

УДК 65.011.4, 65.011.8

МОДЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛИТЕЙНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ АВИАСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

© 2012 О.Ю. Левкина¹, Ю.В. Полянсков¹, А.М. Топорков², А.Н. Пирогов²

¹ Ульяновский государственный университет

² Закрытое акционерное общество «Авиастар-СП»,

Исследована актуальная задача повышения эффективности литейного производства авиастроительного предприятия в условиях мелкосерийного производства заготовок за счет разработки методов и средств эффективной организации и оценки производственных и технологических процессов с применением современных информационных технологий.

Ключевые слова: литейное производство, авиастроительное предприятие, система ключевых показателей эффективности, классификация производственных факторов, производственные и технологические резервы, быстрое прототипирование, центр компетенции.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Заготовительное производство задает ритм работы всего предприятия по выпуску готовых изделий. В современном авиастроении большое количество деталей и сборок узлов и агрегатов воздушного судна получают из литых заготовок. При анализе литейного производства авиастроительного предприятия были выявлены следующие особенности деталей из литых заготовок для изделий авиастроения:

- 1) изготовление большой номенклатуры деталей при относительно малой их серийности;
- 2) пространственная и контурная сложность деталей с обеспечением высоких требований к обеспечению точности изготовления и сборки;
- 3) получение деталей сложной конфигурации от поставщиков для обеспечения точной сборки;
- 4) конструктивная сложность литых металлических деталей, которые имеют большое число поднутрений для снижения их веса, что обуславливает сложность оснастки для изготовления моделей, форм и заготовок.

Современное состояние литейного производства предприятий гражданского авиастроения характеризуется мелкосерийным характером, морально и физически устаревающим оборудованием и технологиями, которые не в состоянии в полной мере обеспечить современ-

ный уровень требований к качеству отливок при стремлении к минимизации затрат на их производство в соответствии с быстро изменяющейся номенклатурой.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В современных условиях запуска новых проектов и модернизации освоенных в производстве изделий гражданского авиастроения существует необходимость разработки методов и средств эффективной организации и оценки процессов литейного производства. Для решения поставленной задачи предлагается система ключевых показателей эффективности, расчет которых позволит сделать выводы об эффективности производственных и технологических процессов литейного производства.

ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ КЛЮЧЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА.

В основу выбора ключевых показателей эффективности легло представление о литейном производстве, как заготовительном для авиастроительного предприятия, значит материально-технические и временные затраты на производство отливок, увеличивающие стоимость конечной продукции, должны быть минимальны, а сами заготовки высокотехнологичны. В этой связи проведено уточнение основных задач литейного производства, решение которых позволит повысить эффективность производственных и технологических процессов:

- 1) Сокращение потерь металла при производстве отливок. Разница между весом готовых, прошедших контроль отливок и весом металла, который загрузался в печи, определяется потерями при плавке, заливке в формы, весом метал-

Левкина Ольга Юрьевна, аспирант кафедры математического моделирования технических систем.

E-mail: levkinao@ulsu.ru,

Полянсков Юрий Вячеславович, доктор технических наук, профессор, Президент университета.

E-mail: President@Ulsu.Ru

Топорков Андрей Михайлович, заместитель Генерального директора по экономике и финансам.

E-mail: d640@aviastar-sp.ru

Пирогов Алексей Николаевич, начальник управления инвестиционного планирования. E-mail: d077@aviastar-sp.ru

ла, образующего литниковую систему и весом бракованных отливок;

2) Сокращение времени простоя оборудования. Потери времени возникают на каждом этапе технологического процесса и связаны с простоем производства при формовке, производственными задержками, например при транспортировке, изготовление бракованных форм или отливок, что приводит к повторному их изготовлению;

3) Сокращение расхода технических ресурсов. Под техническими ресурсами, необходимыми для технологического процесса производства отливок подразумеваются электроэнергия (фактор ограничения производительности, так как на плавку расходуется до 75% всей энергии, потребляемой литейным производством), вода (для систем охлаждения), формовочный материал (для формовочных смесей);

4) Повышение производительности труда. На каждом этапе технологического процесса от разработки технологии до передачи заготовок цехам-потребителям необходимо учитывать затраты времени и необходимое количество основного производственного и вспомогательного персонала для выполнения технологических операций;

