

Питер Унгер

# Технология горячеканального литья

Перевод с английского  
Под редакцией В. Г. Дувидзона

Издательство  
**ПРОФЕССИЯ**

Санкт-Петербург  
2009

# Оглавление

Предисловие .....	9
Предисловие к русскому изданию .....	11
1. Введение .....	13
1.1. Общие аспекты технологии горячеканального литья .....	13
1.2. Конструкция ГКС и номенклатура компонентов .....	17
1.3. Конструкции отдельных компонентов, используемых в ГКС .....	19
Литература .....	19
2. Основы теплотехники .....	20
2.1. Теплопередача .....	20
2.1.1. Теплопроводность .....	21
2.1.2. Конвекция .....	25
2.1.3. Лучистый теплообмен .....	28
Заключение .....	32
2.2. Определение количества теплоты и мощности нагрева .....	33
2.3. Тепловое расширение .....	34
Литература .....	42
3. Краткое описание элементов горячеканальной системы .....	44
3.1. Коллектор горячеканальной системы .....	44
3.1.1. Коллектор с внешним подогревом .....	47
3.1.2. Коллектор с внутренним подогревом .....	52
3.1.3. Изолированные литниковые системы .....	56
3.1.4. Реологическое конструирование .....	58
3.1.4.1. Натуральная (естественная) балансировка .....	58
3.1.4.2. Численная балансировка .....	59
3.2. Отражающие и теплоизолирующие пластины, поверхностные покрытия .....	61
3.3. Переходная втулка сопла .....	65
3.4. Литниковая втулка коллектора .....	67
3.5. Распорные шайбы .....	69
3.6. Механизм защиты коллектора от проворачивания .....	80
3.7. Поворотные заглушки коллектора .....	81
3.8. Сопла ГКС .....	83

3.8.1. Общие вопросы.....	83
3.8.2. Прямоточные сопла ГКС.....	84
3.8.3. Открытые многоточечные сопла.....	91
3.8.3.1. «Вертикальная» конструкция наконечника сопла.....	91
3.8.3.2. «Наклонная» конструкция наконечников сопла.....	100
3.8.3.3. «Горизонтальная» конструкция наконечников сопла.....	101
3.8.3.4. Литниковое отверстие, подводимое к краю отливки, без наконечников.....	104
3.8.4. Сопла с запорными клапанами.....	106
3.8.4.1. Сопла с запорными иглами.....	107
3.8.4.1.1. Автоматические системы с игольчатыми затворами.....	108
3.8.4.1.2. Управляемые системы с запорной иглой.....	110
3.8.4.1.3. Сопло со скользящим затвором с механическим приводом.....	130
3.8.4.1.4. Сопла специального назначения.....	132
3.8.4.2. Сопла с тепловым затвором.....	133
Литература.....	135
4. Обогрев коллекторов ГКС.....	138
4.1. Патронный цилиндрический нагреватель.....	138
4.2. Конусный патронный нагреватель.....	141
4.3. Патронный нагреватель с резьбой.....	141
4.4. Трубчатый нагреватель.....	142
4.5. Нагревательная плита.....	144
4.6. «Толстопленочный» нагревательный элемент.....	145
4.7. Непрямой обогрев с помощью жидкого теплоносителя.....	146
4.8. Тепловая трубка.....	147
4.9. Определение тепловой мощности коллектора ГКС с внешним обогревом.....	148
4.9.1. Оценка требуемой тепловой мощности.....	148
4.9.2. Численное определение нагревательной мощности, требуемой для фазы разогрева.....	149
Литература.....	151
5. Обогрев сопел ГКС.....	152
5.1. Цилиндрический патронный нагреватель.....	152
5.2. Спиральные нагреватели.....	153
5.3. Резисторный нагреватель.....	156

