

## РЕСПУБЛИКАНСКИЙ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ СЕМИНАР РУП «МТЗ»

*А. П. МЕЛЬНИКОВ, директор ОАО «БелНИИлит», канд. техн. наук*

### БЕЛОРУССКИЕ РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Отливки составляют значительную долю по массе и трудоемкости изготовления любого вида продукции машиностроения. На литые заготовки в общем объеме производства автомобилестроения приходится 8–10%, тракторостроения – 15–18, сельхозмашиностроения – 15–20, двигателей станкостроения – 70–80%. От качества отливок, их точности и экономичности в итоге зависит и качество конечной продукции – двигателей, станков, автомобилей, тракторов и других машиностроительных изделий. Как показывает мировой опыт, совершенствование изделий машиностроения невозможно без существенного повышения сложности, качества, эксплуатационных свойств, точности и уменьшения толщины стенок литых заготовок. За последние 30 лет в зарубежном машиностроении допуски и припуски на отливки были снижены в 1,5–2,0 раза, металлоемкость продукции уменьшена на 10–20%, удельный расход электроэнергии на плавку 1 т сплавов уменьшен в 1,5–2,0 раза.

На современном этапе развития машиностроения перед литейным производством стоит ряд первоочередных направлений в области ресурсосбережения, которые можно сформулировать следующим образом.

1. Технологическое переоснащение стержневого производства с переходом на энергосберегающие процессы отверждения стержней.

2. Переоснащение формовочных отделений литейных цехов с переходом на высокопроизводительное и энергосберегающее формовочное оборудование.

3. Использование автоматизации процесса смешивания при приготовлении формовочных и стержневых смесей.

4. Приготовление качественных сплавов с использованием в шихте лома и стружки и приме-

нение современных методов выпечки отливок.

5. Использование современных технологий специальных методов литья при производстве высококачественных отливок.

6. Применение современных информационных технологий при разработке отливки, моделировании процессов литья, создании литейного оборудования и оснастки.

Приведем примеры некоторых разработок ОАО «БелНИИлит» в области ресурсосбережения в литейном производстве.

Так, на долю стержней приходится более 30% трудоемкости изготовления отливок. Стержни определяют точность геометрии и качество внутренних поверхностей литых деталей. Поэтому выбор оптимальной технологии – одна из важнейших проблем.

В связи с возрастающей сложностью конструкции отливок (рис. 1) постоянно повышаются требования к технологическим свойствам стержней.

Во многих литейных цехах крупносерийного и серийного производства отливок изготовление стержней производили с отверждением их в нагреваемой оснастке. Этот процесс освоили в 50-е годы XX в. и он практически полностью заменил изготовление стержней с тепловой сушкой в сушилах. Однако в настоящее время данный процесс не соответствует требованиям, предъявляемым к современным технологиям, из-за присущих ему недостатков:

- пониженная размерная точность получаемых стержней, что не обеспечивает точности, тонкостенности и сложности отливок;

- значительные энергозатраты на нагрев оснастки;

