

КОМПЬЮТЕРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

УДК 65.011.56: 004.021

А. В. Бобов, А. А. Большаков

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ НА ИЗДЕЛИЕ В САПР

Введение

Для промышленных предприятий важна проблема сокращения времени постановки изделий на производство от окончания разработки (или доработки) изделия до начала его изготовления. Необходимым шагом к решению проблемы является автоматизация процесса постановки изделий на производство, или конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП). Теоретически оптимальным решением проблемы автоматизации КТПП считается приобретение готового специального программного обеспечения и его единовременная полная настройка под нужды предприятия. Однако на практике полная автоматизация КТПП «в один прием» обычно невозможна, поэтому актуальна задача автоматизации КТПП поэтапно и определения очередности этапов.

Целесообразно установить очередность автоматизации этапов КТПП в порядке убывания экономии времени от автоматизации заданного этапа. Для этого необходимо найти оптимальный алгоритм определения предполагаемой экономии времени от автоматизации каждого этапа.

При создании и реализации проекта автоматизации КТПП на базе Саратовского электроприборостроительного завода нами предложено определить экономию времени как разность времени разработки документов заданного вида вручную и автоматизированным способом. Предложен метод определения времени, необходимого для разработки различных видов технологических документов (ТД). Отдельно рассмотрена ручная и автоматизированная разработка документов. При этом установлено, что предложенный метод расчета времени может быть использован, кроме определения экономии времени, также для определения зависимости времени разработки технологической документации на изделие от выполнения отдельных действий при разработке документов.

В статье рассмотрена зависимость времени разработки технологической документации на изделие от среднего времени выполнения чертежа (эскиза) в системе автоматизированного проектирования (САПР) T-Flex CAD технологами предприятия при разработке технологической документации. Для этого в п. 1 описан метод формализации процесса КТПП: приведен набор документов, которые необходимо разработать, установлены формулы определения времени, а также величины, численные значения которых необходимо получить. В п. 2 определены численные значения времени заполнения полей ТД различными способами. В п. 3 определена зависимость времени разработки ТД от значений времени заполнения полей ТД каждым способом. На основе приводимых формул в п. 4 оценена зависимость времени разработки ТД от времени выполнения эскиза в САПР.

1. Формализация процесса КТПП

Понимая КТПП изделия как создание набора ТД, формализуем КТПП в виде процесса последовательного составления (заполнения) ТД на основе данных конструкторской спецификации, конструкторского чертежа и нормативной документации.

Для формализации КТПП проведен анализ ГОСТ [1] и стандартов предприятия (СТП), определяющих виды и порядок формирования ТД, а также имеющихся на предприятии типовых технологических процессов (ТП). Анализ показал следующее:

1. При запуске в производство нового изделия разрабатываются следующие единичные (маршрутно-операционные) технологические процессы (ТП):

- на каждую сборочную единицу – ТП сборки;
- на каждую деталь, изготавливаемую из пластмасс – ТП изготовления деталей из пластмасс (ТП ИДП);
- на каждую деталь, кроме деталей, изготавливаемых из пластмасс – ТП механической обработки (ТП МО).

Остальные возможные ТП (литье из металла, покраска и пр.) существуют в виде ТТП. В случае необходимости на них приводится ссылка при разработке ТП (пример: «Изготовить отливку согласно операции № 5 ТТП 4802-Т-255»).

2. Поставленная задача ограничена рамками создания нового изделия, поэтому для формализации представляют интерес только единичные ТП: ТП сборки, ТП ИДП, ТП МО.

3. Единичные ТП могут содержать следующие ТД: титульный лист, маршрутная карта, карта эскизов, операционная карта механической обработки (ОК МО), операционная карта слесарных, слесарно-сборочных и электромонтажных работ (ОК СЭР), операционная карта изготовления деталей из пластмасс (ОК ИДП), операционная карта технического контроля (ОК ТК), комплектовочная карта.

4. Конструкторско-технологическая подготовка производства требует также разработки ряда ТД, которые формально не входят в ТП, а именно: ведомость материалов, заказ на изготовление технологического оснащения (ТО), график проектирования и изготовления ТО, технологическая спецификация.

Результаты анализа представлены в табл. 1, где 1 – данный ТД входит в ТП в количестве строго 1 шт.; М – данный ТД может входить в ТП в любом количестве или не входить вообще; (пустая ячейка) – данный ТД не входит в данный ТП.

ТД приведены в порядке их разработки при создании нового изделия.

