электронный научно-технический журнал
ИНЖЕНЕРНЫЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51036. ISSN 2307-0595

Применение методики концентрации обработки и сборки на металлорежущем станке при проектировании и реализации технологического процесса изготовления изделия «Плита кондукторная»

11, ноябрь 2014

Бысов С. А., Малышев Е. Н., Сорокин П. С.

УДК: 621.91; 621.757

Россия, Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана
m1@bmstu-kaluga.ru

Введение

Для современного машиностроения характерно значительное разнообразие выпускаемых изделий и средств технологического обеспечения при одновременно низком уровне использования технологических средств и неприспособленности производства к быстрой и эффективной перестройке на выпуск новой продукции [1].

Низкий уровень унификации средств технологического оснащения проявляется в низком коэффициенте использования, как самих технологических средств, так и их технологических возможностей. Для современного машиностроения характерны огромные издержки, связанные с непродуктивными расходами на создание и содержание средств технологического оснащения. Непродуктивность расходов объясняется в первую очередь полной или частичной невостребованностью в течение календарного года значительной части имеющихся на предприятии специальных или узкоспециализированных технологических средств, ориентированных на изготовление ограниченной номенклатуры деталей.

Неспособность производства к быстрой и эффективной перестройке на выпуск новых изделий не позволяет решать задачу быстрого реагирования на изменяющиеся условия. Современные гибкие производства решают эту задачу за счет применения широкоуниверсального и высокоавтоматизированного оборудования. Это является причиной их низкой эффективности, поскольку такое оборудование и его обслуживание стоит очень дорого, а их возможности в каждый момент времени работы используется на 10-30 % [2,3].

Отсюда очевидна необходимость поиска путей повышения эффективности использования имеющегося на предприятиях производственного оборудования. Одним из таких путей может быть концентрация операций.

Принцип концентрации операций все шире используется при проектировании современных технологических процессов. Там, где раньше применяли операционные станки с максимальной дифференциацией процесса обработки на отдельные операции, сейчас концентрируют большее количество операций на одном станке с тем, чтобы сократить производственные площади и количество используемого оборудования. Особенно это проявляется при использовании станков с ЧПУ.

1. Постановка задачи

Производство сборочных единиц «*Плита кондукторная*» различных типоразмеров реализуется на ОАО «Инструментальный завод «Инсэл» (г. Калуга). Изделие-представитель, показанное на рисунке 1 состоит из *Корпуса плиты кондукторной* 1 (материал – сталь 45) и *Втулки* 2 (материал – сталь 9ХС). Точность межосевых расстояний под кондукторные втулки, заданная в конструкторской документации, составляет ±0,01 мм. Отклонение от перпендикулярности осей отверстий под кондукторные втулки к торцовой поверхности 0,02 мм на длине 1000 мм. Годовая программа выпуска такого типа изделий – 400 шт/год. Тип производства – серийный.

Базовый технологический процесс включает (исключая контроль и транспортировку):

- Изготовление *Втулки* с обеспечением сопрягаемого размера $Ø20p6(^{+0,035}_{+0,022})$.

- Обработка *Корпуса плиты кондукторной* на вертикально-фрезерном станке с ЧПУ модели MV-66 (Тайвань), включая сопрягаемые поверхности: расфрезеровывание 4-х отверстий с обеспечением размера $Ø20H7(^{+0,021})$ под запрессовывание *Втулок*. Установка и закрепление заготовки *Корпуса плиты кондукторной* осуществлялось по обработанным поверхностям с выверкой.

- Сборка: запрессовывание *Втулки* в *Корпус плиты кондукторной* на ручном прессе с номинальным усилием 10 кН.

- Доработка *Корпуса плиты кондукторной* и *Втулок* в сборе: расфрезеровывание отверстий $Ø14(^{+0,018})$ на вертикально-фрезерном станке с ЧПУ модели MV-66. Установка и закрепление Плиты кондукторной в сборе осуществлялось по обработанным плоским поверхностям с выверкой.