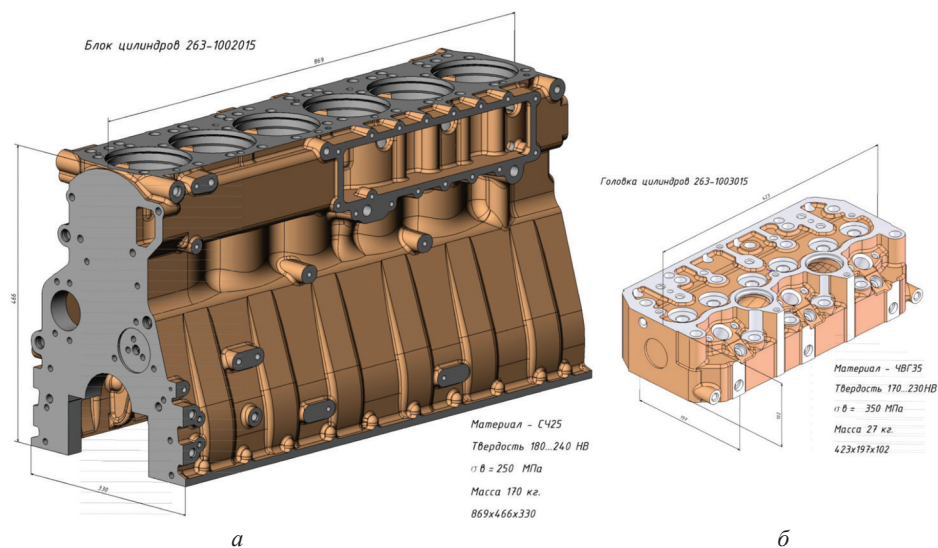


Рис. 1. Примеры сложнопрофильных отливок из железоуглеродистых сплавов: а – блок цилиндров; б – головка блока цилиндров

• выбросы в окружающую среду токсичных газов, ухудшающих санитарно-гигиеническую и экологическую обстановку.

В последние годы в литейном производстве за рубежом произошли значительные изменения в технологии изготовления стержней в серийном и массовом производстве отливок. Сегодня известно несколько таких методов. Их общий признак – отверждение уплотненной в «холодной» оснастке смеси продувкой газовым отвердителем (ГО). Наиболее распространенными методами являются Cold-box-amin-процесс, MF-процесс (Betaset), Эпокси-SO<sub>2</sub>-процесс.

Принципиальными преимуществами новых «холодных» процессов отверждения стержней по сравнению с тепловым отверждением являются повышение размерной и массовой точности стержней и отливок; короткий цикл производства; высокая текучесть стержневых смесей, обеспечивающая возможность качественного уплотнения стержней в оснастке; применение более дешевой стержневой оснастки из дерева, пластмасс и других материалов; значительное снижение затрат энергоресурсов; снижение брака стержней, так как стержень при продувке отверждается по всему объему и приобретает высокую прочность.

В США и Европе в «горячей» оснастке изготавливают всего около 10–15% стержней, а в «холодной» – 85–90%, в том числе примерно 60% Cold-box-amin-процессом (Амин-процессом), вследствие его существенных технико-экономических преимуществ.

Проведенный анализ технологических процессов и оборудования известных мировых производителей стержневого оборудования (Laempe (Германия), Loramendi (Испания), IMF (Италия), NANI-

VA (Япония) и др.), теоретические и экспериментальные исследования позволили приступить к разработке различных вариантов современных продувочных технологий и специализированного оборудования для этих технологий [1]. На основе этого разработана концепция технического перевооружения стержневого производства, включающая:

- 1) оптимизацию технологии производства и конструкцию стержней с объединением их в моноблоки с внутренними полостями;
- 2) создание специального стержневого оборудования для изготовления стержней по продувочным технологиям;
- 3) разработку современной технологии и оборудования смесеприготовления;
- 4) анализ, исследования и выбор оптимальных составов стержневых смесей с применением связующих материалов различных производителей;
- 5) выбор современных технологий нейтрализации вредных выбросов стержневого производства;
- 6) разработку современных способов окраски и подсушки стержней.

Первые крупные промышленные испытания новых технологий на основе современных подходов к техническому перевооружению были начаты и проведены на ПО «МТЗ».

Анализ стоимости изготовления стержней по технологии Cold-box-amin в нагреваемой оснастке (по тепловой сушке) (на основании работы УП «Институт БелНИИлит» с РУП «МТЗ» и данным РУП «МТЗ» по результатам работы) позволяет сформулировать следующие основные статьи экономии технологии Cold-box-amin:

- снижение массы стержней за счет выполнения полостей – 20–30%;

Таблица 1. Оборудование ОАО «БелНИИлит» для производства стержней по Cold-box-amin-процессу, поставленное в страны СНГ в 2000–2008 гг.

