

## ОПТИМИЗАЦИЯ

# Автоматизация технологической подготовки производства



Текст: **Станислав Гафт**

”

Одна из основных задач, решаемых при построении эффективного приборного производства — обеспечение условий быстрого внедрения и вывода на рынок новых изделий. И это учитывая, что при разработке новых приборов необходимы, по крайней мере, 2-3 итерации, а по существующей на данный момент международной практике — до пяти. Каждая такая итерация сопровождается изготовлением прототипа (опытного/лабораторного образца) в качестве физического макета для проверки корректной реализации функций, определенных техническим заданием на разработку. Это, в свою очередь, означает, что в процессе разработки нового прибора от её начала до вывода изделия на рынок необходимо изготовить от трех до пяти различных (модифицируемых) вариантов нового прибора. Для каждого из этих вариантов нужно провести технологическую подготовку производства. Таким образом, время вывода нового изделия на рынок в значительной степени определяется периодом изготовления нового варианта прибора.

Современный прибор, как правило, нельзя изготовить «по старинке», используя классические радиолюбительские методы с травлением печатных плат на кухне в фотокювете и пайки оплавлением в газовом духовом шкафу: слишком малы стали компоненты, резко снизился шаг выводов, возросли требования к температурам и скорости её изменения при оплавлении. Настоятельной необходимостью стало использование современных методов и инструментов проектирования, подготовки производства и изготовления. Резко возросли требования к методам инспекции и контроля качества при изготовлении печатных узлов: слишком трудно, долго и дорого стало искать потенциальный дефект глазами даже при отладке опытных образцов печатных узлов современных приборов. Учитывая, что при разработке нового изделия требуется до пяти итераций и при прохождении каждого этапа необходимо изготовить физический макет для контроля свойств и характеристик на соответствие их техническому заданию, время вывода новых изделий на рынок в значительной, если не в решающей, степени стало зависеть от скорости проведения технологической подготовки производства и уровня автоматизации этого процесса.

## Конструктор — лучший технолог

Качество конструирования зависит, прежде всего, от добросовестности исполнителя. Нельзя конструировать современный прибор, если не знаешь или не понимаешь технологию его изготовления. А вот при формальном подходе к этому процессу обычно и создаются нетехнологичные, нетестопригодные, неремонтопригодные приборы.

Причина одна: «Да не моё это дело обеспечивать технологичность и тестопригодность! Изделие работает? Скажите мне спасибо! Художника каждый обидеть может! Душа ведь у него ранимая!» Думаю, что эти слова в той или иной интерпретации можно услышать практически на любом предприятии.

Учитывая всё сказанное выше, перед проведением процесса технологической подготовки производства необходимо проверить разработанную на новое изделие конструкторскую документацию на соответствие установленным на предприятии нормам, как правило, для этого разрабатываются и утверждаются соответствующие стандарты предприятия. Такая проверка должна проводиться на этапе согласования, например, специалистом в отделе главного технолога, который ставит подпись в графе «Тех. контроль». И, конечно, было бы хорошо, если бы система управления помогла автоматизировать и этот процесс.

## Проверка конструкторской документации

Нужно понимать, что чем выше уровень автоматизации процесса, тем больше ограничений накладывается на разрабатываемые и используемые документы. Что необходимо проверить при приёмке конструкторской документации?

### 1. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ РАЗРАБОТАННОГО ИЗДЕЛИЯ, ВКЛЮЧАЯ:

- 1.1. Соответствие применённых компонентов ограничительному перечню.
- 1.2. Наличие типового технологического процесса для изготовления изделия (сборочной единицы).
- 1.3. Соответствие уровня автоматизации, которая может быть обеспечена при типовом технологическом процессе на данном заводе-изготовителе для данного изделия и соответствие этого параметра утверждённому значению. Например, если на предприятии для новых изделий, предлагаемых к постановке на серийное производство, утверждён уровень автоматизации не менее 95 %, то при уровне автоматизации 90 % потребуются дополнительное согласование.