5) Производство рациональной литой заготовки. Параметры производимой заготовки должны по механическим свойствам соответствовать требованиям конструкторской и нормативно-технической документации, по геометрии – максимально приближенными к конфигурации готовой детали конструкции. Это возможно за счет применения новых технологических процессов получения заготовок, современного оборудования и применения информационных тех-

нологий на различных стадиях производственного процесса;

6) Обеспечение конкурентных преимуществ изготавливаемых заготовок в условиях производства мелкими сериями при наличии производственной базы значительно по масштабу превышающей объем производства. Эффективность организации литейного производства. Анализ задач позволяет определить основные расчетные характеристики производства, которые могут быть использованы для оценки эффективности производственных и технологических процессов: расход металла, время на каждый этап производственного процесса, расход электроэнергии, воды и формовочных материалов, количество сотрудников литейного производства, а также требования к технологичности отливки и требования к применяемому оборудованию. Выделенные расчетные характеристики легли в основу системы ключевых показателей эффективности литейного производства (табл. 1).

На рис. 1 показана схема производственного процесса изготовления отливки во взаимосвязи с показателями эффективности, оказывающими влияние на соответствующие его этапы, которая позволяет сделать вывод о том, на какой этап производственного процесса нужно оказывать воздействие чтобы улучшить значение того или иного показателя. Для расчета количественных значений ключевых показателей эффективности используются основные расчетные характеристики литейного производства, определенные ранее.

Предложенная схема производственного процесса изготовления отливки во взаимосвязи с показателями эффективности далее используется для выявления факторов, оказывающих

Таблица 1. Показатели эффективности литейного производства

| КПЭ | Обозначение | Составные показатели |
|---|-------------|--|
| Выход годного литья | K_1 | K_{11} Потери при плавке |
| | | K_{12} Потери при заливке |
| | | K_{13} Потери на литниковую систему |
| | | K_{14} Потери на брак и возврат |
| | | K'_{13} Выход годного на форму |
| Производительность применяемого оборудования | K_2 | K_{21} Простой производства при формовке |
| | | K_{22} Производственные задержки |
| | | K_{23} Бракованные формы |
| | | K_{24} Бракованные отливки и возврат |
| Расход электроэнергии производством | K_3 | K_{31} Расход энергии для плавки |
| | | K_{32} Расход энергии литейным производством |
| Расход формовочных смесей при подготовке производства | K_4 | K_{41} Расход свежего песка |
| | | K_{42} Коэффициент регенерации песка |
| Расход воды производством | K_5 | K_5 Расход воды |
| Производительность труда персонала | K_6 | K_{61} Производительность труда |
| | | K'_{61} Коэффициент персонала |

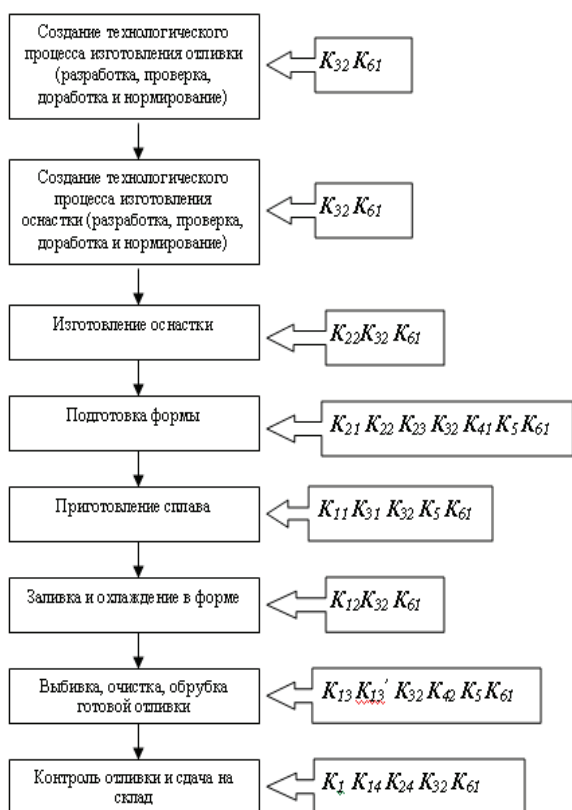


Рис. 1. Схема производственного процесса изготовления отливки во взаимосвязи с показателями эффективности

влияние на показатели эффективности. На различные этапы производственного процесса оказывают влияние множество факторов. Для проведения их классификации используется предложенная схема, которая устанавливает взаимосвязь этапов с показателями эффективности, что позволяет связать эти показатели с факторами, влияющими на производственный процесс.