| Модель стержневой машины | Предприятие-заказчик                |                          |                                           |                                      |                          |                            |                             |                                |
|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
|                          | ОАО «Автодизель», г. Ярославль, ед. | РУП «МТЗ», г. Минск, ед. | ЗАО «Азовэлектросталь», г. Мариуполь, ед. | ОАО «Тутаевский моторный завод», ед. | РУП «МАЗ», г. Минск, ед. | ОАО «КМПО», г. Казань, ед. | ПО «БелАЗ», г. Могилев, ед. | РУП «Лифтмаш», г. Могилев, ед. |
| 4747Б2К1                 | 6                                   | 8                        | 3                                         | 2                                    | 1                        | —                          |                             | 1                              |
| 4752К1                   | —                                   | —                        | 1                                         | —                                    | —                        | 1                          |                             |                                |
| 4760Б2К1                 | —                                   | 2                        | —                                         | —                                    | —                        | —                          |                             |                                |
| 4709Б2                   | —                                   | 1                        | —                                         | —                                    | —                        | —                          |                             |                                |
| 4751Б1К2                 | —                                   | —                        | —                                         | —                                    | 3                        | —                          | 1                           |                                |
| Всего                    | 6                                   | 11                       | 4                                         | 2                                    | 4                        | 1                          | 1                           | 1                              |

• экономия природного газа – 85 м<sup>3</sup>/т годного литья;

- снижение брака отливок – на 20–40%;
- снижение брака стержней – на 10–20%;
- снижение расхода песка – на 5–10%;
- снижение расходов на изготовление и ремонт оснастки – на 40–50% [2].

В результате работ создана гамма оборудования, которое нашло широкое применение на машиностроительных предприятиях стран СНГ (табл. 1).

Важнейшим звеном в технологии производства отливок является процесс получения литейных форм. Доля различных процессов формообразования в производстве отливок из железоуглеродистых сплавов приведена на рис. 2.

Из рисунка видно, что основная доля (60–70%) отливок из железоуглеродистых сплавов производится литьем в сырые песчано-глинистые формы.

Процесс уплотнения формы зависит от способа силового воздействия на смесь. На поведение смеси при уплотнении существенно влияет скорость изменения сжимающих усилий, поэтому все способы изготовления форм, при которых на смесь воздействуют силовыми методами, делятся на два больших класса: динамические и статические способы. Широко используют на практике также различные комбинации названных способов.

Для динамических способов уплотнения формовочных смесей, в которых существенную роль играют инерционные силы, характерна высокая скорость деформации смеси.

Наиболее перспективным является газодинамическое уплотнение, а именно способы, основанные на использовании энергии пневматического импульса, а также комбинированные способы уплотнения на его основе. Для реализации данного метода создана формовочная машина воздушно-импульсного уплотнения мод. 4841. В результате проведенных исследований были установлены следующие преимущества данного метода уплотнения форм [3]: высокая плотность формы у мо-

дельной плиты и по всему объему, твердость форм по ладу достигает 98 ед.; эффективное уплотнение высоких болванов формы (с относительной высотой  $H/B$  до 1,5); использование обычных песчано-глинистых смесей или специальных смесей с повышенной прочностью до 0,2 МПа; увеличение газопроницаемости смеси в 1,2 раза по сравнению с уплотнением при прессовании; повышение размерной и массовой точности отливок, снижение их массы до 10% по сравнению с отливками, получаемыми встряхивающе-прессовой формовкой.

К статическим способам изготовления литейных форм относятся способы, связанные с прессованием, когда в опоку запрессовывается необходимый объем смеси. Для этих способов характерно относительно медленное увеличение сжимающей нагрузки, когда процесс уплотнения длится несколько секунд, а скорость движения прессующего элемента (или модельной плиты) относительно опоки не превышает обычно 1 м/с.

