



The algorithmic schemas of building of solid models of casting objects in CAD-systems are described. The ways of optimization of the algorithmic schemas constructions for creation of multivariant solid modifications of the object with the purpose of modeling of technological processes are shown.

А. Н. ЧИЧКО, Т. В. МАТЮШИНЕЦ, В. Ф. СОБОЛЕВ, БНТУ

УДК 669.27:519

О ПРОБЛЕМАХ РАЗРАБОТКИ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ АЛГОРИТМОВ НАНЕСЕНИЯ ПРИПУСКОВ И УКЛОНОВ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Одной из важнейших задач автоматизированного проектирования является задача разработки алгоритмов для оптимизации построения твердотельных моделей. Известно, что одну и ту же твердотельную модель можно построить в CAD-системе различными способами, которые в значительной степени зависят от уровня компьютерной подготовки пользователя. Активное использование на промышленных предприятиях в конструкторских отделах систем автоматизированного проектирования (CAD-систем) требует высокого уровня подготовки молодых специалистов. На первое место выходят такие навыки, как знание общих принципов проектирования в CAD-системе; умение быстро и главное качественно редактировать построенную геометрию в соответствии с изменениями технологии изготовления отливки.

Одна из сложнейших задач проектирования технологии – этап перехода от геометрии детали к геометрии отливки. На этом этапе выявляется большинство недочетов, допущенных при проектировании геометрии детали, а также появляются определенные трудности по нанесению припусков и уклонов на различные поверхности детали. Часто проблемным является преобразование 3D-детали в 3D-отливку и в таких случаях возникает необходимость проектировать 3D-отливку с чистого листа.

Анализ литературных данных показывает, что в настоящее время нет общепринятых алгоритмов по нанесению припусков и уклонов в системе компьютерного проектирования, способных помочь инженеру в его работе на этапе преобразования 3D-геометрии детали в 3D-отливку. Как правило, CAD-системы предоставляют пользователям функцию по нанесению уклона, однако применение этой функции к поверхностям сложных объектов проблематично. Например, нанесение

литейных уклонов на деталь (рис. 1) в соответствии с обозначенной линией разреза не представляет сложности с использованием стандартной процедуры *уклон*.

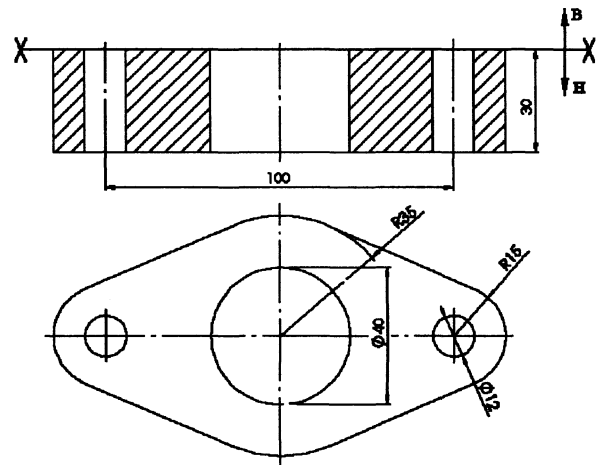


Рис. 1. Рассматриваемая деталь с указанной плоскостью разреза

Для этого требуется выбрать *уклон* с панели инструментов *Элементы* и последовательно задать в появившемся меню нейтральную плоскость (рис. 2, а), грани под уклон (рис. 2, б) и необходимый угол уклона (рис. 2, в). Уклон в этом случае создается автоматически (рис. 2, г).

Однако нанесение двустороннего уклона на ту же деталь, но с линией разреза (рис. 3) стандартными средствами SolidWorks затруднительно.

В таких случаях конструктору приходится прибегать к некоторым ухищрениям для создания припуска либо уклона на поверхности сложного объекта. Количество вариантов, которыми располагает конструктор, во многом зависит от правильности построения начальной геометрии детали. Решение задачи нанесения припусков и уклонов в этом случае скорее лежит в области логики