Таблица 1

Технологические документы, разрабатываемые при запуске в производство нового изделия

№	Технологический документ	В составе отдельных ТП на деталь или сборочную единицу			На изделие в целом
		В составе ТП сборки	В составе ТП ИДП	В составе ТП МО	
1	Титульный лист	1	1	1	
2	Маршрутная карта	1	1	1	
3	ОК ИДП		М		
4	ОК МО		М	М	
5	ОК СЭР	М			
6	Карта эскизов	М	М	М	
7	ОК ТК	М	М	М	
8	Комплектовочная карта	1			
9	Ведомость материалов	1			
10	Технологическая спецификация	1			
11	Заказ на изготовление ТО	М	М	М	
12	График проектирования и изготовления ТО				1

Для дальнейшей формализации присвоим индексы каждому ТД табл. 1 следующим образом: i – порядковый номер ТП; j – порядковый номер ТД в рамках каждого ТП (табл. 2).

Таблица 2

Индексы рассматриваемых технологических документов

№	Технологический документ	В составе отдельных ТП на деталь или сборочную единицу			На изделие в целом, $i = 4$
		ТП сборки, $i = 1$	ТП ИДП, $i = 2$	ТП МО, $i = 3$	
1	Титульный лист	$i = 1, j = 1$	$i = 2, j = 1$	$i = 3, j = 1$	
2	Маршрутная карта	$i = 1, j = 2$	$i = 2, j = 2$	$i = 3, j = 2$	
3	ОК ИДП		$i = 2, j = 3$		
4	ОК МО		$i = 2, j = 4$	$i = 3, j = 3$	
5	ОК СЭР	$i = 1, j = 3$			
6	Карта эскизов	$i = 1, j = 4$	$i = 2, j = 5$	$i = 3, j = 4$	

Продолжение табл. 2

№	Технологический документ	В составе отдельных ТП на деталь или сборочную единицу			На изделие в целом, $i = 4$
		ТП сборки, $i = 1$	ТП ИДП, $i = 2$	ТП МО, $i = 3$	
7	ОК ТК	$i = 1, j = 5$	$i = 2, j = 6$	$i = 3, j = 5$	
8	Комплектовочная карта	$i = 1, j = 6$			
9	Ведомость материалов	$i = 1, j = 7$			
10	Технологическая спецификация	$i = 1, j = 8$			
11	Заказ на изготовление ТО	$i = 1, j = 9$	$i = 2, j = 7$	$i = 3, j = 6$	
12	График проектирования и изготовления ТО				$i = 4, j = 1$

Согласно табл. 1 и 2, суммарное время разработки ТД для КТПП изделия может быть выражено формулой

$$T^{\Sigma} = \sum_{i=1}^n c_i^{TP} T_i^{TP} + T_{4,1}^D, \quad (1)$$

где $n = 3$ – количество видов ТП в модели; c_i^{TP} – количество ТП вида i в изделии; T_i^{TP} – время разработки одного ТП вида i (суммарное время разработки всех ТД, входящих в ТП вида i); i – номер ТП: $i = 1$ – ТП сборки, $i = 2$ – ТП ИДП, $i = 3$ – ТП МО; $T_{4,1}^D$ – время разработки ТД с индексом 4,1 (согласно табл. 2).

Время разработки одного ТП может быть выражено формулой

$$T_i^{TP} = \sum_{j=1}^{n_i} c_{i,j}^D T_{i,j}^D, \quad (2)$$

где n_i – количество видов ТД в ТП вида i ($n_1 = 9, n_2 = 7, n_3 = 6$ согласно табл. 2); $c_{i,j}^D$ – количество ТД вида j в ТП вида i , причем: $c_{11} = c_{12} = c_{16} = c_{17} = c_{18} = c_{21} = c_{22} = c_{31} = c_{32} = c_4 = 1$ (соответствующие документы необходимы в количестве строго 1 шт.), $c_{13}, c_{14}, c_{15}, c_{19}, c_{23}, c_{24}, c_{25}, c_{26}, c_{27}, c_{33}, c_{34}, c_{35}, c_{36}$ в общем случае не равно 1; $T_{i,j}^D$ – время разработки одного документа вида j для ТП вида i .

Из (1) и (2) получим выражение суммарного времени разработки ТД на изделие через время разработки отдельных документов:

$$T^{\Sigma} = \sum_{i=1}^n c_i^{TP} \sum_{j=1}^{n_i} c_{i,j}^D T_{i,j}^D + T_{4,1}^D. \quad (3)$$

Время разработки отдельного документа фактически представляет собой время заполнения бланка этого документа.

Оценим время заполнения одного документа. Технологический документ в общем случае представляется состоящим из заголовка и тела документа:

$$D = (C, M), \text{ или } D = ([C_1 \dots C_n], [[M_{11} \dots M_{1m}] \dots [M_{k1} \dots M_{km}]])$$

где заголовок C представляет собой список параметров $C_1 \dots C_n$; тело M представляет собой таблицу параметров вида табл. 3.