Формовка прессованием обладает следующими преимуществами по сравнению с другими методами уплотнения:

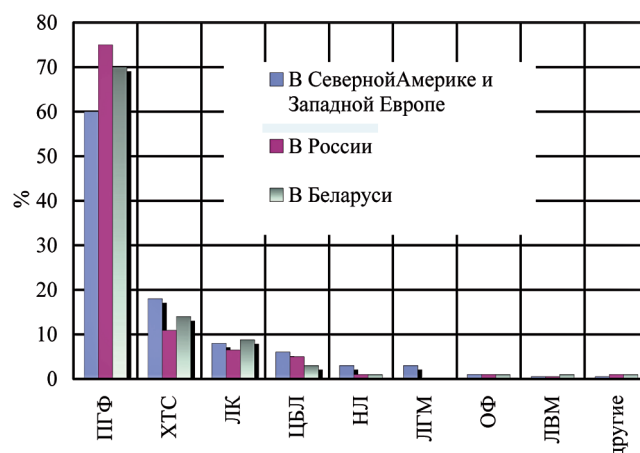


Рис. 2. Доля различных процессов формообразования в производстве отливок из железоуглеродистых сплавов: ПГФ – литье в сырые песчано-глинистые формы; ХТС – в разовые формы из ХТС; ЛК – в кокиль; ЦБЛ – центробежное литье; НЛ – непрерывное литье; ЛГМ – литье по газифицируемым моделям; ОФ – в оболочковые формы; ЛВМ – по выплавляемым моделям