Классификация и анализ факторов, оказывающих влияние на производственный процесс изготовления отливки.

Ключевые показатели эффективности литейного производства формируются под воздействием определенных факторов, которые оказывают влияние на производственный процесс. Факторы, оказывающие влияние на каждый из шести показателей эффективности условно можно разделить на два уровня. Под воздействием факторов первого уровня («измеряемые» факторы) происходит формирование определенных значений показателей эффективности. Эти факторы можно количественно оценить, их учет позволит рассчитать значения показателей. Факторы второго уровня («качественные» факторы) оказывают косвенное влияние на показатели эффективности, но под их воздействием формируются значения оценочных факторов

первого уровня и на их основе формируются резервы эффективности производства. В табл. 2 приведена классификация факторов, оказывающих влияние на производственный процесс литейного производства.

Анализ факторов, позволяет выделить производственные и технологические резервы повышения эффективности процессов литейного производства. Производственные резервы связаны с особенностями организации процесса производства отливки, учитывающими применяемое оборудование, квалификацию персонала, особенности организации труда на производстве. Технологические резервы связаны с конструктивными особенностями литой заготовки, параметрами технологического процесса ее получения, выбором ресурсоэффективного варианта технологического процесса, применением современных информационных технологий при производстве литых заготовок.

Разработанный подход к оценке деятельности литейного производства, который заключается в определении и расчете значений ключевых показателей эффективности и классификации факторов, оказывающих влияние на производственный процесс, может быть применен при разработке, обосновании и оценке сценариев повышения эффективности литейного производства. Далее для примера рассмотрим два из них.

Повышение эффективности процессов литейного производства за счет использования производственных резервов. Центр компетенции как новая форма организации литейного производства.

Одним из производственных резервов повышения эффективности литейного производства авиастроительного предприятия является новая форма организации литейного производства в виде центра компетенции. Предпосылками являются некоторые трудности современных предприятий гражданского авиастроения связанные с отсутствием продуктов имеющих массовый спрос и производимых серийно, а так же наличием производственной базы, значительно по масштабу превышающей объем производства. Формирование на основе этой производственной базы центров компетенции позволит сократить издержки для реализуемых проектов предприятий авиастроительной отрасли и использовать существующий человеческий потенциал в условиях малого количества конечных продуктов выпускаемых предприятиями отрасли.

Предлагается сконцентрировать заготовительное производство на одной производственной площадке, объединив производственную программу предприятий авиастроительной от-

расли на одной площадке, оснастить его современным высокопроизводительным оборудованием, тем самым снизить затраты на модернизацию данного вида производств в рамках одного

Таблица 2. Классификация факторов, влияющих на показатели эффективности литейного производства