Таблица 3

Параметры тела документа

M_{11}		M_{k1}
	...	
M_{1m}		M_{km}

В этом случае время заполнения документа может быть выражено суммой времени заполнения заголовка и тела документа:

$$T_{i,j}^D = T_{i,j}^C + T_{i,j}^M = \sum_{x=1}^{m_{i,j}} p_{C_x}^{i,j} t_{C_x}^{i,j} + c_{i,j}^{Str} \sum_{y=1}^{k_{i,j}} p_{M_y}^{i,j} t_{M_y}^{i,j}, \quad (4)$$

где $T_{i,j}^C$ – время заполнения заголовка; $T_{i,j}^M$ – время заполнения тела; $m_{i,j}$ – количество параметров заголовка; $c_{i,j}^{Str}$ – количество строк тела, причем $c_{11} = c_{21} = c_{31} = c_{14} = c_{25} = c_{34} = c_{19} = c_{27} = c_{36} = 0$ (эти ТД не имеют табличной части), прочие $c_{i,j} > 0$; $k_{i,j}$ – количество параметров в строке тела; $t_{C_x}^{i,j}$ – время заполнения параметра C_x заголовка; $t_{M_y}^{i,j}$ – время заполнения параметра M_y тела (на пересечении столбца y и строки 1 таблицы параметров тела (табл. 3)); $p_{C_x}^{i,j}$ – вероятность необходимости заполнения параметра C_x заголовка; $p_{M_y}^{i,j}$ – вероятность необходимости заполнения параметра M_y тела для документа вида j при разработке ТП вида i .

Все параметры заголовка документа обязательно должны быть заполнены, поэтому справедливо утверждение: $\forall i \forall j \forall x \ p_{C_x}^{i,j} = 1$. Тогда можно исключить $p_{C_x}^{i,j}$ из (4):

$$T_{i,j}^D = \sum_{x=1}^{m_{i,j}} t_{C_x}^{i,j} + c_{i,j}^{Str} \sum_{y=1}^{k_{i,j}} p_{M_y}^{i,j} t_{M_y}^{i,j}. \quad (5)$$

Подставляя формулу времени заполнения документа (5) в формулу времени разработки ТП (2), а (2) – в формулу времени разработки всей ТД (1), получим выражение времени разработки всей ТД для КТПП изделия через время заполнения параметров заголовков и тел всех документов:

$$T^\Sigma = \sum_{i=1}^n c_i^{TP} \sum_{j=1}^{n_i} c_{i,j}^D \left(\sum_{x=1}^{m_{i,j}} t_{C_x}^{i,j} + c_{i,j}^{Str} \sum_{y=1}^{k_{i,j}} p_{M_y}^{i,j} t_{M_y}^{i,j} \right), \quad (6)$$

где $t_{C_x}^{i,j}$, $t_{M_y}^{i,j}$ – время заполнения параметров C_x и M_y документа; $p_{M_y}^{i,j}$ – вероятность необходимости заполнения параметра M_y документа; $c_{i,j}^{Str}$ – количество строк тела документа для документа вида j при разработке ТП вида i .

Из (6) следует, что для расчета времени разработки всей ТД на изделие, представленной в табл. 1, необходимо установить значения следующих параметров (приведены в порядке формализации):

1. c_i^{TP} – количество ТП вида i в изделии (c_1^{TP} , c_2^{TP} , c_3^{TP});
2. $c_{i,j}^D$ – количество ТД вида j в ТП вида i , причем только для значений c_{13}^D , c_{14}^D , c_{15}^D , c_{19}^D , c_{23}^D , c_{24}^D , c_{25}^D , c_{26}^D , c_{27}^D , c_{33}^D , c_{34}^D , c_{35}^D , c_{36}^D (остальные = 1);
3. $c_{i,j}^{Str}$ – количество строк тела, причем только для значений c_{12}^{Str} , c_{22}^{Str} , c_{32}^{Str} , c_{23}^{Str} , c_{24}^{Str} , c_{33}^{Str} , c_{13}^{Str} , c_{15}^{Str} , c_{26}^{Str} , c_{35}^{Str} , c_{16}^{Str} , c_{17}^{Str} , c_{18}^{Str} , c_{41}^{Str} (остальные = 0);
4. $t_{C_x}^{i,j}$ – время заполнения параметра C_x заголовка;
5. $t_{M_y}^{i,j}$ – время заполнения параметра M_y тела;
6. $p_{M_y}^{i,j}$ – вероятность необходимости заполнения параметра M_y тела, причем только для значений p_{12}^{12} , p_{22}^{22} , p_{32}^{32} , p_{23}^{23} , p_{24}^{24} , p_{33}^{33} , p_{13}^{13} , p_{15}^{15} , p_{26}^{26} , p_{35}^{35} , p_{16}^{16} , p_{17}^{17} , p_{18}^{18} , p_{41}^{41} (остальных значений не существует, для них $k_{i,j} = 0$).