Система управления в процессе проведения проверки технологичности изделия должна:

- проверить возможность автоматической установки всех компонентов, входящих в состав изделия (печатного узла сборочной единицы, прибора);
- вычислить уровень автоматизации как частное от деления количества компонентов, которые могут быть установлены автоматически существующим (или предполагаемым к закупке в процессе технического перевооружения в ближайшее время) автоматическим сборочным оборудованием к общему числу компонентов;
- представить отчёт с объяснением причин (который можно использовать и для выработки замечаний и рекомендаций конструкторам и схемотехникам) для повышения уровня технологичности данного изделия для компонентов, которые не могут быть установлены автоматически;
- проверить соответствие норм проектирования печатных плат и подложек с учётом утверждённых стандартов предприятия (СТП) и выдать замечания и рекомендации в случаях несоответствия:
  - ♦ размеров контактных площадок на печатных платах и подложках;

- ♦ минимальных расстояний между:
  - печатными проводниками;
  - печатными проводниками и контактными площадками;
  - контактными площадками и краем платы;
  - печатными проводниками и краем платы;
  - контактными площадками и неметаллизированными отверстиями в печатной плате;
  - печатными проводниками и неметаллизированным отверстием в печатной плате;
  - корпусами компонентов.

1.4. Необходимость внедрения новых технологических операций и/или нового технологического процесса. При анализе компонентов прибора с точки зрения возможности проведения автоматического монтажа и пайки система выявит те компоненты, которые нельзя монтировать существующим автоматическим сборочным оборудованием, и, в некоторых случаях, те компоненты, которые нельзя смонтировать без модификации существующего типового технологического процесса. При этом типовой технологический процесс совершенствуется и дорабатывается (в том числе и за счёт использования нового технологического оборудования), расширяется номенклатура обрабатываемых компонентов.

## 2. ТЕСТОПРИГОДНОСТЬ РАЗРАБОТАННОГО ИЗДЕЛИЯ, ВКЛЮЧАЯ:

2.1. Стратегию контроля.

2.2. Потенциальные дефекты: таблица (база данных) потенциальных дефектов, включая:

- технологические;
- дефекты компонентов;
- выбор стратегии контроля для обеспечения диагностики и локализации каждого потенциального дефекта двумя различными методами (пример в **Т 1**: резистор R1 0603 1к ± 5 %).

2.3. Расчёт коэффициента тестового покрытия.

Коэффициент тестового покрытия рассчитывается системой как отношение количества потенциальных дефектов, которые будут диагностированы с помощью существующего на данный момент и/или внедрённого к моменту начала серийного производства данного изделия тестового, инспекционного и контрольного оборудования, к общему количеству потенциальных дефектов.

## 3. РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ РАЗРАБОТАННОГО ИЗДЕЛИЯ

**Ремонтопригодность** (англ. maintainability) — свойство объекта, приспособленность к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путём технического обслуживания и ремонта.

Ремонтопригодность — одно из основных свойств надёжности; заключается в приспособленности изделия (технического устройства) к проведению различных

работ по его техническому обслуживанию и ремонту. Р. определяется эксплуатационной и ремонтной технологичностью изделия. Эксплуатационная технологичность — приспособленность к работам, выполняемым при техническом обслуживании, а также при подготовке изделия к эксплуатации, в процессе и по окончании её. Ремонтная технологичность — приспособленность к быстрому, удобному проведению ремонта. В более узком смысле под Р. понимают приспособленность устройства к удобному и быстрому осуществлению отдельных технологических операций при его обслуживании, ремонте, контроле технического состояния, при разборке (сборке) узлов и деталей устройства, их контроле и замене. Р. обеспечивается при проектировании и изготовлении изделия — правильным выбором конструкции и соблюдением технологии производства. Поддержание Р. в процессе эксплуатации изделия достигается рациональной системой технического обслуживания и ремонта.