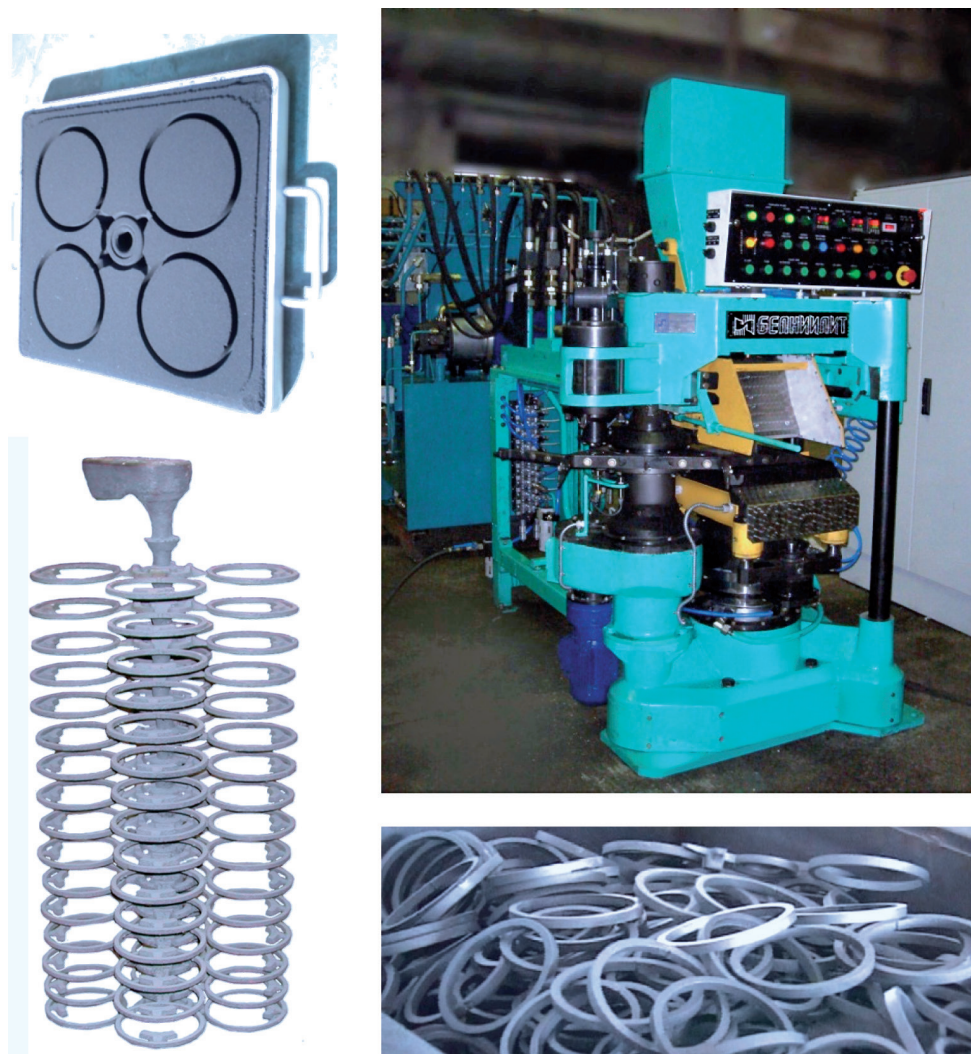


Рис. 3. Машина вертикально-стопочной формовки мод. 4812, форма и отливки

- отсутствуют шум, вибрация, динамические нагрузки на фундамент;
- отливки, полученные в прессованных формах (при оптимальном их уплотнении), имеют высокую точность;
- относительно небольшая продолжительность процесса уплотнения.

В связи с этим формовка прессованием может рассматриваться как перспективная, особенно при получении отливок, имеющих относительно небольшие размеры по высоте.

Для реализации данного метода уплотнения создана машина вертикально-стопочной формовки мод. 4812 (рис. 3), которая нашла широкое применение в производстве отливок поршневых колец [4].

Приготовление стержневой смеси – важное звено в технологической цепочке процесса изготовления стержней, так как свойства смесей во многом предопределяют рабочие характеристики изготавливаемых стержней и влияют на многие

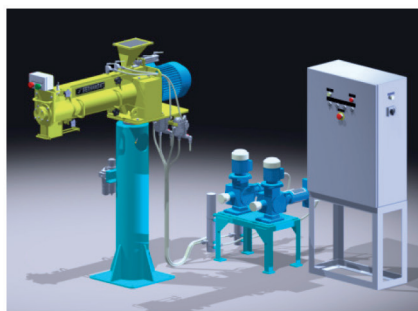
показатели производства отливок, в том числе и на уровень их брака и конечную стоимость.

Определено, что основные параметры стержневой смеси зависят от технологических характеристик исходных компонентов смеси и параметров самого процесса смесеприготовления. Скорость и равномерность распределения компонентов смеси по ее объему определяются совокупностью воздействия на ингредиенты смеси нормальных и сдвиговых напряжений. В качестве основных силовых факторов, обеспечивающих процесс перемешивания, выделяют внешние нагрузки, центробежные силы, гравитационные силы и вибрационные нагрузки. Уровень нормальных и сдвиговых напряжений, действующих в смеси и обеспечивающих ее формирование, определяется различными факторами, но в основном зависит от вязкости и адгезионно-когезионных свойств связующего.

Определена главная концепция в области смесеприготовительного оборудования для машинного производства стержней по методу Cold-box-amin,



а



б



в

Рис. 4. Смесители периодического (а), непрерывного (б) действия и смесеприготовительная установка (в)