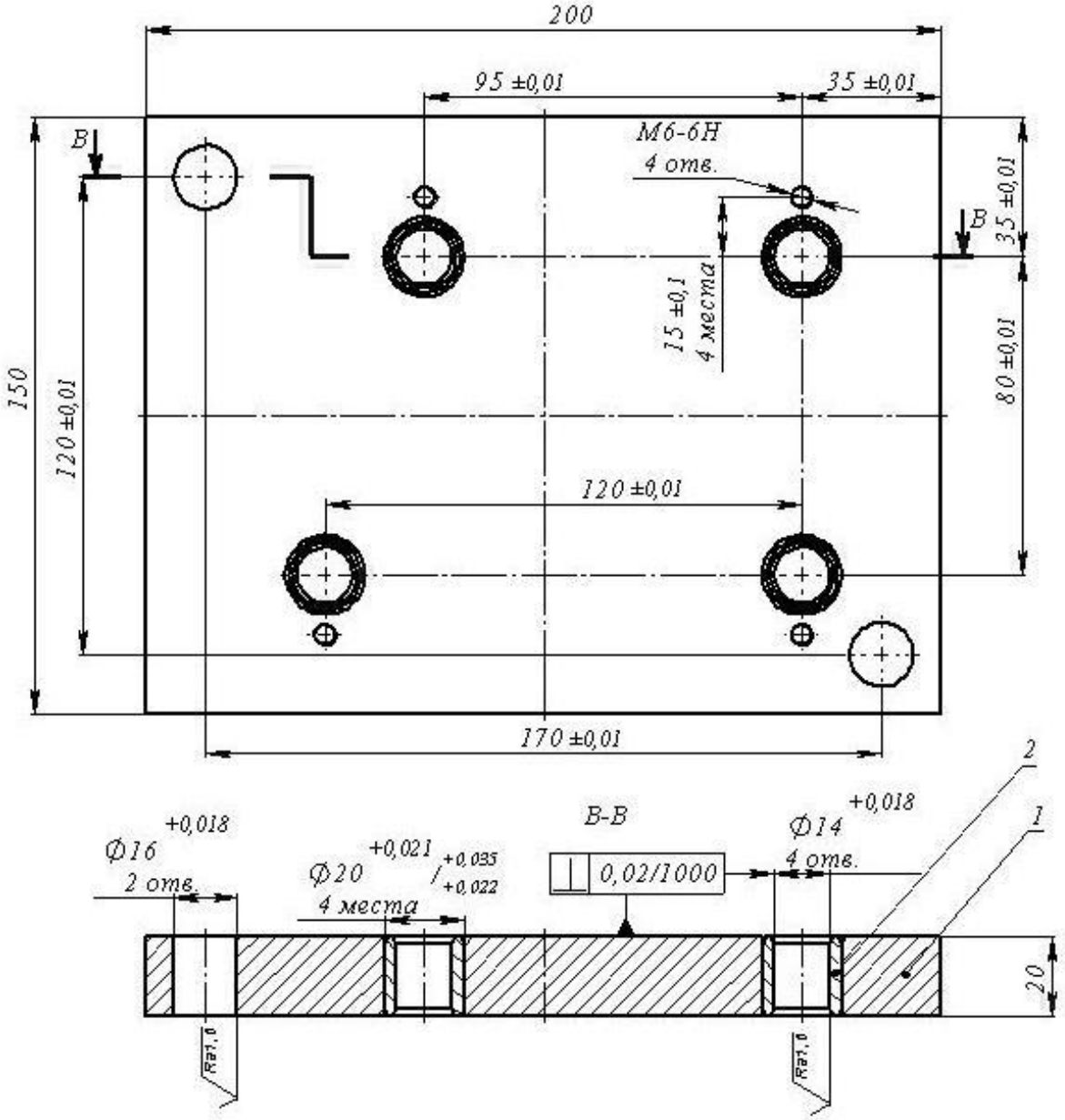


Рис. 1. Изделие «Плита кондукторная»

2. Исследование и анализ действующей на предприятии (базовой) технологии

Исследование базового технологического процесса показало, что при изготовлении *Втулок* и *Корпуса плиты кондукторной* значения размеров и отклонений формы и относительного положения обработанных поверхностей обеспечивались в пределах допуска; после запрессовывания *Втулок* в *Корпус плиты кондукторной* величина отклонения межосевых расстояний под кондукторные втулки (погрешность сборки) превышала 0,02 мм, что вызывало необходимость обработки деталей в сборе для уменьшения величины от-

клонения до заданных значений – ±0,01 мм; погрешность установки деталей в сборе на столе станка достигала величины 0,03 мм по субъективным причинам.