5.4. Тепловая трубка.....	158
5.5. Косвенный обогрев с использованием жидкой среды .....	158
5.6. Внутренний обогрев. Общие положения.....	161
5.7. Косвенный нагрев.....	164
5.7.1. Теплопроводящее торпедо .....	164
5.7.2. Теплопроводящее сопло.....	167
Литература .....	171
6. Измерения и контроль температуры .....	173
7. Поведение материалов при механических нагрузках .....	174
7.1. Влияние концентраторов напряжений при статической нагрузке .....	174
7.2. Эффект возникновения концентраторов напряжений при динамической нагрузке .....	176
Литература .....	178
8. Коррозия и износ.....	179
Литература .....	182
9. Резьбовые соединения и выбор материала для работы при высоких температурах .....	183
Литература .....	185
10. Основные аспекты технологии переработки полимеров .....	186
10.1. Характеристики расплава, вязкость, перепад давления .....	186
10.2. Термическая устойчивость .....	189
10.3. Уменьшение молекулярного веса (на примере ПБТ).....	190
10.3.1. Термическое разложение.....	191
10.3.2. Механодеструкция .....	192
10.3.3. Окислительная деструкция.....	192
10.3.4. Гидролитическая деструкция.....	192
Литература .....	193
11. Техническое обслуживание и хранение литьевых форм с ГКС .....	194
Литература .....	195
12. Конструкции специальных ГКС литьевых форм .....	196
12.1. 300-гнездная ГКС для изготовления корпусов транзисторов из армированного ПБТ .....	196

---

12.2. Коллектор ГКС для многослойного «сэндвич»-литья.....	198
12.3. Коллектор ГКС с равномерным заполнением.....	201
12.4. Сопла ГКС для минимальных межосевых расстояний гнезд в литьевой форме.....	202
Литература.....	203
Основные сокращения.....	204
Физические величины.....	204
Математические обозначения.....	204
Греческие символы.....	204
Обозначения полимерных материалов.....	205

## Предисловие к русскому изданию

Вот мы и дождались — на наши прилавки, в наши руки попала книга, полностью посвященная вопросам конструирования и эксплуатации горячеканальных систем литьевых форм.

Экономическая ситуация в России на рынке деталей из пластмасс, полученных по технологии литья под давлением, неотвратимо подталкивает всех его участников к сокращению времени цикла литья и расхода материала на деталь, т. е. снижению их трудоемкости изготовления. Объективно лучшее решение указанных задач дают литьевые формы с ГКС.

Несомненным успехом книги являются описания процессов тепло- и массопереноса при работе коллекторов и сопел ГКС. Информация, помещенная в книгу, поможет конструкторам литьевых форм и технологам по литью произвести выбор и грамотно эксплуатировать ГКС, а также принять идеологически правильные действия:

- заниматься ли самим разработкой и изготовлением элементов ГКС или покупать у специализированных фирм;
- если делать ГКС самим, то на каком техническом уровне;
- выработать критерии выбора фирмы-производителя/поставщика ГКС.

Хотя книга выпущена издательством HANSER в 2006 году, часть материалов в ней относится к 90-м годам прошлого века. За последние 15 лет технологии ГКС получили бурное развитие. Только в Европе успешно предлагается продукция около полусотни фирм-изготовителей ГКС, регулярно повышающих уровень продукции. Поэтому часть информации безусловно устарела: много места уделяется так называемым изолированным литниковым системам (предшественникам ГКС) и «поются дифирамбы» ГКС с внутренним нагревом (устаревший вариант ГКС). Однако нередко иностранные фирмы, производители ГКС и литьевых форм, пытаются до сих пор сбрасывать на наш рынок устаревшие или снятые с производства технические решения ГКС для литьевых форм. Также в эксплуатации находится значительный парк импортных литьевых форм 1980–1990-х годов выпуска, большая часть из которых с ГКС. Поэтому вся книга является актуальной для отечественного пользователя.