которая предполагает организацию централизованного приготовления смеси с последующей ее доставкой кубеями в расходные бункеры машин; встраивание смесителей непосредственно в конструкцию стержневой машины.

Установлено, что основными узлами систем смесеприготовления являются смеситель, агрегаты и механизмы подачи и дозирования сухого песка и жидких связующих компонентов. Различные технологические схемы установок смесеприготовления можно получить, комбинируя эти узлы [5].

Разработаны конструкции смесителей периодического (рис. 4, а) и непрерывного (рис. 4, б) действия и смесеприготовительных установок (рис. 4, в) для приготовления стержневых песчано-смоляных смесей.

При приготовлении песчано-глинистых смесей наиболее распространенными и традиционно применяемыми в литейном производстве являлись до недавнего времени смесители с неподвижной чашей и катками, вращающимися вокруг горизонтальных осей.

Установлено [6], что наилучшее соотношение «качество смеси – производительность – энергоэффективность» обеспечивается при использовании бескатковых, или вихревых смесителей. Приготовление песчано-глинистых смесей с использованием вихревого смешивания имеет следующий ряд преимуществ:

- вихревой смеситель по сравнению с катковым обладает более высокой (в 1,5–2,0 раза) производительностью и обеспечивает повышение качественных характеристик формочной песчано-

глинистой смеси: газопроницаемость в 1,2–1,5 раза; прочность – на 10–15%; уплотняемость – на 15–20%;

- удельное энергопотребление вихревого смесителя в 1,5–2,0 раза ниже, чем каткового, время замеса – 1,0–1,5 мин с загрузкой и выгрузкой смеси;

- экономия энергозатрат по сравнению с катковыми смесителями с массой замеса 1 т за 1 год составляет до 100 тыс. кВт/ч в год при двухсменном режиме;

- непрерывная аэрация смеси во время перемешивания улучшает ее формуемость и уплотняемость, позволяет готовить высокопрочные смеси до 2 МПа практически при сохранении производительности смесителя.