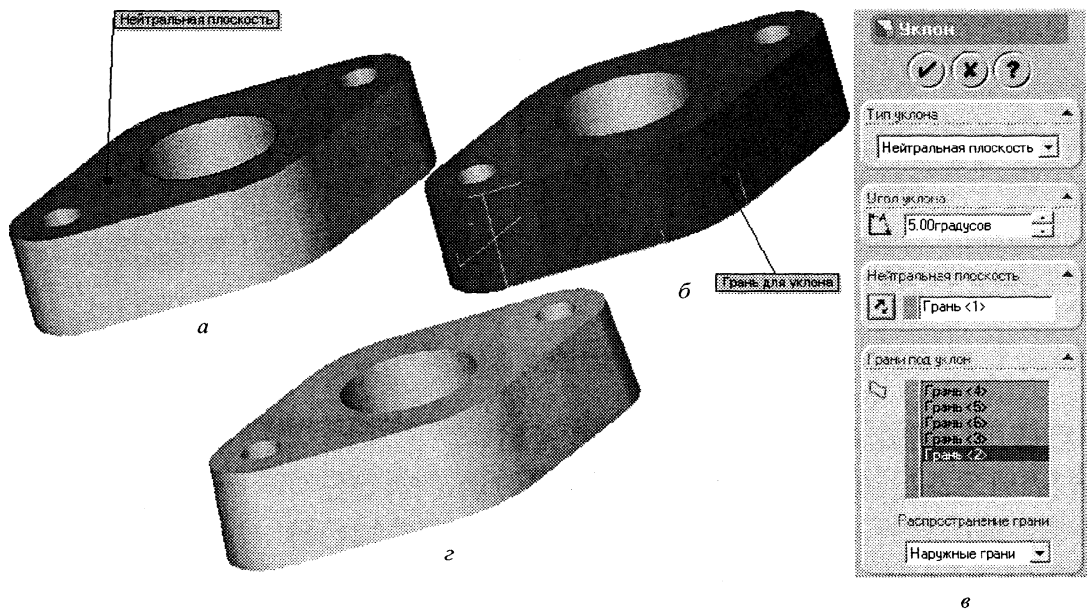


Рис. 2. Последовательность действий при создании простого уклона

проектирования. Обучить инженера гибко мыслить в условиях широкой номенклатуры деталей с часто изменяющимися технологическими процессами не способно ни одно руководство пользователя по SolidWorks.

Поэтому цель настоящей статьи – разработка алгоритмов работы и методов нанесения припусков и уклонов для преобразования геометрии 3D-детали в 3D-геометрию отливки.

Для этого было проведено исследование работы молодых специалистов при проектировании 3D-геометрии детали и последующем ее преобра-

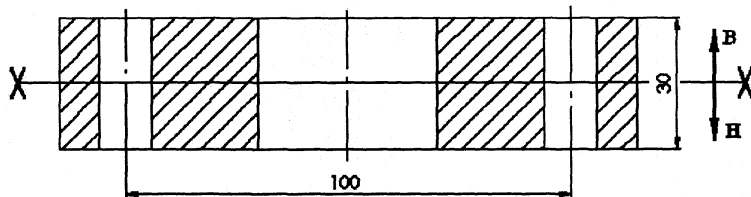


Рис. 3. Рассматриваемая деталь с измененной плоскостью разреза

зовании в отливку. Были отобраны 40 студентов, прошедших курс обучения проектированию в SolidWorks. После предварительного тестирования по определению уровня подготовки вся группа разбилась на категории (табл. 1).

Таблица 1. Категории уровня подготовки рассматриваемой группы специалистов

Характеристика	Категория		
	«сильные»	«подготовленные»	«слабые»
Представительство, чел.	4	26	10
Время подготовки к работе	среднее	низкое	высокое
Время проектирования	низкое	среднее	высокое
Эффективность	высокая	средняя	низкая

Проанализировав данные таблицы, можно сделать заключение, что студенты, относящиеся к категории «сильные», затрачивая больше времени на ранних стадиях проектирования, анализируя деталь в дальнейшем, более быстро проектируют геометрию, при этом используя более рациональные методы построения, чем представители, относящиеся к категории «подготовленные». Это можно объяснить тем, что «подготовленные» специалисты начинают проектирование, остановившись на первом же, на их взгляд простейшем, способе проектирования, не рассматривая дальнейшие перспективы по преобразованию построенной геометрии. «Сильные» в свою очередь рассматривают поставленные задачи в целом и стремятся, выбрав более рациональный способ, облегчить себе работу на стадии преобразования геометрии детали в отливку.

На втором этапе тестирования вся группа студентов была разделена на две подгруппы («А» и «Б») так, чтобы в каждую из них входило равное количество представителей из каждой категории. Перед обеими подгруппами ставились две задачи: построить геометрию детали; нанести припуски и уклоны для преобразования детали в отливку. Представители подгрупп «А» и «Б» были изолированы от общения между собой и перед представителями подгруппы «Б» ставилась дополнительная задача – не приступать сразу к проектированию детали, а предварительно потратить значительное время на анализ детали, ее особенности и мысленно представить последовательность действий при проектировании.