У издания на русском языке есть и свои местные проблемы освоения. Во-первых, отсутствуют ответы на все вопросы, которые волнуют конструкторов и технологов. Во-вторых, так называемые «трудности перевода». Дело в том, что устоявшейся терминологии для элементов ГКС нет ни в технической литературе, ни в самой профессиональной среде конструкторов и технологов. Например, ключевым понятиям «nozzle» и «manifold» в нашей литературе соответствуют как минимум три значения: «nozzle» — «сопло, дюза, инжектор»; «manifold» — «коллектор, распределительный блок, дистрибутор». Поэтому для части читателей некоторые термины будут звучать непривычно. Редакция не переписывала книгу, а лишь передала авторское видение вопроса в переводе на русский язык. Все, кто не согласен с изложенным содержанием, могут смело написать свою книгу на эту тему.

Несомненно, книга нужна и полезна. Надеюсь, что она поможет быстрыми темпами освоить и повсеместно внедрить передовой зарубежный опыт, сделать

применение ГКС в литьевых формах обычным и общепринятым для отечественной отрасли переработки пластмасс литьем под давлением.

С какими вопросами знакомит читателя эта книга:

- глава 1 рассказывает, в чем суть применения ГКС;
- глава 2 описывает проблемы и законы теплопередачи в ГКС;
- глава 3 раскрывает особенности конструирования коллекторов и сопел;
- главы 4 и 5 посвящены нагревателям коллекторов и сопел;
- глава 6 — несколько слов о терморегуляторах;
- главы 7, 8 и 9 дают представление о требованиях к материалам для элементов ГКС;
- глава 10 напоминает о проблемах технологии литья пластмасс под давлением;
- глава 11 уделяет пристальное внимание вопросам хранения литьевых форм с ГКС;
- глава 12 иллюстрирует применение ГКС для весьма нестандартных ситуаций.

Издательство «Профессия», верное призыву классика художественной литературы «Сеять разумное, доброе, вечное», в очередной раз осуществляет выпуск лучшей профессиональной технической литературы. Эта книга — первая среди запланированных по теме ГКС. Мы имеем уникальную возможность на основе европейского опыта, довольно подробно и доступно изложенного в ней, освоить технологию ГКС и встать в строй современных «продвинутых» европейских «moldmakers», которые не только применяют ГКС, но и понимают «что, как и почему».

Успехов Вам, конструкторы и технологи! Отрасль литья пластмасс под давлением ждет от Вас инновационных решений, и горячеканальное литье — одно из них!

Научный редактор русского издания  
В. Г. Дувидзон

# 1. Введение

## 1.1. Общие аспекты технологии горячеканального литья

Горячеканальная литниковая система обеспечивает транспортировку расплава термопласта от литейной машины к оформляющим полостям литейной формы с минимальными потерями. Она объединена с литейной формой и является ее частью. В отличие от традиционных затвердевающих литников в ГКС расплав остается внутри системы в рабочем состоянии в течение по крайней мере одного цикла литья [1]. Этот способ литья еще известен как «безлитниковое литье» [2].

ГКС действует по принципу сообщающихся сосудов: независимо от поперечного сечения литникового канала и его длины расплав всегда подается непосредственно к впускному литниковому отверстию. Поэтому система обеспечивает возможность заполнять все полости (гнезда) в форме одновременно. В дополнение к этому часто используются конструкции, позволяющие управлять обогревом всей ГКС.

Между ГКС и остальной частью литейной формы существует значительный температурный градиент. Например, температура переработки полиоксиметилена (ПОМ) составляет 200 °С, а температура пуансона и матрицы — 90 °С. Поэтому следует стремиться к оптимальной термоизоляции формы, хотя это и не всегда возможно.

Ниже перечислены остальные аспекты, которые нужно учитывать, применяя ГКС в литевых формах:

- Нет необходимости в извлечении литников из формы, а значит, сокращается цикл литья (для охлаждения литников требуется дополнительное время по сравнению с самой деталью).
- Происходит снижение затрат на удаление литников из формы, их транспортировку, вторичную переработку, хранение, предварительную сушку и т. д. Однако следует помнить, что вторичная грануляция приводит к ухудшению свойств материала, а также опасно недооценивать и риск попадания в него загрязнений.
- ГКС позволяет уменьшить объем впрыска за счет экономии материала на литники, что дает возможность использовать литейную машину меньшего типоразмера как по объему впрыска, так и по пластикационной производительности.
- Отсутствие литников в отливке уменьшает ее площадь проекции на плоскость разъема. Следовательно, уменьшается усилие запираения литейной машины.