На основе этой технологии вихревого смешивания разработаны автоматизированные смесеприготовительные комплексы различной производительности, включающие смеситель, систему дозирования компонентов и контроля качества приготовленной формочной смеси (рис. 5).



Рис. 5. Отладка автоматизированного смесеприготовительного комплекса мод. 4847

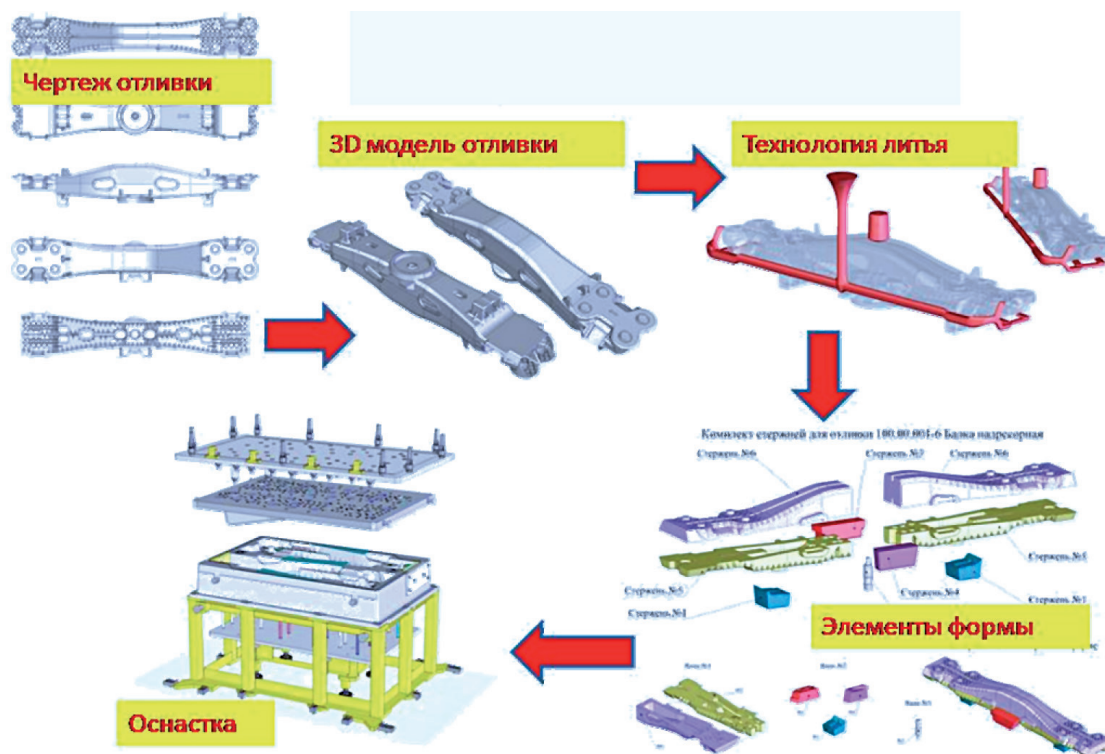


Рис. 6. Проектирование отливок и технологической оснастки

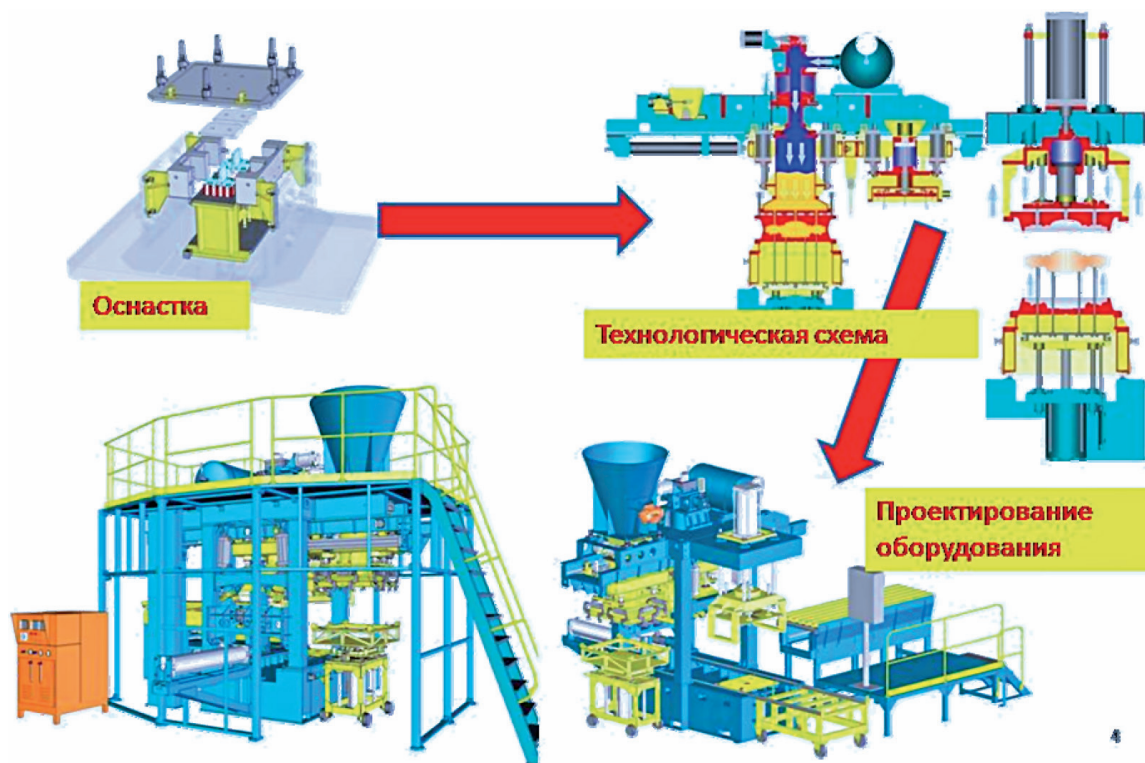


Рис. 7. Проектирование технологического оборудования

Существенную ресурсосберегающую роль в современном литейном производстве в настоящее время играет применение компьютерных технологий на всех стадиях получения отливки [7]:

1. Проектирование отливки и технологической оснастки (рис. 6).

2. Проектирование технологического оборудования (рис. 7).

3. Моделирование процессов литья (рис. 8).

Таким образом, литейное производство Республики Беларусь и стран СНГ на современном этапе его развития имеет существенные резервы ре-