| Показатель эффективности | Оценочные факторы 1-го уровня | Качественные факторы 2-го уровня |
|--|--|---|
| Выход годного литья K_1 | Вес загружаемого в печи металла | Качество шихтового материала |
| | | Время выдержки металла |
| | Составные компоненты шихты | Химический состав шлака |
| | | Химический состав сплава |
| | | Температура сплава в раздаточном ковше |
| | Общий вес выпускаемого из печей металла | Качество оборудования |
| | | Квалификация рабочих |
| | | Контроль заливки формы |
| Общий вес жидкого металла, заливаемого в формы | Размер литниковой системы | |
| | Размер питателей | |
| Общий вес произведенного литья | Размер литниковых воронок | |
| | Число выемок на форму | |
| Общий вес литниковой системы | Размер формовочного ящика | |
| | Качество песчаной смеси | |
| Общий вес внутреннего брака | Требования технологического процесса | |
| | Требования металлургии | |
| Общий вес возвратного литья | Конструкция отливки | |
| | Контроль отливки | |
| Производительность оборудования K_2 | Запланированное время работы оборудования | Ожидание поступления ресурсов (металла или песка) |
| | | Большая номенклатура отливок |
| | | Планирование загрузки печей |
| | Количество бракованных форм | Сложность заливки формы |
| | | Незапланированные остановки оборудования/персонала |
| | | Несинхронность процессов |
| | Фактическое время работы формовочного участка | Недостаточный контроль процесса |
| | | Время заливки |
| | | Качество песчано-глинистой смеси |
| | Время на изготовление годных форм | Качество модели |
| | | Количество незалитых форм |
| | | Квалификация рабочих |
| | Время на изготовление годных отливок | Особенности технологического процесса |
| | | Требования металлургии |
| Конструкция отливки | | |
| Расход энергии K_3 | Энергопотребление плавильного оборудования | Контроль отливки |
| | | Технические характеристики плавильного оборудования |
| | | Время раздачи жидкого металла |
| | Количество плавильного оборудования | Характеристики металла |
| | | Длительность цикла термообработки |
| | | Система отопления и вентиляции |
| | Энергопотребление подразделений литейного производства | Наличие мероприятия по экономии энергии |
| | | Количество смен производства |
| | | Размеры цехов |
| Расход песка K_4 | Общий вес произведенного литья | Количество стержней |
| | | Размеры стержней |
| | Вес свежего приобретенного песка | Сгорание песка |
| | | Качество песка |
| | Коэффициент регенерации песка | Требования к качеству поверхности отливки |
| | Планирование производства | |

Окончание таблицы 2

| Показатель эффективности | Оценочные факторы 1-го уровня | Качественные факторы 2-го уровня |
|-----------------------------------|--|---|
| Расход воды K_5 | Общий вес произведенного годного литья | Термообработка (закаливание) |
| | | Охлаждение печей/песка |
| | | Вода для подготовки песчаных смесей |
| | | Испарения в системе охлаждения |
| | Общий объем воды, потребляемый производством | Эффективность системы охлаждения |
| | | Системы очистки |
| Производительность труда K_6 | Количество управляющего и проверяющего персонала | Уровень автоматизации производства |
| | | Количество избыточного персонала |
| | Количество производственного персонала | Отсутствие практики экономии времени |
| | | Несоблюдение производственных стандартов |
| | Общий вес произведенного годного литья | Квалификация персонала |
| | | Уровень организации и планирования производства |

предприятия отрасли, тем самым обеспечив более полную загрузку. Эти меры позволят снизить себестоимость изготовления изделий, обеспечить повышение качества, создать условия для повышения потребительских свойств конечной продукции, обеспечить снижение издержек основного производства, путем перераспределения накладных расходов на центр компетенции, который в свою очередь будет распределять данные расходы на сторонние заказы, создать условия для формирования и развития конкурентных преимуществ отдельных производств и предприятий отрасли в целом.

В настоящее время ведется работа по созданию центра компетенции на базе металлургического производства ЗАО «Авиастар-СП», основными задачами которого будут обеспечение необходимого уровня качества, рентабельности, экономической эффективности производства рациональной заготовки на современном уровне, обеспечение производительности, способности ускоренного освоения и внедрение новой номенклатуры и технологий. Создание центра компетенции металлургического производства на базе ЗАО «Авиастар-СП» имеет следующие предпосылки:

1) расположение существующего металлургического производства в обособленных корпусах, которые находятся в удовлетворительном состоянии и не требуют значительных капитальных затрат;

2) наличие специализированных под литье производственных площадей и возможность размещения на свободных специализированных площадях необходимого современного оборудования и внедрения прогрессивных технологий по производству любых видов литья;

3) наличие складских площадей, позволяющих в нормальных условиях осуществлять хранение оснащения и материалов;

4) наличие единый лабораторный комплекс для производства литья;

5) наличие комплексных единых инженерных сетей;

6) уверенное энергообеспечение;

7) единый комплекс бытовых и административных помещений;

8) наличие железнодорожного подъездного пути;

9) возможность сокращения цикла запуска в производство деталей из рациональной заготовки за счет более полного использования современных компьютерных технологий на различных этапах производства отливки.