- Горячеканальная технология литья предоставляет максимально допустимую свободу конструирования, так как становится возможным подведение впускного литника практически в любое место.
- В отличие от традиционных литьевых форм, при использовании ГКС не требуется охлаждение литников и уровни потери давления, даже при крайне малых скоростях течения расплава, незначительны.
- Увеличение поперечного сечения канала в ГКС (с учетом максимально допустимого времени пребывания расплава в нагретом состоянии) снижает напряжения сдвига в расплаве.
- На сегодняшний день без использования ГКС невозможно представить каскадное литье соплами с запорными иглами (управляемый впуск), «сэндвич»-литье, литье вспененных термопластов, многоцветное литье, литье в двухэтажных и многогнездных «семейных» литьевых формах.
- Область выходного отверстия сопла ГКС характеризуется следующими параметрами:
  - конструкция контактных поверхностей должна обеспечить эффективную термоизоляцию;
  - необходимо использование материала, подходящего по теплопроводности (в зависимости от требований применяют материалы с высокой или низкой теплопроводностью);
  - необходимо индивидуальное охлаждение впускных литников сопел (независимый контур охлаждения).

Принятие этих мер позволяет увеличить время выдержки под давлением в цикле литья и оказывает положительное влияние на качество отливки. Кроме того, снижается литьевая усадка.

- Стоимость литьевой формы с ГКС будет значительно выше, особенно для сопел с запорными клапанами.
- По сравнению с традиционными литьевыми формами потребление электроэнергии для ГКС выше вследствие теплопотерь. Если же рассматривать энергозатраты, включая необходимые на вторичную переработку литников, то общий баланс будет в пользу ГКС.
- Более высокая стоимость форм с ГКС по сравнению с традиционными литьевыми формами обычно всегда оправдана для больших объемов производства деталей из пластмасс.
- Для минимизации термических и механических повреждений расплава необходимо обеспечить высокую степень равномерности распределения температур. В общем случае для этого требуется жесткий контроль установившейся температуры. Термопары не должны размещаться в областях повышенного теплоотвода или просто «в тех местах, где имеется свободное место» (см. гл. 4, рис. 4.26). Неправильное размещение термопар с большой степенью вероятности приведет к термическому разложению расплава. Необходимо соблюдать базовое правило: термопары следует располагать таким образом, чтобы производились замеры температурных максимумов, т. е. в непосредственной близости от источника тепла.

- В зависимости от объема отливки и объема расплава в ГКС (коллектор + сопла) и времени цикла литья время пребывания расплава в ГКС может превысить допустимые значения, что приведет к его термическому разложению.
- Тип нагревательной системы (внутренний или внешний нагрев) может также быть причиной термического разложения расплава.
- Затраты на эксплуатацию и обслуживание ГКС выше, чем для холодноканальных литниковых систем. Кроме того, работы по техническому обслуживанию ГКС должны выполняться высококвалифицированным персоналом.
- Для обеспечения бесперебойной работы ГКС необходимо тщательное техническое обслуживание во время эксплуатации и высокая степень точности при их производстве; в особенности это относится к изготовителям литьевых форм.
- Литьевые формы с ГКС имеют более высокую степень сложности по сравнению с традиционными литьевыми формами [1].
- Детали, подверженные повышенному износу, а также другие компоненты ГКС, например, наконечники сопел и термопары, должны быть доступны для контроля за их техническим состоянием и замены «по месту, не снимая формы с литьевой машины», так как необходимо стремиться к максимальному сокращению времени простоя.
- Для обеспечения оптимальной теплопроводности при изготовлении ГКС предпочтение отдается меди и ее сплавам. Однако прямой контакт с этими материалами, например, при переработке полипропилена (PP) или гомополимера полиоксиметилена может привести к каталитическому разложению расплава. Металлические поверхности ГКС, как правило, чувствительны к химическому воздействию, что может вызвать поломки элементов ГКС. В таких случаях на них необходимо наносить защитное покрытие, см. гл. 8.
- Застойные зоны в ГКС (т. е. зоны, в которых не происходит обновление расплава) затрудняют смену цвета отливки и часто приводят к термическому разложению расплава.