На рис. 4 показан чертеж первой тестовой детали, относящейся к телам вращения.

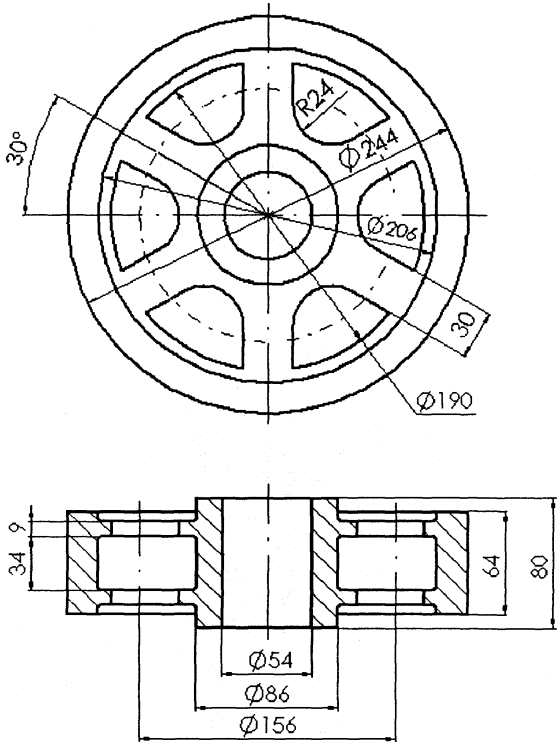


Рис. 4. Деталь «Шкив», использовавшаяся для тестирования специалистов

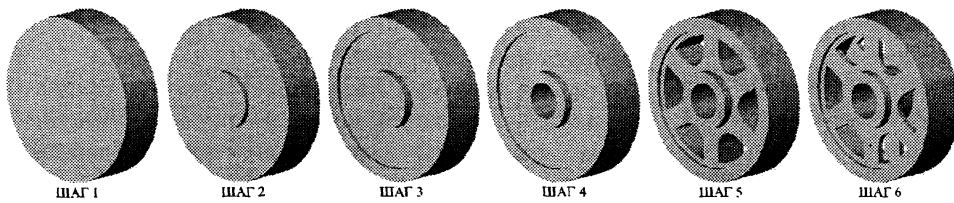


Рис. 5. Нерациональный вариант построения детали

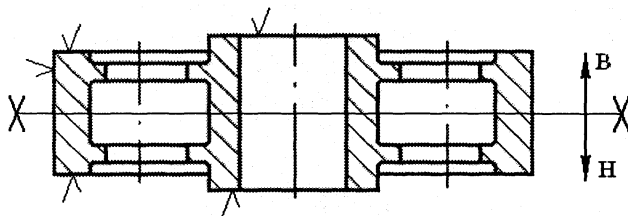


Рис. 6. Плоскость разъема формы

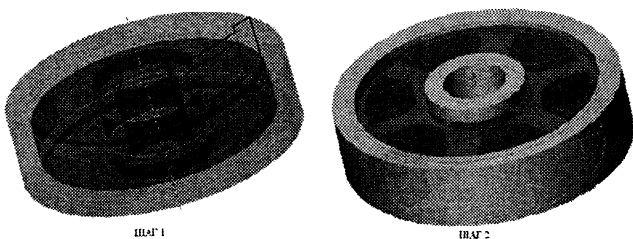


Рис. 7. Рациональный вариант проектирования тестовой детали

Из подгруппы «А», сразу приступившей к построению детали, 85% ее представителей выбрали простой и нерациональный алгоритм построения детали (рис. 5).

В данном случае проектирование геометрии в основном осуществлялось за счет использования элементов «Вытянутая бобышка» и «Вытянутый вырез». Этот вариант построения занимает много времени за счет построения большого числа эскизов и базируется на шести шагах. При этом нанесение припусков и литейных уклонов на построенную деталь в соответствии с представленными на рис. 6 плоскостью разъема и поверхностями, подлежащими последующей механической обработке, поставило большинство представителей подгруппы в тупик. Лишь немногие смогли решить поставленные перед ними задачи, при этом используя создание дополнительных элементов.

В это время 65% представителей подгруппы «Б», проанализировав геометрию детали и рассматривая обе задачи совместно, успешно справились с построением детали и ее преобразованием в отливку, используя при этом более рациональный подход (рис. 7).