Таким образом, суммарная погрешность, подлежащая исправлению обработкой в сборе, достигала величины 0,04…0,05 мм, и наибольший вклад в ее формирование оказывала погрешность установки на обработку деталей в сборе. Для устранения указанной суммарной погрешности величина припуска на обработку должна была превышать 0,06 мм на сторону.

Методом хронометража и фотографии рабочего времени были выявлены величины основных затрат времени по операциям обработки *Корпуса плиты кондукторной*, *Плиты кондукторной* в сборе и операции запрессовки в производственных условиях на ОАО «Инструментальный завод «Инсэл» (табл. 1).

Таблица 1. Основные затраты времени по операциям базового технологического процесса изготовления «Плиты кондукторной»

Операция - Фрезерная с ЧПУ **Станок -** вертикально-фрезерный станок с ЧПУ модели MV-66 **Содержание операции -** обработка *Корпуса плиты кондукторной*, включая сопрягаемые поверхности		
$T_{пз}$	27,0 мин	Время подготовительно-заключительное - затрачиваемое на партию запуска 40 деталей
$t_о$	1,21 мин	Время автоматического цикла обработки - затрачиваемое на обработку сопрягаемых поверхностей: расфрезеровывание 4-х отверстий с обеспечением размера $Ø20H7(^{+0,021})$ под запрессовывание *Втулок*; инструмент: фреза ГОСТ 18372-73, материал режущей части ВК6М; режимы обработки: скорость резания 120 м/мин, подача 0,08 мм/об, 2 прохода
$t_в$	2,12 мин	Вспомогательное время - затрачиваемое на установку заготовки и снятие детали, управление станком
$t_{тр}$	2,6 мин	Время транспортировки – затрачиваемое на транспортировку партии деталей на последующую операцию. Размер транспортной партии – 10 штук
Операция - Запрессовывание **Оборудование** - ручной пресс с номинальным усилием 10 кН **Содержание операции** - запрессовывание *Втулок* в *Корпус плиты кондукторной*		
$T_{пз}$	15,0 мин	Время подготовительно-заключительное - затрачиваемое на партию запуска 40 изделий
$t_о$	1,0 мин	Основное время - затрачиваемое на запрессовывание 4-х *Втулок* в *Корпус плиты кондукторной*
$t_в$	3,05 мин	Вспомогательное время - затрачиваемое на установку заготовки и снятие базовой детали, установку присоединяемых деталей
$t_{тр}$	2,6 мин	Время транспортировки – затрачиваемое на транспортировку партии изделий на последующую операцию. Размер транспортной партии – 10 штук
Операция - Фрезерная с ЧПУ **Станок -** вертикально-фрезерный станок с ЧПУ модели MV-66 **Содержание операции -** доработка *Корпуса плиты кондукторной* и *Втулок* в сборе		
$T_{пз}$	25,0 мин	Время подготовительно-заключительное - затрачиваемое на партию запуска 40 сборочных единиц
$t_о$	0,56 мин	Время автоматического цикла обработки - затрачиваемое на расфрезеровывание 4-х отверстий $Ø14(^{+0,018})$; инструмент: фреза ГОСТ 18372-73, материал режущей части ВК6М; режимы обработки: скорость резания 120 м/мин, подача 0,06 мм/об
$t_в$	2,49 мин	Вспомогательное время - затрачиваемое на установку и снятие сборочных единиц, управление станком

3. Определение формообразующих возможностей металлорежущего станка

Методика выявления формообразующих возможностей обрабатывающего оборудования приведена в [4].