Ремонтопригодность нового изделия может быть оценена как отношение количества потенциальных дефектов, которые могут быть устранены путем ремонта (замены компонента) к общему количеству компонентов на любой стадии процесса изготовления изделия, прибора, печатного узла, сборочной единицы.

## Выходные продукты, которые необходимо получить от системы управления в процессе технологической подготовки производства

Какие данные и в каком виде необходимо получить от системы управления по окончании проведения процесса технологической подготовки производства?

Данные и оснастка для производства печатных плат:

- конструкторская документация;
- технологическая документация;
- программы сверления и фрезерования;
- программы вычерчивания фотошаблонов;
- программы контроля печатных плат (в том числе и для внутренних слоёв) для автоматической оптической инспекции;
- программы для электрического контроля печатных плат;
- адаптер для электрического контроля печатных плат.

Данные и оснастка для изготовления печатных узлов:

- конструкторская документация;
- технологическая документация (включая комплектовочные спецификации для рабочих мест при комплектовании);

T 1

Типы потенциальных дефектов и методы их диагностики и локализации в процессе производства

| Тип потенциально-го дефекта                            | Критерий несоответствия                                    | Контрольные (инспекционные) операции |                                   |                                       |  |   |                        |  |                           |  |
|--|--|--------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|--|---|------------------------|--|---------------------------|--|
|  |  | Входной контроль ККМ                 |                                   | Сборка печатных узлов                 |  |   |                        |  |                           |  |
|  |  | Контроль внешнего вида               | Контроль электрических параметров | АОИ качества нанесения паяльной пасты | АОИ качества монтажа перед оплавлением | АОИ качества монтажа и паяных соединений после оплавления | Внутрисхемный контроль | Рентгеновская инспекция печатных узлов | Периферийное сканирование | Функциональный контроль печатных узлов |
| Отсутствие компонента                                  | Нет (не обнаружен) корпус компонента в заданной области    |                                      |                                   |                                       | +                                      | +   | +                      | +                                      |                           |  |
| Несоответствующая полярность установленного компонента | Нет метки в заданной области                               |                                      |                                   |                                       | +                                      | +   | +                      | +                                      |                           |  |
| Несоответствие размера корпуса компонента              | Несоответствие размера                                     |                                      |                                   |                                       | +                                      | +   |                        |  |                           |  |
|  | Деформация вывода  |                                      |                                   |                                       | +                                      | +   |                        |  |                           |  |
| Несоответствие номинала R1 0603 1к ± 5 %               | $950 \text{ Ом} < R_{\text{измеренное}} > 1050 \text{ Ом}$ |                                      | +                                 |                                       |  |   | +                      |  |                           |  |
| Несоответствие качества паяных соединений              | Недостаточное количество паяльной пасты                    |                                      |                                   | +                                     |  | +   |                        | +                                      |                           |  |
|  | Избыточное количество паяльной пасты                       |                                      |                                   | +                                     |  | +   |                        | +                                      |                           |  |
|  | Неудовлетворительная форма галтели припоя                  |                                      |                                   |                                       |  | +   |                        |  |                           |  |
|  | Короткое замыкание   |                                      |                                   |                                       |  | +   | +                      | +                                      |                           |  |
|  | Увеличенное количество пустот в паяных соединениях         |                                      |                                   |                                       |  |   |                        | +                                      |                           |  |