Для удовлетворения потребностей предприятий отрасли в качественном литье необходимо в первую очередь провести перевооружение и модернизацию действующего производства. Одно из направлений модернизации - переход на безлюдные технологии изготовления разовых песчаных форм с применением систем прототипирования, изготовление выплавляемых и выжигаемых модельных блоков на 3D-принтерах и проведение на стадии конструкторско-технологической подготовки (КТПП) литейного производства компьютерного моделирования процесса литья для получения большего эффекта от применения новых методов получения форм и моделей. Оценить эффект от предлагаемых мероприятий возможно на основе предложенной системы ключевых показателей эффективности. Реализация подобных мер силами литейного производства, обеспечивающее заготовками одно предприятие отрасли потребует значитель-

ных затрат. В то время как в рамках центра компетенции можно будет распределить расходы, связанные с применением нового оборудования, программного обеспечения, внедрением новых технологических процессов и их отработки за счет изготовления высококачественных заготовок и увеличения объемов производства для обеспечения потребности большинства предприятий отрасли в литых заготовках.

Далее подробнее рассмотрим влияние на КТПП литейного производства применения современных информационных технологий на различных ее этапах.

Подход к повышению эффективности процессов литейного производства за счет использования выявленных технологических резервов.

В настоящее время применение информационных технологий, таких как технология быстрого прототипирования и компьютерное моделирование процесса отверждения отливки, является одним из вариантов повышения эффективности организации конструкторско-технологической подготовки литейного производства, за счет изготовления отливок в меньшие сроки с высоким качеством поверхности и низкой доли брака [1]. Эта технология позволяет по моделям деталей из САД приложений создавать трёхмерные физические модели-прототипы без инструментального их изготовления. Применение технологии быстрого прототипирования на этапе конструкторско-технологической подготовки производства вносит следующие изменения в последовательность разработки технологического процесса изготовления отливки (рис. 2).

Проведенный анализ литейного производства предприятия авиастроительной отрасли показал, что технологию быстрого прототипирования целесообразно применять при производстве первой контрольной партии отливок, а также для отливок малой применяемости, при отработке на технологичность литейных форм, при поиске путей улучшения конструктивных особенностей отливок, сокращении количества металла, снижении доли брака, улучшение качества

тела отливок и поверхностей – всё это позволит сократить временные и финансовые затраты на их производство и, следовательно, повысит эффективность литейного производства [2].

На основе анализа нормативной документации и основных процессов литейного производства были разработаны две схемы КТПП. На рисунке 3 приведена схема КТПП без применения современных информационных технологий. Процесс КТПП при внедрении в производство новой номенклатуры отливок представляет собой последовательность действий от начального этапа разработки требуемой технологической документации до конечного этапа производства годной отливки.

Этапы 2-15 выполняются сотрудниками производства на основании нормативных документов, личного опыта, расчетных схем и типовых технологических процессов. При этом этапы разработки оснастки и конструкторско-технологической документации 5-15 могут быть повторены несколько раз, до момента получения годной партии отливок, и представляют собой опытные испытания оснастки. Завершающим этапом является формирование конструкторско-технологической документации, обеспечивающей процесс получения годных отливок.

На рис. 4 представлена схема, основанная на применении нового подхода к организации КТПП, а именно компьютерное моделирование формы 3а, компьютерный анализ процесса отверждения отливки для определения технологических параметров процесса литья 4а и изготовление формы посредством применения технологии быстрого прототипирования и печати форм 10а и моделей 11а. В этом случае КТПП осуществляется с использованием современных информационных технологий компьютерного моделирования, анализа процесса литья и применения технологии быстрого прототипирования для получения оснастки - выплавляемой модели или формы для литья. При этом за счет компьютерного моделирования формы исключаются этапы 3, 5, 7, 9, 11, 12, 13 (рис. 3). *Этапы 2, 3а, 4а, 6,*

