штучное время, мин		2–8; 3–4	3	60		
Машинное время, мин						
Подготовительно-заключительное время, мин						
Время на наладку, мин						
Размер партии запуска						
Приоритет обработки	4					

Блок рабочих центров по каждому элементу должен хранить информацию для формирования объектов имитационной модели: идентификатор рабочего центра, наименование центра, конкретное обозначение рабочего центра, оборудование центра с позициями (1 – занято, 2 – не занято) для организации последовательно-параллельных

процессов работы центров, оснастка с позициями (0 – нет, 1 – есть) для указания необходимости переналадки оборудования, обозначение инструмента, персонал с указанием позиций (0 – нет, 1 – есть) для организации возможности запуска процесса. Структура блока рабочих центров представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Элементы ПЯ формирования блока рабочих центров (часть таблицы)

Рабочий центр	Наименование	Обозначение	Оборудование	Оснастка	Инструмент	Персонал
РЦ 1	Эрозионный	Agie Charmilles Agiecut Classic V2	1	1 – есть (прижим Id. 156837)	Проволока EDM Brass Wire	1
РЦ 2	Токарный	Traub TNA 300	1	1 – есть Державка: SECO	1. Пластина: SECO CNMG120404-	1

				DCLNL2020K -12; Державка: SECO SVLBL 2020K 16; Державка: SECO CF IR2020K 03; Державка: SECO DCLNL2020K -12; Державка: SECO A 10L-SCLCL06; Державка: SECO A16Q-SCLCL06; державка: TRAUB 320363; Державка: Iscar SGTBU 20-5G 16931-024	MF1; 2. Пластина: SECO VBMT160404-MF, CP500; 3. Пластина: SECO LCGN1603-G60, CP500; 4. Проволока: EDM Brass Wire; 5. КИМ; т.д.	
РЦ 3	Фрезерный	Agie Charmilles UCP 800 Duro	1	1 – есть Патрон: SECO HSKA 63 CCD 24X100 E9304 5872 24100; Патрон: SECO HSKA 63 SFM 12X130 E9304	1. Фреза: yg1 GMG16160 Long C.R. 16(R1)x16x32x9 2; 2. ШЦ-1-150-0,05, ГОСТ 166-89; 3. Фреза: yg1 GMG16906 Long	1
РЦ 3	Фрезерный	Agie Charmilles UCP 800 Duro	1	5801 12130; Патрон: DINOX HSK63A-DMG32-1356l; Державка: WALTER LMB-00 AK500 M5 T36 75; Патрон: SECO E9304 5675 32000; другие виды патронов	C.R. 12(R1)x12x26x8 3; 4. Пластина: WALTER ADMT160630R-F56 WSM 35S; 5. Фреза: SANDVIK R331.35C-040A16DM080 D40_8_R0,8; 6. Пластина: SANDVIK N331.1A-05 45 08H-WL 1030; 7. Центровка: CENTER DRILL 2,5x60° FORM	1

					А; т.д.	
РЦ 4	Эрозионный	Agie Charmilles Agietron Spirit 2	2	0 – нет	Электрод-инструмент; КИМ; Щуп lSp x1	1
РЦ 5	Координатно-измерительная машина	DEA Global Perfomance	2	1 – есть (прижим Id. 154765)	КИМ; Щуп lSp x1	0
РЦ 6	Слесарный	Верстак	2	0 – нет	Напильник	0

Блок ключевых показателей эффективности (КПЭ, или КРІ) по организации оптимальной работы цеха состоит из целевых функций оптимизации, к которым относятся: уменьшение потерь производственного участка, увеличение ценности, определение оп-

тимальных размеров партии запуска и максимизация объема производства. Для каждого КРІ должна быть приведена расчетная формула в ПЯ. Предлагаемая структура блока КРІ показана на рисунке 10.