Покажем пример подсчета количества значений для одного документа на примере ОК МО. Так, ОК МО имеет следующие параметры:

Параметры заголовка C :	Параметры тела M :
C_1 – Обозначение детали	M_1 – Номер перехода
C_2 – Наименование детали	M_2 – Содержание перехода
C_3 – Обозначение ОК	M_3 – Инструмент вспомогательный
C_4 – Номер цеха	M_4 – Инструмент режущий
C_5 – Номер участка	M_5 – Инструмент измерительный
C_6 – Номер операции	
C_7 – Наименование операции	
C_8 – Материал	
C_9 – Заготовка: профиль и размеры	
C_{10} – Количество одновременно изготавливаемых деталей (КОИД)	
C_{11} – Оборудование	
C_{12} – Приспособление	
C_{13} – Номер извещения	
C_{14} – Разработал	
C_{15} – Дата разработки.	

В табл. 2 данный ТД приведен дважды (с индексами $i = 2, j = 4$ и $i = 3, j = 3$). Таким образом, для $i = 2, j = 4$ и $i = 3, j = 3$ количество $m_{i,j} = 15$ и $k_{i,j} = 5$, т. е. данный ТД имеет 15 значений параметров $t_{Cx}^{i,j}$ и по 5 значений параметров $p_{My}^{i,j}$ и $t_{My}^{i,j}$.

Согласно табл. 2, всего имеется 23 вида ТД (ТД одного вида, входящие в различные ТП, считаются разными видами ТД). Всего для проведения расчета по 23 видам ТД требуется: значений c_i^{TP} – 3 шт., значений $c_{i,j}^D$ – 13 шт., значений $c_{i,j}^{Str}$ – 14 шт., значений $t_{Cx}^{i,j}$ – 223 шт., значений $t_{My}^{i,j}$ – 94 шт., значений $p_{My}^{i,j}$ – 94 шт.

Значения c_i^{TP} , $c_{i,j}^D$, $c_{i,j}^{Str}$, $p_{My}^{i,j}$ определены путем подбора и анализа ранее разработанных ТД соответствующих видов в составе ТП изготовления изделий. Метод определения значений времени $t_{Cx}^{i,j}$, $t_{My}^{i,j}$ приведен в п. 2.

2. Определение значений времени заполнения полей ТД

Для снижения количества требуемых значений времени предположим, что значения $t_{Cx}^{i,j}$ и $t_{My}^{i,j}$ времени заполнения поля документа вручную в среднем одинаковы для полей, заполняемых одинаковыми способами. Способы заполнения полей ТД вручную приведены в табл. 4. В этом случае для проведения расчета по 23 видам ТД требуется 9 значений τ_i , а не $223 + 94 = 317$ значений, как ранее.

Таблица 4

Способы заполнения полей документов вручную

№	Способ заполнения	Обозначение	Время заполнения
1	Присвоение порядкового номера без обращения к другим документам	H1	τ_{H1}
2	Присвоение порядкового номера путем обращения к другому документу	H2	τ_{H2}
3	Переписывание значения из документа, находящегося рядом	Д1	τ_{D1}
4	Подбор нужного значения из известного множества без обращения к другим документам	П1	τ_{P1}
5	Подбор нужного значения из известного множества путем обращения к другому документу	П2	τ_{P2}
6	Обдумывание (заполнение значения, не существующего ранее)	O1	τ_{O1}
7	Вычисление значения	B	τ_B
8	Черчение (изготовление эскиза)	Ч1	$\tau_{Ч1}$
9	Проставление фамилии или даты	Ф1	$\tau_{Ф1}$

Предположим также, что значения времени заполнения поля документа при автоматизированном (с помощью ПК) формировании ТД тоже в среднем одинаковы для полей, заполняемых одинаковыми способами. Способы автоматизированного заполнения полей ТД приведены в табл. 5. В этом случае требуется 18 значений τ_i (9 значений при заполнении вручную и 9 значений при заполнении автоматизированным способом).