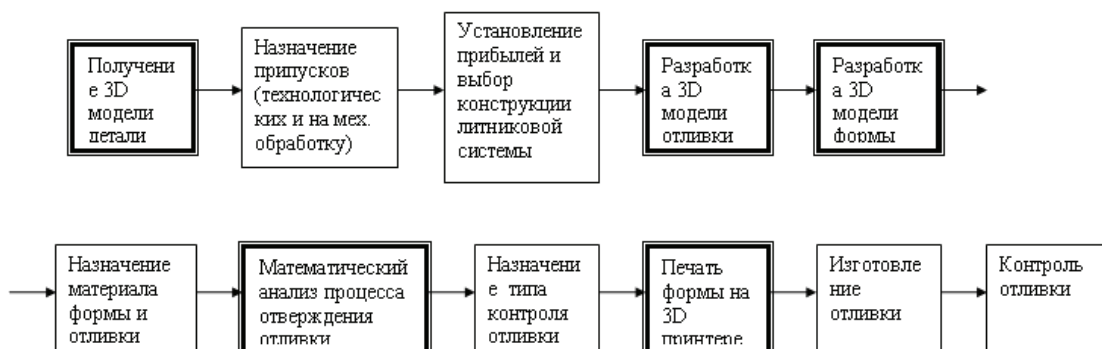


Рис. 2. Этапы разработки технологического процесса изготовления отливки

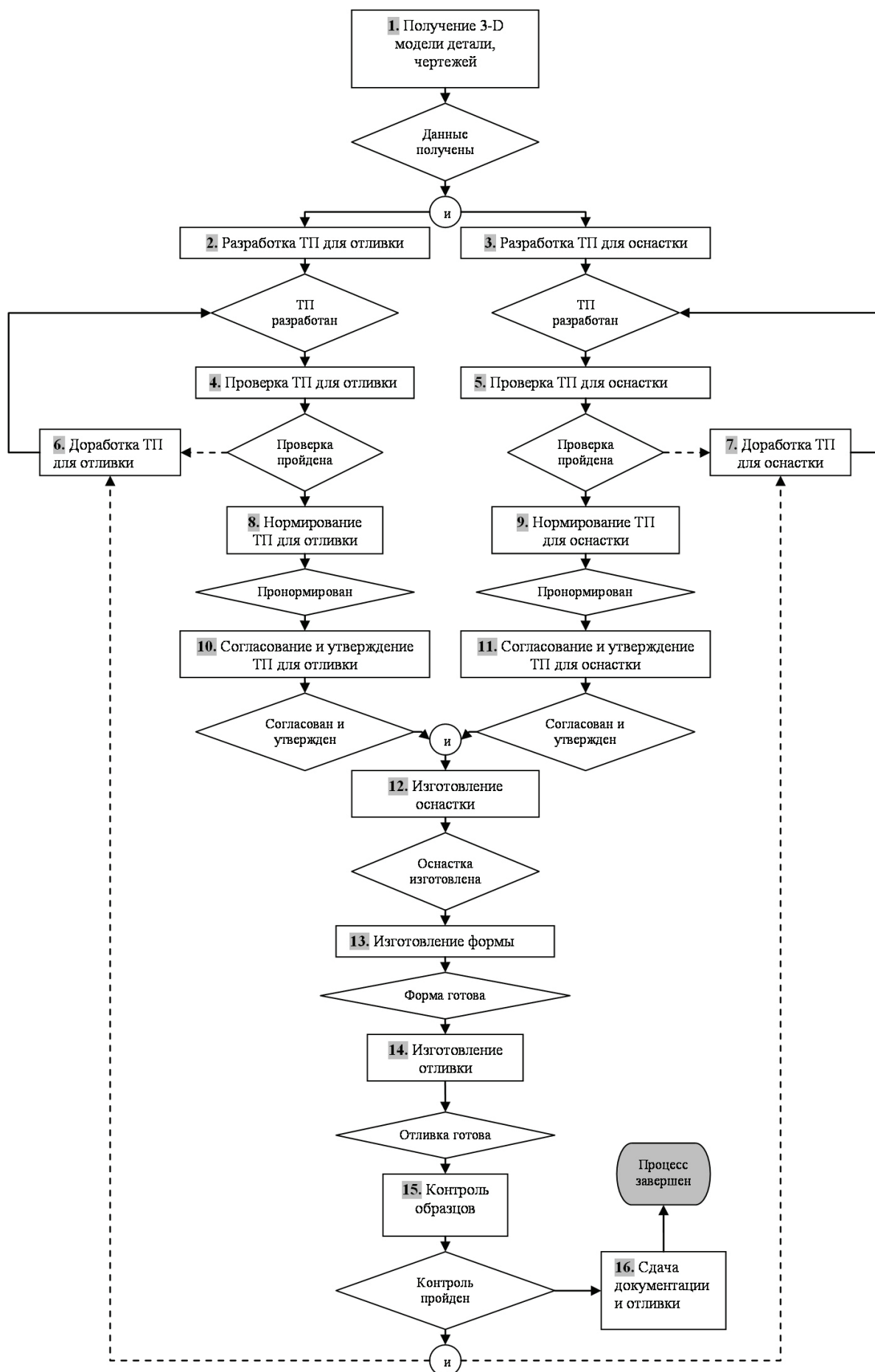


Рис. 3. Схема КТПП без применения новых информационных технологий

8 (рис. 4) выполняются с помощью современного компьютеризированного подхода к моделированию процесса литья, 10a – этап изготовления формы путем печати ее на 3D принтере, этап