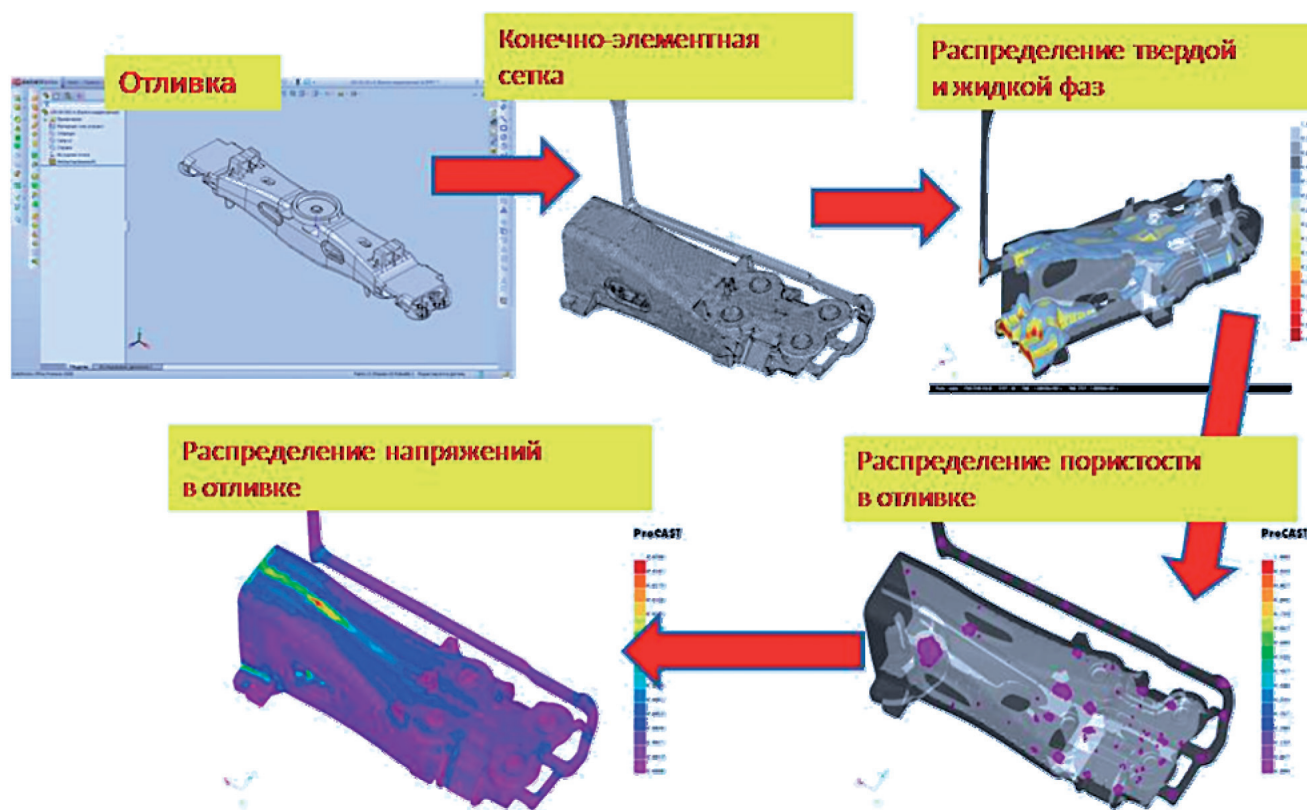


Рис. 8. Моделирование процессов литья

сурсосбережения. Причем значительная часть технологий и оборудования, обеспечивающих ресурсо-

сбережение, разрабатывается в Республике Беларусь силами отечественных инженеров и ученых.

### Литература

1. Кудин Д. А., Кукуй Д. М., Куракевич Б. В., Мельников А. П. Технология и оборудование для производства стержней методом Cold-box-amin. Мн.: ООО «Новое знание», 2007.
2. Шварц Е. Г., Пасюк Г. И., Куракевич Б. В., Мельников А. П. и др. Техническое переоснащение стержневого производства литейного цеха ПО «МТЗ» // Литейное производство. 2002. № 1. С. 35–38.
3. Голуб Д. М., Мельников А. П., Болотский В. Д. Импульсно-прессовая формовочная машина // Литейное производство. 2002. № 1. С. 18–19.
4. Мельников А. П., Бондарик Н. Е., Фонов В. В. и др. Производство отливок поршневых колец в вертикальных стопочных формах // Литейное производство. 2007. № 11. С. 15–16.
5. Мельников А. П., Куракевич Б. В., Кудин Д. А. и др. Оборудование для приготовления песчано-смоляных стержневых смесей для технологии холодного отверждения // Литейное производство. 2007. № 11. С. 6–12.
6. Мельников А. П., Кукуй Д. М., Ровин С. Л. и др. Автоматизированный смесеприготовительный комплекс // Литейное производство. 2007. № 11. С. 4–5.
7. Мельников А. П. Новый уровень разработок БелНИИлита с применением информационных технологий // Литье и металлургия. 1998. № 2. С. 3–5.