Показатель КРІ	Формула
Потери производственного участка	
Ценность	
Партия запуска (оптим)	
Объем производства (max)	

Рисунок 10 – Элементы ПЯ формирования блока показателей КРІ

Таким образом, получается полностью формализованная структура производственной ячейки, основанная на понятии рабочего центра, которую можно интегрировать в имитационную модель как основу для моделирования в информационной системе AnyLogic.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках реа-

лизации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства по теме: «Организация высокотехнологичного производства промышленных ГТД с интеллектуальной системой конструкторско-технологической подготовки для повышения функциональных характеристик» (Соглашение о предоставлении гранта № 075-11-2021-042 от 24.06.2021 г.).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Балякин А.В., Смелов В.Г., Проничев Н.Д., Чемпинский Л.А. Активизация проектирования технологической подготовки производства на основе сквозного компьютерного проектирования её этапов // Материалы докладов Международной научно-технической конференции «Проблемы и перспективы развития двигателестроения». – Самара: СГАУ, 2018. – С. 204–206.
2. Кокарева В.В., Смелов В.Г., Шитарев И.Л. Имитационное моделирование производственных процессов в рамках концепции «Бережливого производства» // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королева. – 2012. – Т. 3, № 3(34). – С. 131–136.
3. Колеганова Е.А., Кокарева В.В., Хаймович А.И. Методика определения сроков изготовления новых заказов на единичном производстве и снижения рисков производственной деятельности // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2021. – Т. 23. № 4 (102). – С. 27–34.

4. Колеганова Е.А., Хаймович А.И. Обзор методов решения задач планирования и управления сложными производственными процессами на примере САМ-центра Самарского университета // Вестник Международного института рынка. – 2020. – №1. – С.126–130.
5. Печенин В.А. Методика компенсации погрешностей механической обработки сложно-профильных деталей // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2016. – Т. 15. № 4. – С. 252–264.
6. Проничев Н.Д., Смелов В.Г., Кокарева В.В., Малыхин А.Н. Имитационное моделирование производственной системы механообрабатывающего цеха // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – Т. 15, № 6(4). – С.937–943.
7. Саттарова К.Т., Кокарева В.В. Выявление узких мест ремонтного производства лопаток ГТД на основе имитационного моделирования // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т. 18. № 4–6. – С. 1223–1226.
8. Хаймович И.Н., Скрипачёв Д.Г., Колесникова С.Ю. Имитационное моделирование производственного цикла изготовления провода // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королева. – 2015. – Т. 14, №4. – С. 151–155.
9. Хаймович И.Н., Иващенко А.В., Нечитайло А.А., Ковалькова Е.А. Организация штамповочного производства при использовании области компромисса // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2018. – Т. 20. № 6 (86). – С. 47–52.
10. Хаймович И.Н., Фролов М.А., Куралесова Н.О. Совершенствование технологического процесса многономенклатурного производства на основе имитационного моделирования гибких производственных линий в цехе // Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. – 2016. – Т. 2. № 3. – С. 208–213.
11. Координатно-измерительная машина DEA Global Perfomance 07.10.07 [Электронный ресурс]. – URL: <https://ssau.ru/matbaza/device-66> (дата обращения 13.11.2022).
12. Токарно-фрезерный обрабатывающий центр Traub TNA 300 [Электронный ресурс]. – URL: <https://ssau.ru/matbaza/device-65> (дата обращения 04.11.2022).
13. Фрезерный обрабатывающий центр Agie Charmilles UCP 800 Duro [Электронный ресурс]. – URL: <https://ssau.ru/matbaza/device-61> (дата обращения 07.11.2022).
14. Электроэрозионный проволочно-вырезной станок Agie Charmilles Agiecut Classic V2 [Электронный ресурс]. – URL: <https://ssau.ru/matbaza/device-57> (дата обращения 01.11.2022).
15. Электроэрозионный прошивочный станок Agie Charmilles Agietron Spirit 2 [Электронный ресурс]. – URL: <https://ssau.ru/matbaza/device-60> (дата обращения 11.11.2022).

DEVELOPMENT AND DESCRIPTION OF THE STRUCTURE OF THE PRODUCTION CELL FOR INTEGRATION IN THE SIMULATION MODEL OF THE ANYLOGIC SYSTEM

© 2023 Artem A Malyutin¹, Polina I. Kiseleva¹, Irina N. Khaimovich^{1,2}

¹Samara National Research University named after academician S.P. Korolev, Samara, Russia

²Samara University of Public Administration
“International Market Institute”, Samara, Russia

The article presents the development of the information structure of the work cell (WC). The authors describe technological processes of parts manufacturing, which are necessary for obtaining the initial data on the formation of the WC. The article provides information on the piece-calculation time of technological operations (TO) for the manufacture of products in a simulated mechanical assembly shop for each nomenclature of parts. The elements of the WC for the formation of a block of technological routes and work centers are described; a description of the equipment used to perform operations is given.

Keywords: equipment, production cell, work center, machine tool, technological process.