Построение геометрии детали при этом способе занимало намного меньше времени и содержало всего два шага. Основой данного метода послужило построение тела детали через элемент «повернутое основание». При описанном методе построения детали, относящейся к телам вращения, нет необходимости создавать дополнительные элементы для нанесения припусков и уклонов.

Чтобы преобразовать геометрию детали в геометрию отливки, достаточно изменить эскиз начального примитива (рис. 8).

В условиях широкой номенклатуры деталей предприятия (часто применяемого на предприятиях метода прототипирования), а также часто изменяющихся технологических процессов инженерам приходится многократно изменять как размеры детали, так и величину припусков и уклонов

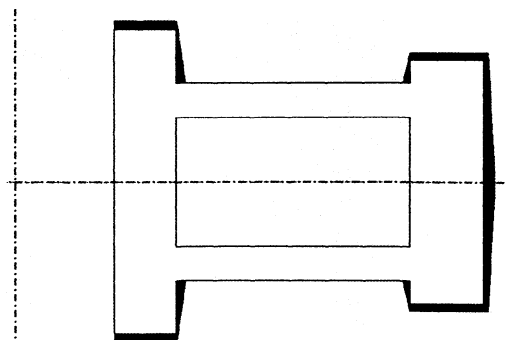


Рис. 8. Эскиз главного примитива с припусками и уклонами

отливки, а иногда и плоскость разреза. Поэтому оба описанных метода проектирования геометрии тел вращения были протестированы с точки зре-

ния их гибкости. В табл. 2 приведены возможности двух описанных методов построения геометрии для преобразования тел вращения.

Таблица 2. Сравнение методов проектирования детали «Шкив»

Модификация объекта	Метод	
	пошагового построения	тел вращения
По размерам	Корректировка нескольких шагов	Все изменения выполняются за один шаг – правка эскиза главного примитива
По уклонам и припускам	Корректировка значительной части шагов проектирования	
По плоскости разреза	Проектирование отливки с нуля	

Из таблицы следует, что для геометрии, построенной первым из описанных способов, нанесение припусков и уклонов по затратам времени соизмеримо с проектированием геометрии отливки с нуля, так как для создания каждого припуска и уклона необходимо создавать дополнительный элемент, общее число которых возрастает до 10. Преимущества второго способа неоспоримы, так как припуски и уклоны, а также все вносимые изменения в геометрию детали и отливку выполняются в одном эскизе, который уже существует – эскиз главного примитива. Преобразование эскиза главного примитива детали занимает минуты, количество шагов построения при этом не изменяется.

На следующем этапе перед подгруппами ставилась задача – спроектировать деталь, показанную на рис. 9, и преобразовать ее в геометрию отливки. Данная деталь является представителем плоскостных тел, т.е. о ней можно сказать, что ее тело лежит в одной плоскости.

Тестируемая подгруппа «А», как и в первом случае, успешно справилась с этапом проектирования геометрии детали, однако серьезные трудности вызвало преобразование детали в отливку. Верхняя часть детали представляет собой тело вращения, однако нижняя часть, так называемые «ноги», представляет собой плоскостные элементы и нанесение двустороннего припуска на такие элементы затруднено. Как и для первой тестовой детали, число специалистов, успешно справившихся с эффективным построением и преобразованием детали в отливку, было незначительным. Основная масса специалистов (65%) остановилась на методе последовательного проектирования, основанном на последовательном построении геометрии детали и одновременном нанесении припусков и уклонов. Этот метод успешно применим для проектирования симметричных тел с равномерным двусторонним уклоном по всей поверхности объекта (рис. 10).

На рисунке приведен пример нанесения двустороннего припуска при последовательном проектиро-