Таблица 5

Способы заполнения полей документов автоматизированным способом

№	Способ заполнения	Обозначение	Время заполнения
А. Заполнение с участием пользователя (автоматизированно)			
1	Ручной ввод числового значения	P2	τ_{P2}
2	Обдумывание (заполнение значения, не существующего ранее) и ручной ввод	O2	τ_{O2}
3	Выбор из списка	C	τ_C
4	Черчение (изготовление эскиза), сохранение файла, указание пути файла в поле документа	Ч2	$\tau_{Ч2}$
Б. Заполнение без участия пользователя (автоматически)			
5	Присвоение порядкового номера путем обращения к базе подобных значений	H3	τ_{H3}
6	Присвоение порядкового номера записям, следующим подряд	H4	τ_{H4}
7	Перенос значения из поля другого документа	D2	τ_{D2}
8	Ввод значения в зависимости от значения в другом поле (после его заполнения или выбора) или предопределенного значения (наименования ТД)	A	τ_A
9	Проставление фамилии (имени пользователя) или даты (сегодняшней)	Ф2	$\tau_{Ф2}$

Из табл. 4, 5 видно, что:

– значения табл. 4, а также значения раздела А табл. 5 являются временем выполнения соответствующих действий человеком и могут быть установлены путем опроса экспертов;

– значения раздела Б табл. 5 представляют собой время обработки данных компьютером и могут быть измерены соответствующими программными средствами.

В качестве экспертов опрошено 4 технолога – опытных разработчика ТД. Экспертам был задан вопрос: «Сколько времени занимает у Вас заполнение поля документа данным способом?» по каждому способу заполнения документа «вручную» и «автоматически с участием пользователя». Эксперты формулировали ответ или производили замеры времени. Результат представлен в табл. 6.

Таблица 6

Результат опроса экспертов

№	Параметр	Обозначение	Показания экспертов				Средние значения, с
			№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	
Заполнение вручную							
1	Присвоение порядкового номера без обращения к другим документам	τ_{H1}	1,5 с	1,4 с	1,5 с	1 с	1,35
2	Присвоение порядкового номера путем обращения к другому документу	τ_{H2}	10 с	11,7 с	5–10 с	10–20 с	11,05
3	Переписывание значения из документа, находящегося рядом	τ_{D1}	5,9–6,5 с	22 с	12 с	5–6 с	11,43
4	Подбор нужного значения из известного множества без обращения к другим документам	$\tau_{П1}$	20 с	5,9 с	3–5 мин	2–10 с	67,98
5	Подбор нужного значения из известного множества путем обращения к другому документу	$\tau_{П2}$	1,40–2,55 мин	28 с	7–10 мин	5 мин	243,88
6	Обдумывание (заполнение значения, не существующего ранее)	τ_{O1}	1–5 мин	4 мин 07 с	3–5 мин	5–10 мин	279,25
7	Вычисление значения	τ_B	5 мин	25 с	1–30 мин	30 с	321,25
8	Черчение (изготовление эскиза)	$\tau_{Ч1}$	5–10 мин	1,5–20 мин	10 мин – 12 ч	20–30 мин	6 123,75
9	Проставление фамилии или даты	$\tau_{Ф1}$	10 с	5,27 с	4 с	10 с	7,32
Заполнение автоматизированное с участием пользователя							
1	Ручной ввод числового значения	τ_{P2}	12 с	2,67 с	4,3 с	2 с	5,24
2	Обдумывание (заполнение значения, не существующего ранее) и ручной ввод	τ_{O2}	30 с	4 мин 07 с	3–5 мин	5–10 мин	241,75
3	Выбор из списка	τ_C	20 с	13 с	9 с	10 с	13,00
4	Черчение (изготовление эскиза) в САПР, сохранение файла, указание пути файла в поле документа	$\tau_{Ч2}$	20 мин	2,7–36 мин	10 мин – 12 ч	10–15 мин	6 252,75

Время выполнения действий из раздела Б табл. 5 измерено с помощью разработанной для этого программы. Программа выполнена по 5 раз на 5 различных ПК. Результат замера времени приведен в табл. 7.

**Результат измерения времени автоматической обработки данных
при заполнении полей документа**

№	Параметр	Обозначение	Средние значения, мкс
Заполнение автоматическое без участия пользователя			
5	Присвоение порядкового номера путем обращения к базе подобных значений	$\tau_{н3}$	52,7
6	Присвоение порядкового номера записям, следующим подряд	$\tau_{н4}$	36,1
7	Перенос значения из поля другого документа	$\tau_{л2}$	9,9
8	Ввод значения в зависимости от значения в другом поле (после его заполнения или выбора) или предопределенного значения (наименования ТД)	τ_{Λ}	5,6
9	Проставление фамилии (имени пользователя) или даты (сегодняшней)	$\tau_{\Phi 2}$	14,1

Из табл. 6, 7 видно, что на действия человека затрачено время порядка минут, тогда как на действия ПК по обработке данных затрачено время порядка микросекунд, поэтому можно пренебречь микросекундами в дальнейших подсчетах и время обработки данных на ПК не учитывать.