Модель формообразующей системы вертикально-фрезерного станке с ЧПУ модели MV-66, имеющегося на участке механической обработки ОАО «Инсэл», ($r_0 = A'^1_{01} A'^2_{12} A'^3_{23} A'^6_{34} r_4$) и соответствующие ей параметрические уравнения обрабатываемых поверхностей [4] подтверждают возможность формообразования на нем сопрягаемых и исполнительных поверхностей базовой детали – *Корпус плиты кондукторной*, имеющих форму прямого кругового цилиндра и плоскости.

4. Определение выполнения требований к геометрии сопрягаемых поверхностей деталей, подлежащих обработке и соединению на металлорежущем станке

Перед началом сборки на станке после обработки базовая деталь (*Корпус плиты кондукторной*) расположена в рабочей зоне металлорежущего станка (рис. 2*а*) таким образом, что образующая охватывающей сопрягаемой поверхности (отверстия) базовой детали, обрабатываемой на данной операции, состоит из участков, описываемых в системе координат станка только неубывающими функциями ($y(z) = const$), поэтому базовая (*Корпус плиты кондукторной*) и присоединяемая (*Втулка*) детали с такими поверхностями могут быть собраны на этой операции без переустановок и нарушения целостности материала соединяемых деталей вдоль осей сопрягаемых цилиндрических поверхностей.

5. Выявление возможности металлорежущего оборудования реализовывать посредством исполнительных узлов и механизмов необходимые сборочные движения

Исходя из математической модели формообразующей системы вертикально-фрезерного станка с ЧПУ ($r_0 = A'^1_{01} A'^2_{12} A'^3_{23} A'^6_{34} r_4$) выявлено [5], что сопряжение деталей поступательным движением может быть реализовано на нем вдоль трех осей (*X*,*Y* и *Z*).

Исследование формообразующей системы вертикально-фрезерного станка с ЧПУ модели MV-66, имеющегося на участке механической обработки *Корпуса плиты кондукторной,* выявило кинематическую возможность выполнения на нем продольного относительного перемещения деталей для их сопряжения непосредственно на станке. При этом базовая деталь *Корпус плиты кондукторной* остается закрепленной на столе станка, а *Втулка* устанавливается на оправку, которая находится в одной из позиций инструментального магазина станка.

6. Обеспечение режима силового воздействия на объекты сборки, необходимого для их сопряжения

Величина сборочной силы, необходимой для сборки продольно-прессового соединения *Корпуса плиты кондукторной* и *Втулки*, определенная с помощью номограммы рисунок 2, составляет ~5800 Н. Аналитически рассчитанное усилие запрессовки составляет 5770 Н. В соответствии с номограммой данное усилие запрессовки может быть реализовано на нескольких видах оборудования, в том числе на вертикально-фрезерном станке с ЧПУ модели MV-66.