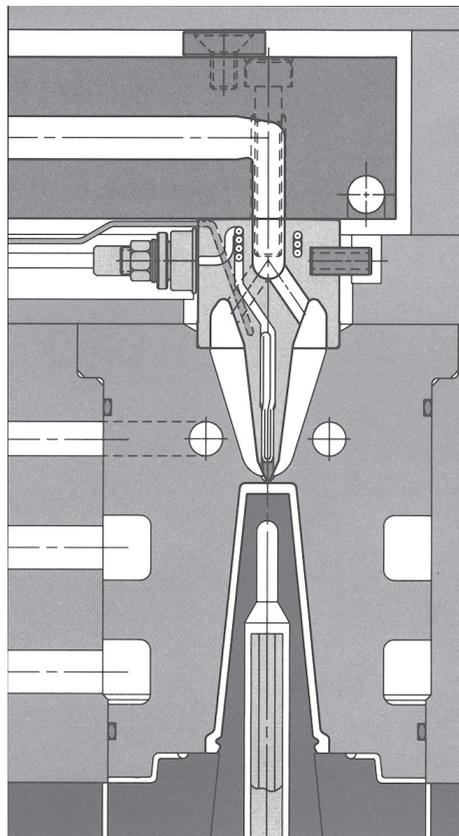


Рис. 1.1. Сопло торпедо с внутренним подогревом наконечника (публикуется с любезного разрешения Mold-Masters)

- В области впускного литникового отверстия требуется обеспечить максимально возможную термоизоляцию. В этом месте могут произойти два критических случая: термическое разложение расплава или его недопустимое охлаждение (перестывание). Следовательно, очень важно стремиться к соблюдению баланса между рассеиванием (диссипацией) и подводом тепла. Поэтому источник тепла размещают в непосредственной близости от зоны впуска (рис. 1.1).
- Набирающая популярность практика миниатюризации компонентов ГКС, например, при микролитье, приводит к повышению механических нагрузок на них, в особенности на сопла ГКС, которые рассчитаны на работу в условиях высоких температур (от 200 до 400 °С) и высоких внутренних давлений (примерно до 2500 бар). При этом внутренним давлением считается фактическое давление внутри сопла ГКС, а не давление, действующее на наконечнике шнека термопластавтомата (далее ТПА). Ситуацию осложняет тот факт, что нагрузка является не статической, а динамически чередующейся. Однако данные о пределе выносливости в зависимости от механических напряжений и температуры не являются легкодоступными. Отсутствие таких сведений усложняет конструирование надежных компонентов. Экспериментальное определение значений разрушающего внутреннего давления (при температуре переработки полимера) является необходимым, но не достаточным, так как циклически меняющиеся напряжения сильно снижают прочность деталей ГКС (см. разд. 7.2). Данные о допустимом внутреннем давлении как функции температуры, в особенности для сопел ГКС, редко и лишь случайно встречаются в технической литературе (рис. 1.2).