- операция нанесения паяльной пасты методом трафаретной печати:
  - ◆ программы изготовления трафаретов (для каждой стороны);
  - ◆ трафареты (для каждой стороны);
  - ◆ программы нанесения паяльной пасты (для каждой стороны).
- операция нанесения паяльной пасты/клея методом дозирования:
  - ◆ программа нанесения паяльной пасты/клея методом дозирования.
- операция контроля качества нанесения паяльной пасты методом автоматической оптической инспекции (АОИ):
  - ◆ программы контроля качества нанесения паяльной пасты методом АОИ.
- операция автоматического монтажа компонентов на поверхность печатной платы:
  - ◆ программы монтажа компонентов на поверхность (для каждой стороны).
- операция контроля качества монтажа компонентов на поверхность печатной платы методом АОИ:
  - ◆ программы контроля качества монтажа компонентов методом АОИ (для каждой стороны).
- операция оплавления:
  - ◆ программы оплавления печатного узла конвекционным (парофазным) методом для каждой стороны.
- операция контроля качества монтажа и паяных соединений методом АОИ:
  - ◆ программы контроля качества монтажа компонентов и паяных соединений методом автоматической оптической инспекции (для каждой стороны).

- операция контроля качества монтажа и паяных соединений методом (автоматической) рентгеновской инспекции:
  - ◆ программа контроля качества паяных соединений методом (автоматической) рентгеновской инспекции.
- операция контроля качества печатных узлов методом автоматического внутрисхемного контроля:
  - ◆ программа внутрисхемного электрического контроля печатного узла;
  - ◆ адаптер внутрисхемного электрического контроля печатного узла.
- операция функционального электрического контроля печатного узла:
  - ◆ программа функционального электрического контроля печатного узла;
  - ◆ адаптер для функционального контроля электрического контроля печатного узла.
- операция отмывки печатного узла:
  - ◆ программа отмывки.
- операция селективного нанесения (и сушки) влагозащитных покрытий:
  - ◆ программы (для каждой из сторон).

Данные для производства кабелей и жгутов:

- конструкторская документация;
- технологическая документация;
- операция автоматической раскладки проводов:
  - ◆ программа раскладки.
- операция автоматического электрического контроля качества изготовления жгута:
  - ◆ программа электрического контроля;
  - ◆ адаптер для электрического контроля.

Данные для финишной сборки приборов:

- конструкторская документация;
- технологическая документация;
- операция автоматического функционального контроля:
  - ◆ программа функционального контроля;
  - ◆ адаптер функционального контроля.
- операция электротермотренировки:
  - ◆ программа электротермотренировки;
  - ◆ оснастка (драйверы/нагрузки).

**Учитывая многообразие технологических и контрольных операций, используемых при изготовлении современных приборов, автоматизация процесса технологической подготовки производства в настоящий момент является ключевым процессом, который может обеспечить быстрый вывод на рынок новых изделий, а это — одно из условий построения эффективного производства.**

# Организация автоматизированных рабочих мест технологов в цифровой системе управления приборным производством «Логос»

---

Разнообразные технологические переделы современного приборного производства связаны с необходимостью быстрого вывода на рынок новых изделий, для обеспечения конкурентоспособности которых при изготовлении и необходима концентрация различных технологий на одном предприятии. Но при этом усложняется задача управления таким производством, в частности, проведение технологической подготовки (ТПП) при постановке на производство новых изделий, проведение изменений в конструкторской документации (КД) и связанных с ними изменений в технологической документации (ТД). Указанные задачи возложены на технологов, которые и отвечают за приемку КД, подготовку ТД, изготовление оснастки и нестандартного оборудования, подготовку управляющих программ. Качество проведения ТПП и сопровождения изделий в процессе изготовления напрямую влияют на повторяемость технических характеристик выпускаемой продукции. Поэтому в процессе разработки современной цифровой системы управления приборным производством особое внимание было уделено организации рабочих мест технологов, начальника технологического отдела и главного технолога.