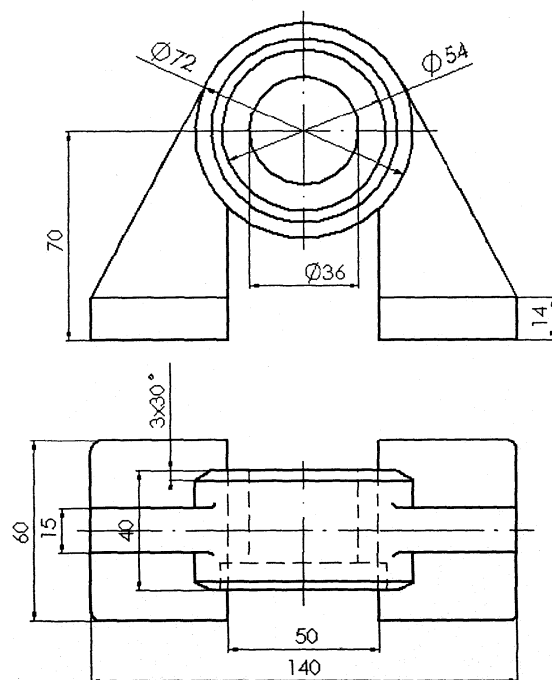


Рис. 9. Деталь «Стойка», относящаяся к плоскостным телам

ванию. Данный метод успешно применим для проектирования сложных наружных и внутренних поверхностей с равномерным двусторонним уклоном. Однако он имеет некоторые ограничения по применению для сложных плоскостных и пространственных тел. Так, для представленной на рис. 9 детали его применение неэффективно.

В свою очередь 45% студентов подгруппы «Б» выбрали для нанесения уклонов более универсальный метод линии разреза.

На рис. 11 показана последовательность действий при нанесении уклона на тестовую деталь.

На первом шаге наносится односторонний уклон на все тело детали, после чего, используя процедуру *Разделительная линия*, создается контур

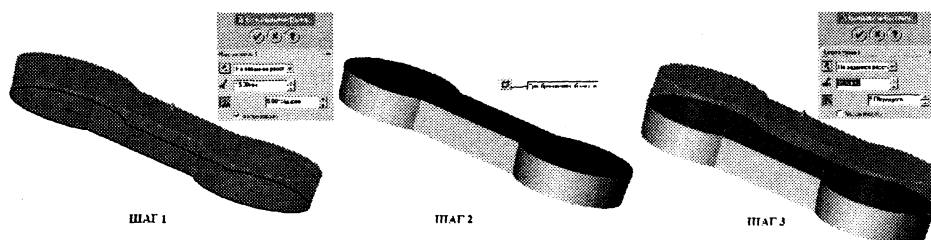


Рис. 10. Пример нанесения уклонов при последовательном проектировании

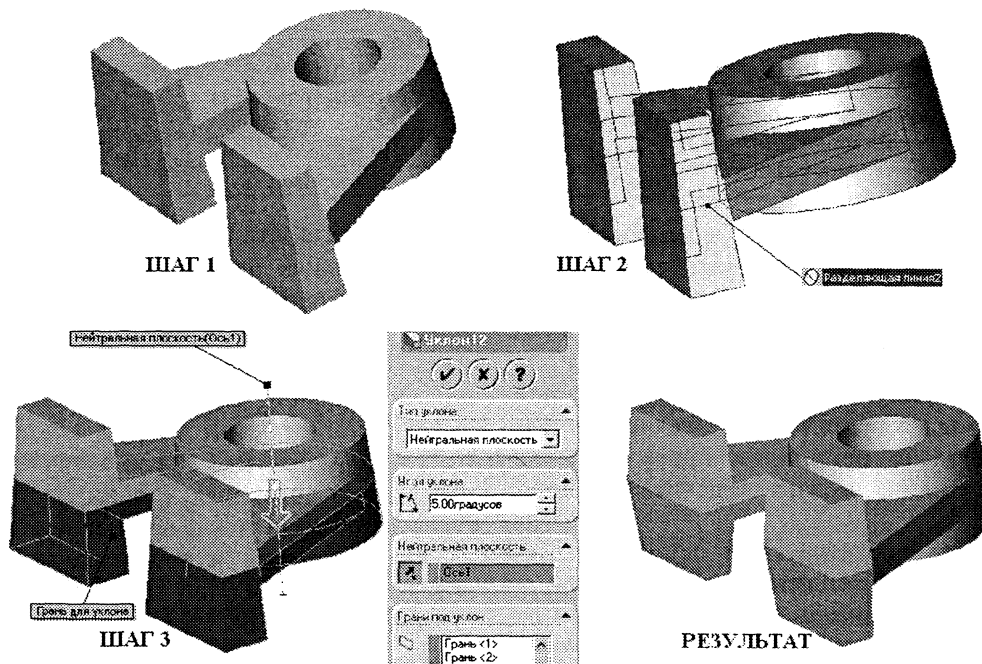


Рис. 11. Нанесение уклона при использовании плоскости разреза

на поверхности детали, по которому будет осуществляться разъем формы. На следующем шаге выбираются нейтральная ось, грани под уклон и задается угол уклона как показано на рисунке (шаг 3). Этот метод основан на использовании линии разреза для проектирования уклона и эффективен при проектировании объектов со сложной наружной поверхностью или когда уклон распространяется не на все грани, перпендикулярные плоскости разреза (например, когда внутренняя формообразующая поверхность отливки выполняется стержнем или вставкой).