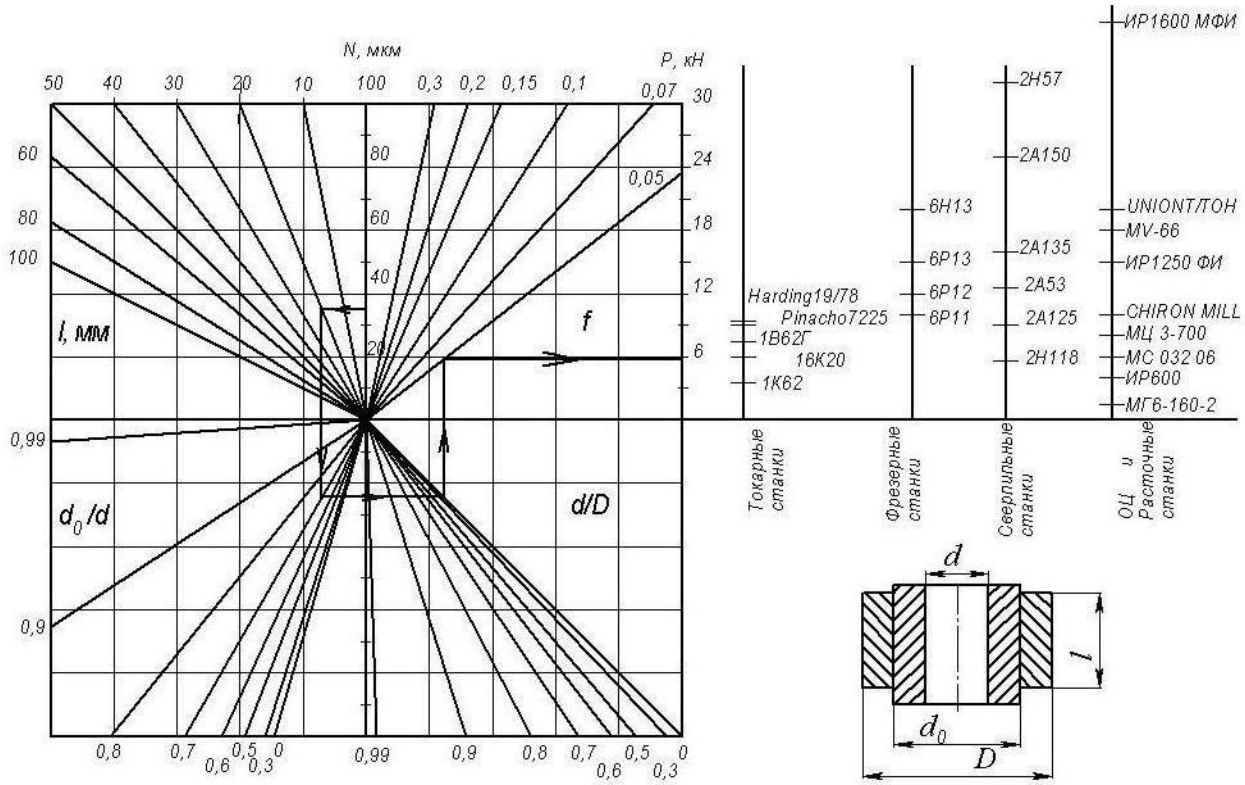


Рис. 2. Номограмма для определения сил, необходимых для запрессовки стальной втулки в стальной корпус, и величина усилий, развиваемая приводом подач некоторых металлорежущих станков

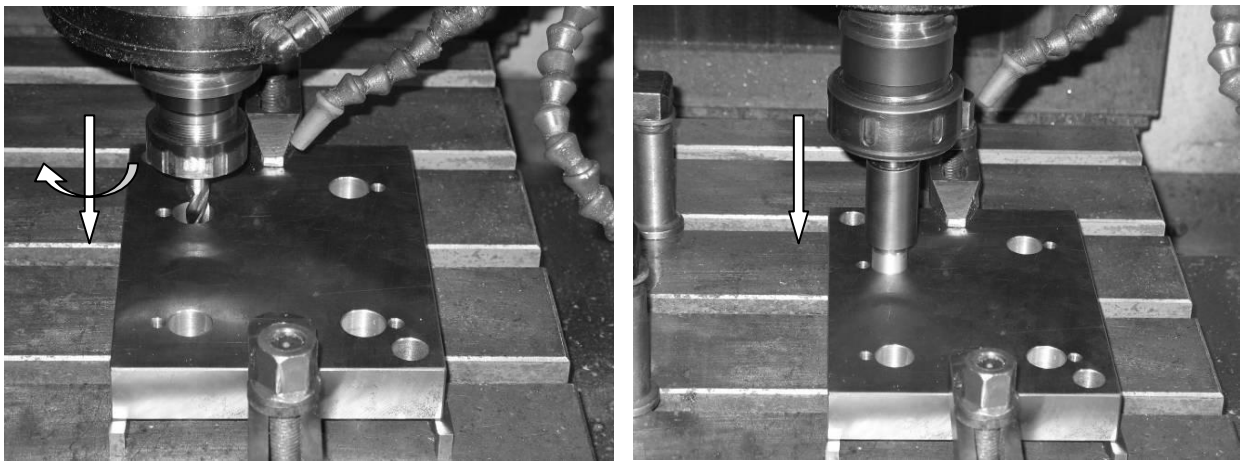
Диапазон бесступенчатого регулирования величины подачи для станка этой модели составляет от 0 до 5000 мм/мин. Наибольшая прочность прессового соединения достигается при малых скоростях (до 180 мм/мин). Такая величина подачи может быть обеспечена на станке с достаточной точностью.