3. Определение степени зависимости времени разработки ТД от значения величин τ_{ω}

Раскрыв скобки в (6), можно записать T^{Σ} как сумму всех t , где при каждом t имеется соответствующий коэффициент:

$$T^{\Sigma} = \sum_{i=1}^n c_i^{TP} \sum_{j=1}^{n_i} c_{i,j}^D c_{i,j}^{Str} \sum_{y=1}^{k_{i,j}} p_{i,j,y} t_{i,j,y}. \quad (7)$$

Значения t могут быть сгруппированы методом, изложенным в п. 2, поэтому формула (7) может быть приведена к виду

$$T^{\Sigma} = K_1 \tau_1 + K_2 \tau_2 + \dots + K_q \tau_q = \sum_{\omega=1}^q K_{\omega} \tau_{\omega}, \quad (8)$$

где $q = 9$ – количество значений τ (групп работ по способу выполнения); $K_{\omega} = f_{\omega}(c_i^{TP}, c_{i,j}^D, c_{i,j}^{Str}, p_{M_y}^{i,j})$ – сводный коэффициент.

Вычисляя значения K_{ω} и считая их весовыми коэффициентами, показывающими степень важности соответствующего τ_{ω} в значении результата T^{Σ} , возможно планировать управление значениями τ_{ω} для уменьшения целевой функции T^{Σ} .

Так, получая на основе (8) функции зависимости

$$T^{\Sigma} = f(\tau_{\omega}) \quad (9)$$

для любого τ_{ω} и анализируя график зависимости $T^{\Sigma} = f(\tau_{\omega})$ на области определения, допустимой для τ_{ω} , можно принимать решения об изменении значения соответствующего τ_{ω} с целью оптимизации T^{Σ} .

4. Определение зависимости времени разработки ТД от времени выполнения эскиза

Согласно табл. 6, выполнение эскиза занимает в среднем: от руки – $\tau_{ч1} = 6\,123,75$ с, на ПК – $\tau_{ч2} = 6\,252,75$ с (больше, чем от руки), т. е. экономия времени от автоматизации КТПП не столь велика, сколь могла бы быть. Предположительно, повышение квалификации сотрудников, выполняющих эскизы в САПР на ПК, уменьшит значение $\tau_{ч2}$ и тем самым увеличит экономию времени. Оценим зависимость (9) для $\tau_{ч2}$, т. е. $T^{\Sigma} = f(\tau_{ч2})$, используя предложенный нами метод, изложенный в данной работе, и экспертную систему на его основе.

Результаты оценки приведены на рис. 1–4.

На рис. 1 показаны две характеристики:

– зависимость времени автоматизированной разработки одного экземпляра карты эскизов от значения времени $\tau_{ч2}$;

– зависимость экономии времени от автоматизации разработки карт эскизов (при разработке одного экземпляра карты эскизов) от значения времени $\tau_{ч2}$.

Рассмотрены возможные значения $\tau_{ч2}$ от 500 с до реального значения 6 252,75 с. Можно видеть, что при $\tau_{ч2} = 6\ 252,75$ с величина экономии отрицательна, т. к. $\tau_{ч2} > \tau_{ч1}$ (экономии не происходит). Из рис. 1 также следует, что при уменьшении $\tau_{ч2}$ уменьшается время разработки документа и увеличивается предполагаемое количество сэкономленного времени при автоматизации разработки данного документа.

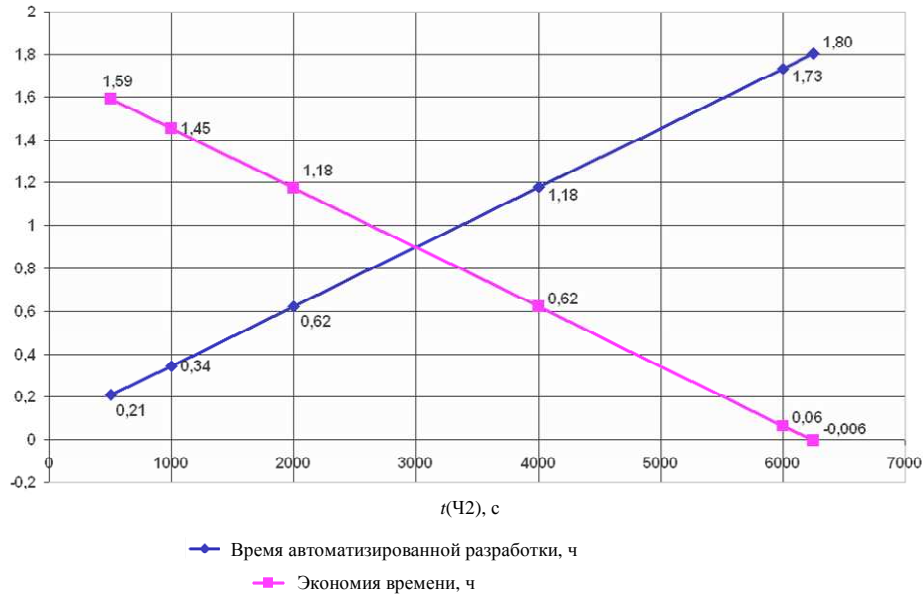


Рис. 1. Временные зависимости автоматизированной разработки и экономии времени для карты эскизов