| Готовность изделий к производству |                     |                         |  | Отметки готовности |            |            |                       |                            |
|-----------------------------------|---------------------|-------------------------|--|--------------------|------------|------------|-----------------------|----------------------------|
| Наименование изделия              | Обозначение изделия | Технологический процесс | Планируемый срок завершения подготовки | ИД                 | ТД         | оснастка   | управляющие программы | нестандартное оборудование |
| 1                                 | УФРК-10             | ГНДЖ.672683.104         | ГНДЖ.20233.00023                       | 08.07.2015         | 14.03.2015 | в работе   |                       | 17.03.2015                 |
| 2                                 | Микроборка          | ЮНПС.471526.005         | ГНДЖ.20130.00029                       | 15.06.2015         | 04.03.2015 | не готово  | не готово             | не готово                  |
| 3                                 | Модель              | ЮНПС.681560.108         | ЮНПС.30224.00107                       | 01.06.2015         | 14.03.2015 | в работе   |                       | в работе                   |
| 4                                 | Платона             | ЮНПС.471526.010         | ЮНПС.20209.00240                       | 15.06.2015         |            | не готово  |                       |                            |
| 5                                 | Жуу                 | ЮНПС.376669.077         | ГНДЖ.20320.00030                       | 01.06.2015         | 14.03.2015 | 09.23.2015 |                       |                            |
| 6                                 | Микроборка          | ЮНПС.471526.011         | ГНДЖ.20130.00028                       | 15.06.2015         | в работе   | не готово  | 16.03.2015            | не готово                  |
| 7                                 | Микроборка          | ЮНПС.471526.003         | ГНДЖ.20121.00003                       | 15.06.2015         | не готово  | не готово  | не готово             | не готово                  |
| 8                                 | Платона             | ЮНПС.471526.022         | ЮНПС.20209.00240                       | 15.06.2015         | не готово  | не готово  | не готово             | не готово                  |
| 9                                 | Жуу                 | ЮНПС.376669.038         | ГНДЖ.20320.00030                       | 01.06.2015         | 04.03.2015 | в работе   | 17.03.2015            | в работе                   |
| 10                                | Платна, оплавляем   | ГНДЖ.270651.129         | ГНДЖ.20076.00109                       | 01.06.2015         | 01.03.2015 | 01.03.2015 |                       | 07.03.2015                 |
| 11                                | Модель              | ЮНПС.681561.001         | ЮНПС.30231.00001                       | 01.06.2015         | 16.02.2015 | 16.02.2015 | в работе              | 22.03.2015                 |
| 12                                | АРМ "Биста-В"       | НУП.687264.035          | ГНДЖ.23476.00004                       | 20.04.2015         | 14.08.2014 | 21.11.2014 |                       | 22.11.2014                 |
| 13                                | Микроборка          | ЮНПС.471526.012         | ГНДЖ.20130.00011                       | 01.06.2015         | 10.08.2014 | 02.10.2014 | не готово             | не готово                  |
| 14                                | Жуу                 | ЮНПС.376669.017         | ГНДЖ.20320.00112                       | 01.06.2015         | 10.09.2014 | 01.10.2014 | не готово             | не готово                  |
| 15                                | Модель оплавляем    | ГНДЖ.687264.027         | ГНДЖ.23476.00016                       | 03.04.2015         | 29.12.2014 | в работе   | не готово             | в работе                   |
| 16                                | Сопоставление       | ГНДЖ.237662.008         | ГНДЖ.20009.00101                       | 01.06.2015         | 29.12.2014 | в работе   |                       |                            |
| 17                                | Платона             | ЮНПС.471526.022         | ЮНПС.20209.00240                       | 15.06.2015         | 10.08.2014 | в работе   | не готово             | в работе                   |
| 18                                | Платна переносим    | ГНДЖ.687264.052         | ЮНПС.30024.00142                       | 01.04.2015         | 04.01.2015 | 04.01.2015 | не готово             | не готово                  |
| 19                                | Жуу                 | ЮНПС.376669.038         | ГНДЖ.20320.00030                       | 01.06.2015         | 10.09.2014 | 01.10.2014 |                       |                            |

