

Введение Изготовление значительной части оборудования химической и нефтехимической отрасли связано с литейным производством. Основу литейного производства составляет процесс получения отливок. Отливка представляет собой литое металлическое изделие, сформированное путём заливки расплавленного металла в специальную литейную форму [1]. Важнейшей частью литейной оснастки составляет литейная модель. Модель - это приспособление, при помощи которой в формовочной смеси получают отпечаток полости, соответствующей наружной конфигурации отливки. Отверстия и полости внутри отливки, а также иные сложные контуры образуют при помощи стержней, устанавливаемых в формы при их сборке [2]. Проектирование и изготовление модели, особенно для тел сложной формы, считается одним из наиболее сложных процессов [3]. Это особенно актуально в литейном производстве. Размеры модели задают больше, чем соответствующие размеры отливки, на величину линейной усадки сплава. Если отливки подвергаются механической обработке, то в соответствующих размерах модели учитывают размер припусков - слоя металла, удаляемого при механической обработке [4]. В качестве материалов модели используют дерево, металлы - чаще всего алюминиевые сплавы и пластмассу. Деревянные модели изготавливают из плотной древесины. Преимущество деревянных моделей - дешевизна, простота изготовления, небольшая масса; основной недостаток - недолговечность. Модели из пластмасс устойчивы к действию влаги, не подвергаются короблению, имеют небольшую массу [5]. Перспективным является применение моделей из вспененного полистирола, который переходит из твердого состояния в газообразное в результате воздействия высокой температуры при заливке металла - технология литья по газифицируемым моделям (ЛГМ - Lost Foam Casting Process) [6]. Это исключает необходимость выполнения сложной операции по извлечению модели из формовочной смеси перед заливкой. На практике применяется несколько отличающихся друг от друга технологий производства моделей из пенополистирола. По одной из них для серии отливок производят модели из порошка полистирола в легких алюминиевых пресс-формах при их нагреве до 130° С. Для разовых и крупных отливок (иногда массой до нескольких тонн) подходит вырезание моделей из плит пенопласта, а также вырезание на гравировально-фрезерных станках с ЧПУ. Модель и полученная по ней отливка имеют высокую точность и конкурентный товарный вид, чему способствует окраска модели быстросохнущей краской с порошком-огнеупором. Можно легко рассмотреть отливку в модели, промерить ее стенки, чего при обычной формовке для сложных с несколькими стержнями отливок просто невозможно сделать. Отсутствует смещение стержней и форм при сборке (так как отсутствуют сами стержни). По сути, разъемная литейная форма как бы «исчезла» в ее традиционном понимании, ее заменила литейная форма в виде засыпки модели сухим песком в ящике (контейнере). Большинство крупнейших

производителей химического и нефтехимического оборудования в ежегодно используют в производимых изделиях несколько сотен тысяч тонн точных отливок, полученных способом ЛГМ [7]. Несмотря на всю эффективность этой технологии, ей присущи некоторые недостатки. Основной проблемой при производстве деталей оборудования способом ЛГМ является проблема отвода продуктов газификации пенополистирола. Опыт показывает, что недостаточно использование только общей, пусть даже достаточно мощной, вентиляции. Каждая форма требует индивидуального отвода образующихся газов, что предполагает применение достаточно сложной вентиляционной системы. В рамках штучного производства элементов оборудования ремонтно-механическими цехами химических и нефтехимических заводов, использование этой технологии не всегда целесообразно. Поэтому технология производства многократно используемых литьевых моделей до сих пор широко востребована. Способ повышения эффективности разработки подобных форм рассматривается в данной статье. Экспериментальная часть Технологические потоки и пространственное размещение моделей в объеме контейнерной формы удобно компьютеризировать, а при изготовлении модельной оснастки все чаще применяют 3D-графику для программирования станков с ЧПУ. Возрастающий поток патентной информации свидетельствует о серьезном интересе к этой технологии практически всех ведущих машиностроительных компаний. Основным инструментом при разработке литейных моделей по этой технологии становится компьютерная программная система 3D-графики и печатающее устройство для физического формирования модели - 3D-принтер. Авторы работы убеждены в том, что в качестве средства проектирования компьютерной 3D-модели эффективно использовать программную CAD/CAE/CAM-систему Аскон «Компас 3D» [8]. Созданная с помощью нее трехмерная модель легко преобразуется в формат, используемый многими 3D-принтерами. Для печати предполагается использовать 3D-принтер, который формирует деталь из АБС-пластика. Таким образом, материал, из которого изготавливается литьевая модель, относительно недорог, производится, в том числе, на местном химкомбинате. Основным ограничивающим фактором при подготовке подобных моделей становится время. Пока, 3D-принтеры из среднего и нижнего ценового диапазона не отличаются высокой скоростью печати. Следовательно, чтобы увеличить производительность подготовки литьевой модели, в первую очередь, нужно уменьшить объемы исходной 3D-модели. В некоторой степени решить эту задачу можно путем создания искусственных полостей в объеме 3D-модели. Очевидно, что пустоты можно предусмотреть только в толстостенных частях детали. Уменьшение жесткости тонкостенных элементов модели, неизбежно возникающее при формировании внутренних полостей, может привести к искажению геометрии отливаемой детали. Для пояснения сказанного, на рис. 1 показано упрощенное изображение модели, подготовленной для печати на 3D-

принтере. Модель не включает литниковой системы, а также формовочные уклоны для возможности извлечения ее из формовочной смеси. Кроме того, в ней не показаны галтели и закругления. Созданная, таким образом, 3D-модель является информационным прототипом будущей модели для литья. На следующем этапе работы используется программа, трансформирующая внутренний формат графического файла, отображающего трехмерную модель детали в новый формат, представляющий собой последовательность команд по перемещению печатающей головки 3D-принтера. Он загружается в управляющую программу печатающего устройства, которая через драйвер принтера задает необходимые перемещения и формирует, таким образом, физическую модель. Она используется в качестве литьевой модели для литья в одноразовые формы. Деталь, отлитая в качестве примера из легкоплавкого оловянно-свинцовой эвтектического сплава, показана на рис. 2. Рис. 1 - Пример упрощенной 3D-модели: 1 - тонкостенные элементы, допускающие сплошное литье; 2 - элементы, требующие использования внутренних полостей; 3 - сечение толстостенного элемента с показом внутренних полостей Рис. 2 - Пример отлитой детали При хорошем опыте разработки трехмерных моделей деталей технологического оборудования процесс ее создания не занимает много времени [9]. Наиболее длительным из всех этапов разработки модели является процесс печати на 3D-принтере. Заключение Анализируя результаты исследования можно отметить несколько важных моментов. 1. Существует возможность разработки извлекаемых литьевых моделей для литья в одноразовые формы методом печати предварительно созданных трехмерных компьютерных моделей деталей технологического оборудования. 2. Описанный способ может быть эффективен при штучном производстве изделий, которое характерно для ремонтно-механических подразделений химических и нефтехимических предприятий. 3. Для создания трехмерных моделей можно использовать программные средства компьютерной графики (CAD-системы). 4. Учитывая, что наиболее длительной операцией при разработке литьевых моделей методом 3D-печати является непосредственно сама печать на 3D-принтере, целесообразно при разработке трехмерной модели создавать модели с уменьшенным рабочим объемом путем размещения в ней внутренних полостей, но с учетом необходимой и достаточной ее жесткости.