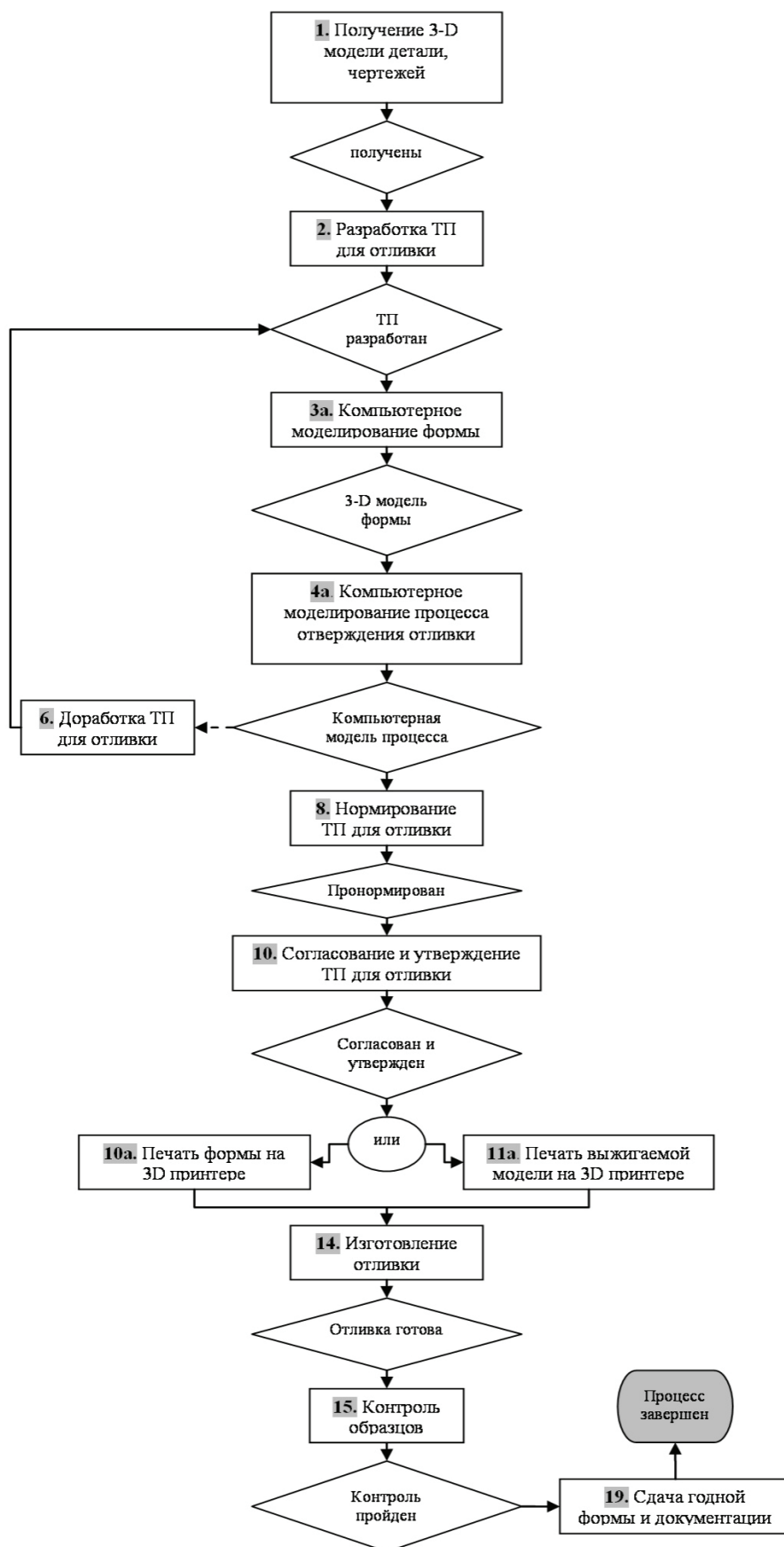


Рис. 4. Схема КТПП с применением новых информационных технологий

1) Печать выплавляемой модели. Этап доработки формы или модели осуществляется путем внесения изменений в разработанный технологический процесс на основе компьютерного моделирования и расчета процессов взаимодействия в системе отливка-форма. Компьютерное моделирование процесса литья позволяет сократить количество испытаний формы, подобрать оптимальные параметры технологического процесса, что значительно снизит время на конструкторско-технологическую подготовку запуска в производства новой номенклатуры отливок. При этом технология быстрого прототипирования не требует изготовления оснастки и разработки технологического процесса для нее, обеспечивает сокращение времени изготовления формы для литья.

Сравнительный анализ эффективности двух схем КТПП проводится на основе разработанной системы ключевых показателей эффективности.

ВЫВОДЫ

1) Сформирована система ключевых показателей эффективности литейного производства, которая позволяет количественно оценить степень решения основных задач, которые стоят перед литейным производством.

2) Предложена схема производственного процесса изготовления отливки во взаимосвязи с ключевыми показателями эффективности, которая позволяет выявить и классифицировать факторы, оказывающие влияние на эффективность литейного производства.

3) Разработанный подход к оценке деятельности литейного производства, который заключается в определении и расчете значений ключевых показателей эффективности и классификации факторов, оказывающих влияние на производственный процесс, может быть применен при разработке, обосновании и оценке сценариев повышения эффективности литейного производства.