Погрешность позиционирования исполнительных механизмов вертикально-фрезерного станка с ЧПУ модели MV-66 составляет ±0,005 мм [паспортные данные станка], т. е. не уступает по этому параметру специальному сборочному оборудованию. Указанная точность является достаточной для обеспечения точности относительного ориентирования и соединения сопрягаемых деталей посредством исполнительных механизмов данного обрабатывающего оборудования

7. Разработка технологического процесса на основе концентрации обработки и сборки на металлорежущем станке

Анализ технологических возможностей вертикально-фрезерного станка с ЧПУ модели MV-66, выполненный в соответствие с представленной последовательностью, позволил выявить возможность концентрации на нем обработки и сборки.

Разработанный технологический процесс на основе концентрации обработки и сборки реализован на указанном станке с одного установа *Корпуса плиты кондукторной* (рис. 3). Предварительно изготовленная *Втулка* (с обеспечением посадочного размера $Ø20p6(^{+0,035}_{+0,022})$ в процессе цикла обработки *Корпуса плиты кондукторной* устанавливалась из накопителя, размещенного на столе станка, на разжимную регулируемую оправку в одной из позиций инструментального магазина станка. Конструкция оправки аналогична используемым в процессе установки подшипников скольжения в корпусных деталях [6]. Разработанный технологический процесс включал: обработку *Корпуса плиты кондукторной* на вертикально-фрезерном станке с ЧПУ, включая сопрягаемые поверхности: расфрезеровывание 4-х отверстий с обеспечением размера $Ø20H7(^{+0,021})$ под запрессовывание *Втулок*; запрессовывание *Втулок* посредством вертикальной подачи шпинделя; расфрезеровывание 4-х отверстий $Ø14(^{+0,018})$ во *Втулках*.



а) б)

Рис. 3. Реализация комплекса обработки и сборки на вертикально-фрезерном станке с ЧПУ:

а) расфрезеровывание отверстия в *Корпусе плиты кондукторной* под кондукторные *Втулки*; стрелками показаны формообразующие движения звеньев технологической системы;

б) запрессовка кондукторных *Втулок* в *Корпус плиты кондукторной*; стрелкой показаны сборочные движения звеньев технологической системы

8. Определение эффективности разработанного технологического процесса

Концентрация обработки и сборки на обрабатывающем оборудовании позволила исключить погрешность установки, вызванную установкой сборочной единицы на вертикально-фрезерный станок с ЧПУ для совместной обработки. В связи с этим появилась возможность уменьшить припуск на обработку внутренней поверхности *Втулки* с 0,06 до 0,03 мм.

Методом хронометража и фотографии рабочего времени были выявлены величины основных затрат времени на выполнение спроектированной операции в производственных условиях на ОАО «Инструментальный завод «Инсэл» (табл. 2).

Таблица 2. Основные затраты времени на выполнение спроектированной операции

Операция - Фрезерная с ЧПУ **Станок -** вертикально-фрезерный станок с ЧПУ модели MV-66 **Содержание операции -** обработка *Корпуса плиты кондукторной* под сборку; запрессовывание *Втулок* посредством вертикальной подачи шпинделя; доработка *Крышки* в сборе		
$T_{пз}$	47,0 мин	Время подготовительно-заключительное - затрачиваемое на партию запуска 40 изделий
$t_о$	2,61 мин	Время автоматического цикла обработки - затрачиваемое на обработку сопрягаемых поверхностей: расфрезеровывание 4-х отверстий с обеспечением размера $Ø20H7(^{+0,021})$ под запрессовывание *Втулок*; запрессовывание *Втулок* посредством вертикальной подачи шпинделя; расфрезеровывание 4-х отверстий $Ø14(^{+0,018})$ во *Втулках*; инструмент и режимы обработки аналогичны используемым по базовому технологическому процессу
$t_в$	4,06 мин	Вспомогательное время - затрачиваемое на установку и снятие изделий, управление станком