На рис. 2 аналогичным образом рассмотрено время разработки ТП ИДП, на рис. 3 – ТП МО. На рис. 4 рассмотрена экономия времени при автоматизации всего набора ТД – при значениях $\tau_{ч2}$ от 500 с до реального значения 6 252,75 с.

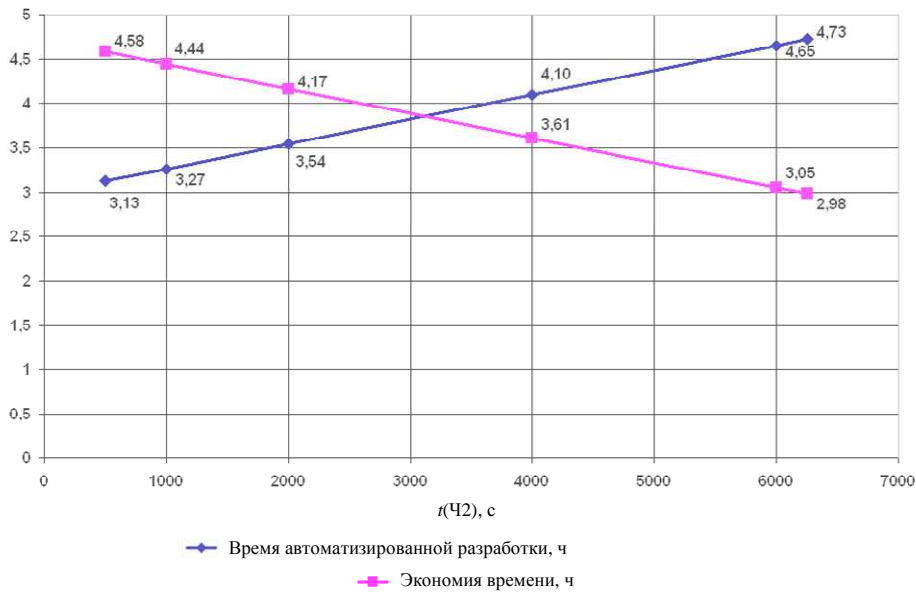


Рис. 2. Временные зависимости автоматизированной разработки и экономии времени для ТП ИДП

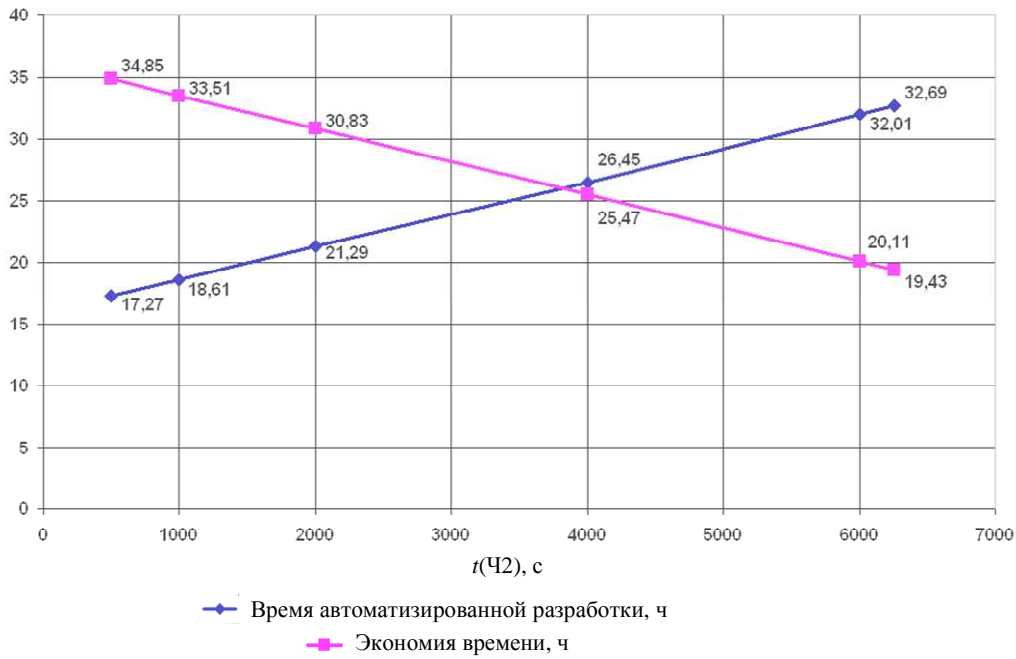


Рис. 3. Временные зависимости автоматизированной разработки и экономии времени для ТП МО