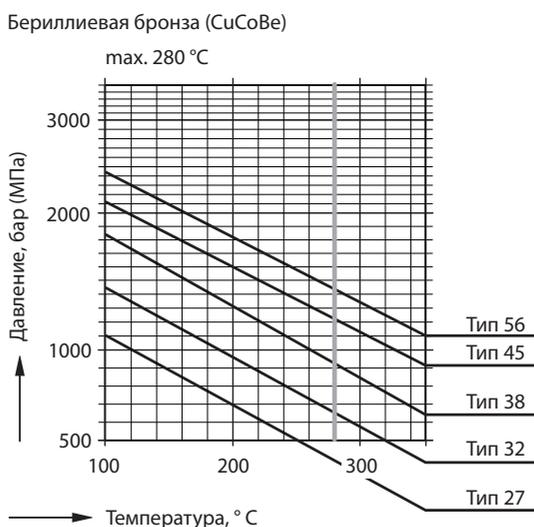


Рис. 1.2. Зависимость максимально допустимого давления расплава внутри сопла ГКС, обогреваемый наконечник которого изготовлен из сплава меди, кобальта и бериллия (CuCoBe), от температуры (публикуется с любезного разрешения Hasco)

- Если на поверхности отливки допускается лишь крайне небольшой след от впускного литника, то поперечное сечение впускного литникового отверстия должно быть соответственно мало. Для предотвращения возникновения высоких скоростей сдвига и вызываемого ими термического разложения расплава рекомендуются сопла с запорной иглой, имеющие большее поперечное сечение впускного литникового отверстия без наличия заметного следа на поверхности отливки. В этом случае стоимость и ГКС и литьевой формы увеличивается.

## 1.2. Конструкция ГКС и номенклатура компонентов

Номенклатура компонентов ГКС (рис. 1.3 и 1.4) получена из стандарта DIN ISO 12165, выпущенного в июне 2002 года [1]. Все компоненты перечислены в табл. 1.1.

Таблица 1.1. Компоненты ГКС (часть позиций на рисунках не показана)

Позиция	Описание
1	Плита крепления
2	Обойма матриц, неподвижная и подвижная полуформы
3	Брусья опорные
4	Тарельчатая пружина
5	Литниковая втулка коллектора
6	Сопло
7	Пневмо/гидропривод запорной иглы сопла
8	Нагреватель
9	Обогреваемая/не обогреваемая литниковая втулка коллектора
10	Канал для расплава (в коллекторе)
11	Фильтр расплава, сменный
12	Коллектор
13	Направляющий штифт
14	Стягивающий винт
15	Воздушный изоляционный зазор
16	Впускной литник
17	Уплотнительное кольцо
18	Распорная шайба
19	Торпедо сопла
20	Переходная втулка сопла
21	Теплопроводящее сопло
22	Теплопроводящее торпедо
23	Канал охлаждения
24	Поршень
25	Цилиндр

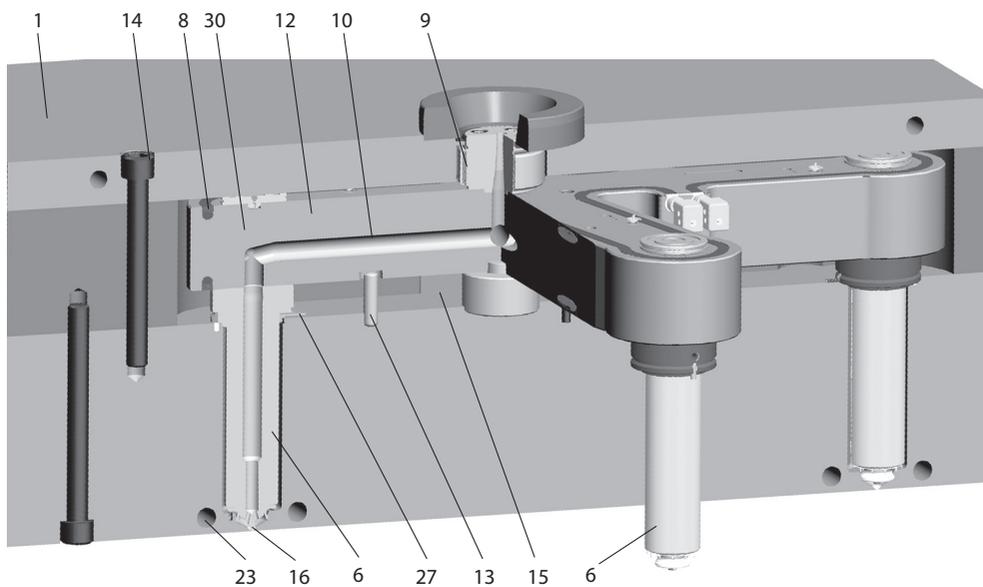


Рис. 1.3. Конструкция ГКС с прямоточными соплами  
(публикуется с любезного разрешения THERMOPLAY)