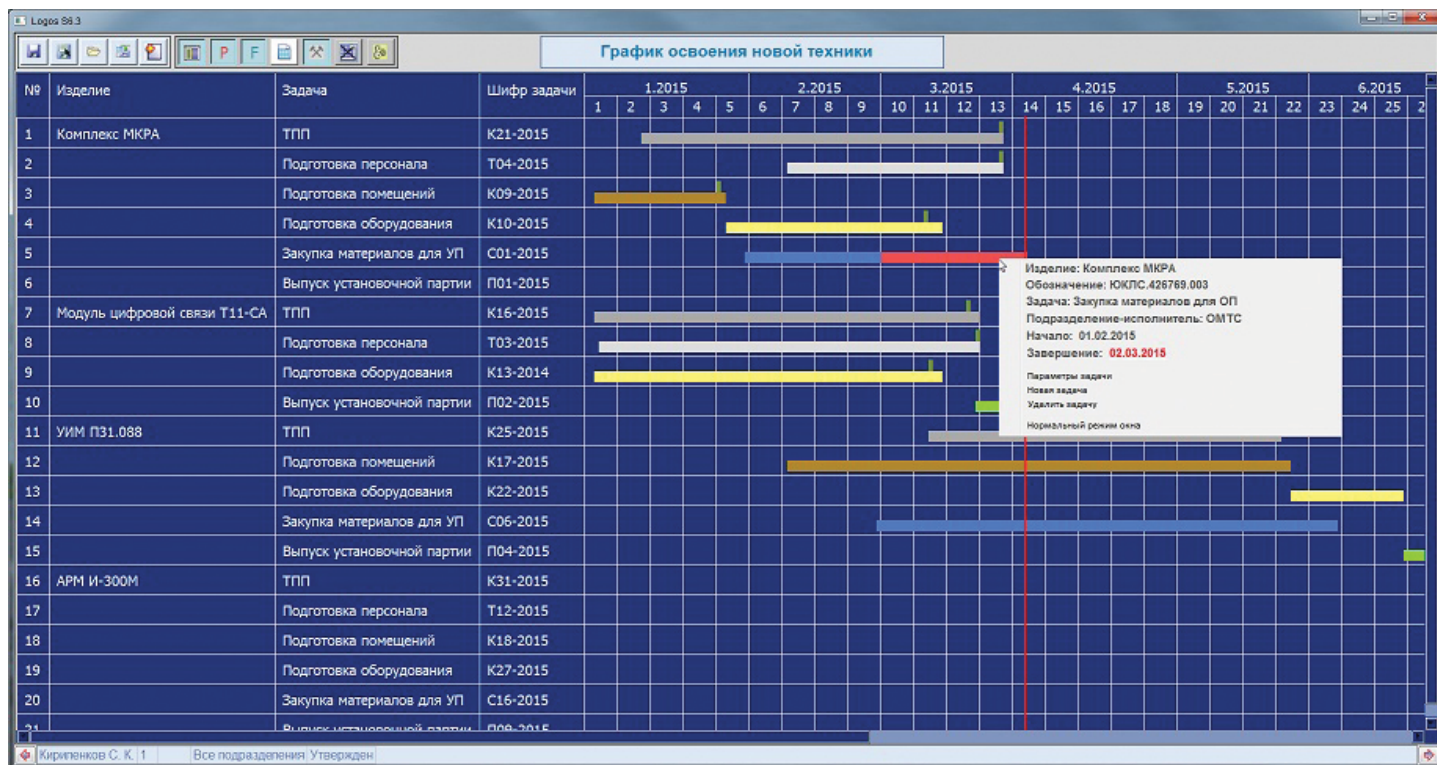
1  
Интерфейс АРМ главного технолога приборного предприятия. Готовность изделий к производству