Как и для детали, относящейся к телам вращения, оба метода проектирования геометрии плоскостного тела были протестированы на их гибкость. В табл. 3 приведены возможности двух описанных методов построения геометрии для преобразования плоскостной отливки.

В ходе исследования были определены алгоритмы работы студентов каждой из подгрупп. Основные этапы этих алгоритмов приведены в табл. 4.

В табл. 5 приведена оценка описанных методов для построения деталей с различной геометрией.

Таблица 3. Сравнение методов проектирования детали «Стойка»

Модификация объекта	Метод	
	пошагового построения	линии разреза
По размерам	Дополнительные алгоритмические шаги	
По уклонам и припускам	Корректировка значительной части шагов проектирования	Корректировка двух шагов проектирования
По плоскости разреза	Проектирование отливки с нуля	Изменение одного шага – <i>Линия разреза</i>

Таблица 4. Сопоставление алгоритмов работы представителей подгрупп «А» и «Б»

Этап	Алгоритм	
	работы подгруппы «А»	работы подгруппы «Б»
1	Пошаговое построение геометрии детали	Анализ чертежа детали и будущей плоскости разреза формы
2	Переход к проектированию геометрии отливки, поиски вариантов нанесения припусков и уклонов на спроектированную деталь	Выбор рационального метода проектирования детали, позволяющего легко модифицировать как саму геометрию детали, так и преобразовывать ее в геометрию отливки
3	Возврат к ранним этапам проектирования, пересмотр шагов проектирования с целью оценки возможности нанесения на них припусков и уклонов	Проектирование геометрии детали
4	Затягивание работ по проектированию геометрии отливки либо попытка «подгонки» геометрии к требуемому виду (высокая вероятность неточности в построении геометрии)	Опережающее выполнение работ по проектированию геометрии отливки

Таблица 5. Оценка методов проектирования

Метод	Геометрия детали		
	тела вращения	плоскостные тела	пространственные тела
Пошагового построения	Неэффективен и трудоемок	Эффективен только для простых симметричных тел	Практически неприменим
Тел вращения	Эффективен	Неприменим	Неприменим
Линии разъема	Применим	Эффективен	Эффективен

Как видно из таблицы, метод с использованием линии разъема является универсальным и с его помощью можно строить уклоны даже на пространственных телах со сложными линиями разъема.

Нанесение припусков и уклонов на детали сложной формы, состоящих из большого числа элементов, согласно принципам проектирования сложных объектов [1], можно разделить на следующие этапы.

1. Разделение проектируемой детали на элементарные объекты (примитивы).
2. Выбор наилучшего способа построения каждого из примитивов.
3. Выбор метода нанесения припусков и уклонов на отдельный примитив.
4. Выбор оптимального порядка построения примитивов.

Приведенные примеры по различным типам геометрии отливок иллюстрируют различные пути модификации объектов. Так, использование не рационального алгоритма проектирования геометрии детали приводит к тому, что его модификация как по размерам, так и по уклонам и припускам требует значительных перестроений ее электронной модели. Причем новая модификация при последующих изменениях также будет вызывать схожие проблемы. Это значит, что при использовании твердотельных моделей для моделирования процесса заливки и кристаллизации необходимо предусматривать возможности модифи-

кации объекта, что может стать проблемой, если на ранних стадиях проектирования был выбран неверный алгоритм построения модели. В то же время при использовании оптимального алгоритма модификация чертежа не является трудоемкой при построении большого количества вариантов электронной модели.

Таким образом, представленные алгоритмы показывают, что предыстория построения электронного объекта в значительной степени определяет возможности и трудоемкость модификации объектов. Это особенно актуально, когда речь идет об использовании твердотельных моделей для моделирования технологических процессов. Последовательность алгоритмической схемы, используемой для построения объекта, должна учитывать как размеры объекта, так и последующее изменение в припусках и уклонах. Таким образом, необходим запас конструктивной гибкости твердотельной модели, создаваемой конструктором, благодаря которому могут быть созданы многовариантные модификации объекта, что является основой для выбора оптимальных решений при математическом моделировании технологических процессов.

Литература

1. Чичко А.Н., Матюшинец Т.В., Марков Л.В. Алгоритмизация компьютерного проектирования литейных деталей с помощью CAD-систем // Литье и металлургия. 2005. №4. С. 35–37.