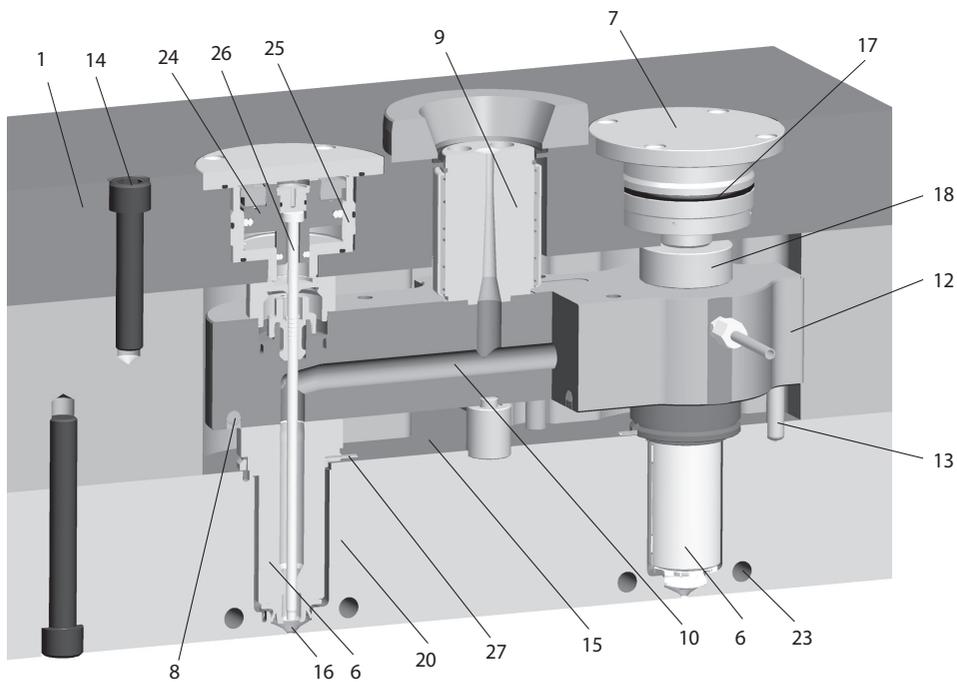


Рис. 1.4. Конструкция ГКС с запорными иглами  
(публикуется с любезного разрешения THERMOPLAY)

Окончание табл. 1.1

Позиция	Описание
26	Запорная игла
27	Термопара
28	Термоизоляционная плита
29	Пластина отражателя
30	Поворотная заглушка коллектора

### 1.3. Конструкции отдельных компонентов, используемых в ГКС

ГКС, представленные на рынке комплектующих для литьевых форм, различаются по принципам, заложенным в их конструкции. Отличительными чертами ГКС являются используемые типы нагревателей, способ центрирования сопла, а также тип впускного литника (табл. 1.2) [3].

Таблица 1.2. Конструкции компонентов, применяемых для ГКС

Компоненты	Тип конструкции
Коллектор ГКС	С внешним подогревом
	С внутренним подогревом
	С изолированным литником
Нагрев сопел	Внешний подогрев, не прямой (косвенный)
	Внешний подогрев, прямой
	Внутренний подогрев, не прямой
	Внутренний подогрев, прямой
	Комбинированный внутренний и внешний подогрев
Изолированный литник	Изолированный литник
	Изолированный литник
Центрирование сопла	Непрямое, через коллектор ГКС
	Непосредственно закрепление болтами к коллектору ГКС
Тип впускного литника	Открытое сопло
	Теплопроводящее торпедо
	С запорной иглой
	Тепловой затвор