Суммарное время обработки и сборки *Плиты кондукторной* сократилось на 32 % при обеспечении требуемой точности размеров и относительного положения исполнительных поверхностей $Ø14(^{+0,018})$ изготавливаемого изделия (рис. 4).

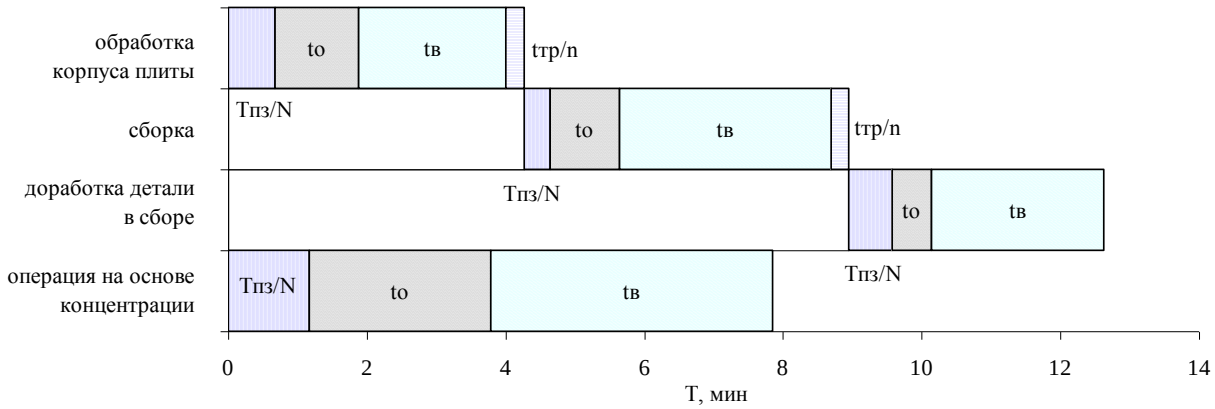


Рис. 4. Временная диаграмма сравнения двух вариантов технологических процессов изготовления изделия «*Плита кондукторная*»

Заключение

Выполненные исследования подтвердили эффективность принятого решения о выполнении обработки и сборки с одного установа на обрабатывающем оборудовании, что позволило снизить припуск с 0,06 до 0,03 мм на обработку деталей в сборе путем устранения влияния погрешности установки и сократить суммарное время на изготовление сборочных единиц на 32 % при обеспечении требуемой точности размеров и относительного положения исполнительных поверхностей изготавливаемого изделия.

Список литературы

1. Базров Б.М. Модульная технология в машиностроении. М.: Машиностроение, 2001. 368 с.
2. Шишмарев В.Ю. Машиностроительное производство: Учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В.Ю. Шишмарев, Т.И. Каспина. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 352 с.
3. Kulkarni A., Mandave H., Sabnis V. Optimization of Power Consumption for CNC Turning Of AISI 1040 Steel Using Taguchi Approach // International Journal of Innovative Research in Science,Engineering and Technology. Vol. 3. Issue 8. 2014. pp. 15383-15390.
4. Малышев Е.Н., Бысов С.А. Обоснование принятия решения о концентрации обработки и сборки на одном станке // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2010. №11. С. 41-46.
5. Бысов С.А., Малышев Е.Н. Выявление технологических возможностей вертикально-фрезерного станка типа «Обрабатывающий центр» // Математическое моделирование сложных технических систем: Сборник статей. М: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. (Труды МГТУ № 597). С. 59-69.
6. Новиков М.П. Основы технологии сборки машин и механизмов. М.: Машиностроение, 1980. 592 с.