4) Рассмотрены два сценария повышения эффективности литейного производства авиационного предприятия в условиях мелкосерийного производства: за счет реализации производственных резервов - новый подход к организации производства на базе центра компетенции, и за счет реализации технологических резервов - применение современных информационных технологий при КТПП литейного производства. Оценка и сравнение вариантов проводится путем расчета ключевых показателей эффективности.

Работы выполнены при частичной финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ткаченко С.С.* Совершенствование технологии и повышение эффективности литейного производства // *Металлург.* 2008. №11. С. 121-122.
2. *Левкина О.Ю.* Математическое моделирование термомеханических напряжений и деформаций заготовок, получаемых методом литья с применением технологии быстрого прототипирования // *Вестник МГТУ «Станкин».* №4. Т. 2 (17). С.93-97.

EFFECTIVE MANAGEMENT MODEL OF FOUNDRY FOR AIRCRAFT COMPANIES

© 2012 O.Yu. Levkina¹, Y.V. Polyanskov¹, A.M. Toporkov², A.N. Pirogov²

¹ Ulyanovsk State University

² Closed Stock Company «AVIASTAR-SP», Ulyanovsk

The present article reports the urgent task of foundry efficiency improving for aircraft companies for small-lot production of workpieces through the development of methods and means for the effective organization and evaluation of production processes with the use of modern information technology.

Keywords: aircraft building corporation, foundry, system of key performance indicators, production factors classification, production capabilities, rapid prototyping technology, competence center.

Olga Levkina, Post-Graduate Student at the Mathematical Modeling of Technical Systems Department.

E-mail: levkinaoyu@ulsu.ru,

Yuri Polyanskov, Doctor of Technics, Professor, President of University, Director of Competence Center "Aviation Technology and Air Mobility". E-mail: President@Ulsu.Ru

Andrey Toporkov, Deputy General Director for Economy and Finance - Economy and Finance Director.

E-mail: d640@aviastar-sp.ru

Aleksey Pirogov, Head of Department of Investment Planning.

E-mail: d077@aviastar-sp.ru