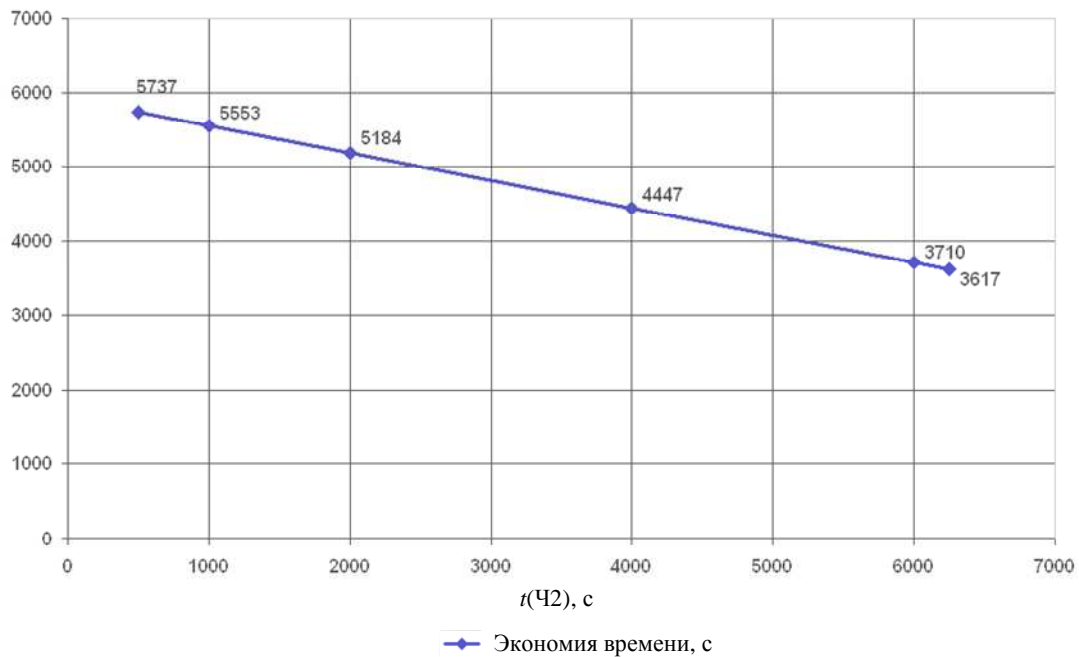


Рис. 4. Экономия времени при автоматизации всего набора ТД

При анализе данных рис. 1–4 становится очевидно, что незначительное уменьшение значения $t_{\text{Ч}_2}$ будет существенно увеличивать экономию времени в абсолютных единицах. Так, представляется весьма вероятным, что приумножение сотрудниками, разрабатывающими ТД, опыта работы в САПР снизит значение $t_{\text{Ч}_2}$ в 1,5 раза (с 6 252,75 до 4 000 с) и, согласно данным рис. 4, увеличит общее сэкономленное время с 3 617 до 4 447 ч, дав, таким образом, дополнительную экономию в 830 ч.

Из полученных данных следует вывод: приумножение разработчиками ТД опыта и совершенствование навыков работы в САПР целесообразны для рассматриваемого предприятия, т. к. уменьшают на сотни часов (в перспективе до тысяч часов, а для сложных изделий и более) время разработки технологической документации на изделие.

Заключение

Предложен метод формализации КТПП, а также уменьшения количества рассматриваемых однотипных параметров (в случае их относительно большого количества) на основе их группирования по выбранному признаку и дальнейшего рассмотрения полученных групп. Сделан вывод о целесообразности повышения квалификации разработчиков ТД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *ГОСТ 3.1105–74*. Единая система технологической документации. Правила оформления документов общего назначения.

Статья поступила в редакцию 14.12.2010

OPTIMIZATION OF WORKING OUT OF THE DESIGN TECHNOLOGICAL DOCUMENTATION ON THE PRODUCT IN CAD-SYSTEM

A. V. Bobov, A. A. Bolshakov

The urgency of definition of sequence of automation of stages of design technological preparation of manufacture is shown. The method of its formalization is offered. The parameters influencing the time which is necessary for working out of the technological documentation are revealed. The dependence of time of its working out on time of filling of fields in the various ways and also on time of performance of the sketch in CAD-system are defined.

Key words: design technological preparation of manufacture, optimization, time dependences of working out of the technological documentation.