Ещё десять лет назад основным лозунгом эффективного приборного производства был: «Максимальная кооперация и специализация — залог успеха и максимальной эффективности!» При этом традиционное построение отечественного приборного производства по принципу «натурального хозяйства» воспринималось многими зарубежными специалистами как архаизм, с вежливой сдержанной улыбкой. Времена изменились. Время жизни изделий резко сокращается, любой из нас это чувствует на себе. Конкурентная гонка, например, в высокотехнологичной телекоммуникационной отрасли невероятно динамична. И, если решился участвовать в ней, то придётся смириться и принять правила: каждые полгода — новая модель. Остановился передохнуть и... не заметил, как уже умер. Для обеспечения частой (например, раз в полгода) смены моделей необходимо резко снизить срок технологической подготовки производства. И это при постоянном усложнении выпускаемой продукции как в техническом, так и в технологическом плане. Выход один: максимальная автоматизация процесса технологической подготовки производства. И в дальнейшем, сопровождение изделий на протяжении всего времени жизненного цикла — выполнение гарантийных обязательств никто не отменял!

## АРМ главного технолога предприятия

Для создания комфортных условий для работы главного технолога цифровая система управления должна обеспечить выполнение следующих функций рис 1:

- для новых изделий:
  - ◆ контроль процесса согласования и приемки конструкторской документации;
  - ◆ контроль изготовления технологической оснастки:
    - трафарета для трафаретной печати;
    - адаптера для обеспечения электрического контакта с точками контроля в процессе настройки и регулировки.
  - ◆ контроль изготовления нестандартного оборудования:
    - стенда функционального контроля;
    - стенда наладки и регулировки.
  - ◆ контроль разработки управляющих программ:
    - для автоматического монтажа компонентов на печатную плату;
    - для оплавления;
    - для автоматической оптической инспекции;
    - для рентгеновской инспекции;
    - для электрического внутрисхемного контроля;
    - для функционального контроля.
  - ◆ контроль разработки технологической документации, включая:
    - типовой технологический процесс;
    - технологическую инструкцию;
    - маршрутную карту.
- для серийно выпускаемых изделий:
  - ◆ контроль проведения изменений:
    - в конструкторской документации;
    - в технологической документации;
    - в оснастке;
    - в управляющих программах;
    - в нестандартном оборудовании.



2  
План-график освоения новой техники и технологий на 20xx год

Вторым важнейшим аспектом работы главного технолога предприятия является освоение нового технологического оборудования и новых технологий. Этот аспект требует планирования следующих ресурсов:

- кадры:
  - ◆ обучение персонала;
  - ◆ подготовка новой технологической документации;
  - ◆ отработка технологии и т.д.
- производственные площади:
  - ◆ для размещения нового технологического оборудования;
  - ◆ для дополнительного инженерного оборудования и коммуникаций;
  - ◆ для обустройства вспомогательных помещений (раздевалок, коридоров, туалетных комнат).
- финансы:
  - ◆ закупка основного и вспомогательного технологического оборудования;
  - ◆ выполнение строительно-монтажных работ;
  - ◆ закупка климатического оборудования для создания необходимых условий работы оборудования согласно требованиям к чистоте производственных помещений, создания необходимых условий по температуре и влажности;
  - ◆ обучение персонала.

Учитывая большую трудоёмкость указанных работ, современная система управления приборным производством должна иметь функцию планирования и контроля исполнения рис 2.

Освоение новых изделий — отдельный важнейший раздел работы главного технолога предприятия. На этом этапе проводится:

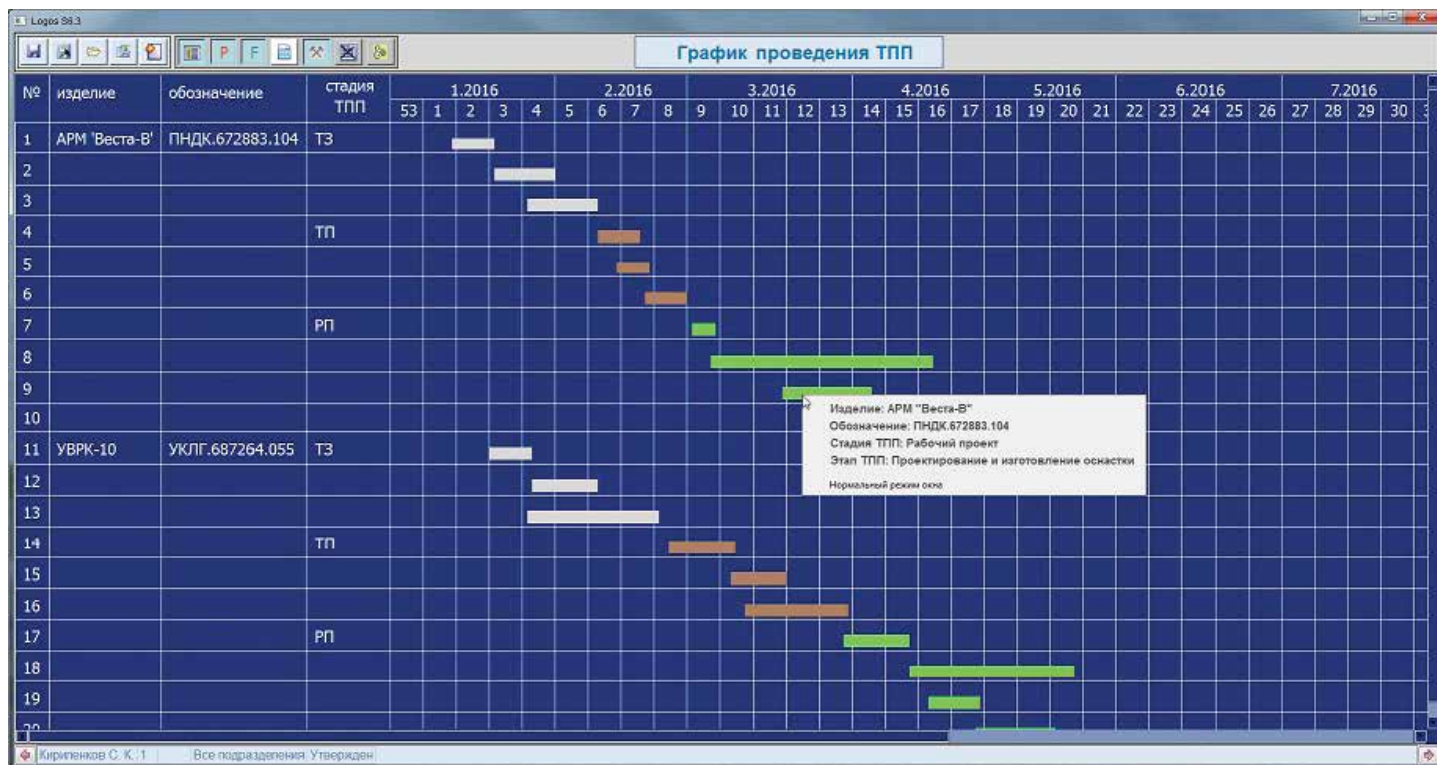
- приемка конструкторской документации;
- разработка технологической документации;
- изготовление необходимой технологической оснастки;
- отладка управляющих программ для технологического, инспекционного, испытательного и контрольно-измерительного оборудования.

Учитывая высокую трудоёмкость проводимых в этой области работ и высокую квалификацию персонала, современная система управления приборным производством должна обладать средствами для их планирования рис 3 и автоматизации.

Внедрение современной цифровой системы приборного производства позволит технологам предприятия обеспечить:

- проведение технологической подготовки производства в кратчайшие сроки;
- проведение изменений в КД серийно выпускаемых изделий в необходимые сроки;





3

План-график проведения технологической подготовки производства по новым изделиям на 20xx год

- проведение изменений в ТД, связанных с изменениями в КД в необходимые сроки;
- ритмичную и бесперебойную работу производственных подразделений без авралов и простоев за счёт своевременного проведения технологической подготовки производства;
- достижение и поддержание для выпускаемой продукции запланированных значений себестоимости, качества и надёжности за счёт гарантированного поддержания утверждённых значений параметров технологических процессов. \