

Выявление и анализ организационно-технологических факторов, влияющих на результативность технологических систем, организованных на основе концентрации обрабатывающих и сборочных процессов

77-30569/362645

03, март 2012

Бысов С. А., Малышев Е. Н.

УДК 658.512

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

m1@bmstu-kaluga.ru

Как показывают исследования [1], при традиционной организации машиностроительного производства предметы труда находятся в цехах только 1 % всего времени от задания на проектирование до выхода готовой продукции, при этом на технологическом оборудовании – всего 5 % времени от нахождения деталей в цехах, остальное время приходится на дополнительные операции и перерывы, в том числе пролеживание.

Сборочные операции являются составной частью подавляющего числа технологических процессов изготовления изделий в машиностроении. Примерно 35...40 % соединений деталей осуществляется по гладким цилиндрическим поверхностям, примерно треть из них – продольно-прессовые соединения, образованные запрессовкой различного вида втулок [2]. Наиболее распространенными представителями сборочных единиц с запрессованными втулками являются корпуса, кондукторы, рычаги и шатуны.

Возникающие при запрессовке деформации тем или иным образом изменяют форму и размеры исполнительных поверхностей соединенных деталей, в ряде случаев значительно по сравнению с изначальными значениями. Для обеспечения требуемой точности осуществляется механическая обработка деталей в сборе с целью устранения негативного влияния сборочной взаимосвязи, а также технологических погрешностей. Технология производства таких изделий включает обработку базовых и сопрягаемых поверхностей деталей на металлорежущих станках, соединение деталей на прессах или другом сборочном оборудовании, обработку деталей в сборе на металлорежущих станках.

При исследовании механосборочных производств большое внимание уделяется оценке простоев и нахождению условий повышения эффективности использования основного

оборудования [3]. Время, связанное с перемещением деталей на сборку и возвратное перемещение сборочных единиц на станок для обработки в сборе, является непроизводительно затраченным и может достигать нескольких часов. Устранить указанные недостатки традиционной технологии можно посредством концентрации процессов сборки и обработки в единой технологической системе. При этом необходимо решить следующие **задачи**:

- выявить и проанализировать организационно-технологические факторы, оказывающие влияние на длительность производственного цикла изготовления изделий на основе концентрации сборочных и обрабатывающих процессов:
- установить область наиболее эффективного применения метода концентрации процессов.

Рассмотрим длительность производственного цикла, реализуемого на участке $a-b-c-d$ при последовательном выполнении операций обработки – сборки – доработки изделия (рис. 1), без учета междусменных перерывов.

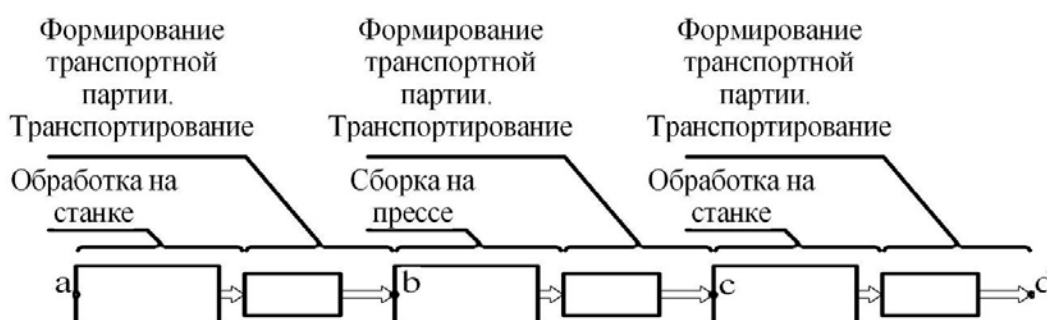


Рис. 1. Последовательное выполнение операций обработки – сборки – доработки

Участок a-b

Затраты времени, связанные с обработкой на станке под запрессовку:

$$\theta_{o.c.}^{a-b} = \tau_p^{a-b} + \tau_x^{a-b} + \tau_b^{a-b},$$

где τ_p^{a-b} – время выполнения рабочих ходов (токарная обработка), мин:

$$\tau_p^{a-b} = \frac{\pi d L_p}{1000 v_p S_p^{a-b}} k_p^{a-b}, \text{ где } d \text{ и } L_p - \text{ диаметр и длина обрабатываемой поверхности}$$

соответственно, мм, v_p – скорость резания, м/мин, S_p^{a-b} – величина подачи на рабочих ходах, мм/об, k_p^{a-b} – количество рабочих ходов, назначенных исходя из погрешности

относительного положения обрабатываемых поверхностей и погрешности установки заготовки в рабочей зоне станка;

t_X^{a-b} – время выполнения холостых ходов (токарная обработка): $t_X^{a-b} = \frac{L_X}{S_X^{a-b}} k_X^{a-b}$, где

L_X – длина однократного холостого хода инструмента, мм, S_X^{a-b} – величина подачи на холостых ходах, мм/мин, k_X^{a-b} – количество рабочих ходов. Можно считать, что $L_X = L_P$ и $k_X^{a-b} = k_P^{a-b}$.

τ_B^{a-b} – время выполнения вспомогательных переходов, мм, затрачиваемое на установку заготовки, снятие готовой детали, управление механизмами станка и т.п.

Затраты времени, связанные с формированием транспортной партии и транспортированием от станка к прессу:

$$\theta_{Tp}^{a-b} = \tau_{II}^{a-b} + \tau_{Tp}^{a-b},$$

где τ_{II}^{a-b} – перерывы партионности (пролеживание деталей у станка после обработки в ожидании завершения обработки всех обрабатываемых на станке деталей):

$\tau_{II}^{a-b} = \left(\tau_P^{a-b} + \tau_X^{a-b} + \tau_B^{a-b} \right) N_{Tp}$, где N_{Tp} – величина транспортной партии;

τ_{Tp}^{a-b} – время перемещения транспортной партии от станка к прессу и подготовка к запрессовке.

Участок б-с

Затраты времени, связанные со сборкой на прессе:

$$\theta_{с.п.}^{b-c} = \tau_P^{b-c} + \tau_X^{b-c} + \tau_B^{b-c},$$

где τ_P^{b-c} – время выполнения однократного рабочего хода (запрессовка), мин:

$t_P^{b-c} = \frac{L_P}{v_C}$, где L_P – длина сопрягаемых поверхностей, мм, v_C – скорость выполнения сопряжения, м/мин;

τ_X^{b-c} – время отвода пуансона: $\tau_X^{b-c} = \frac{L_X}{S_{OT}}$, где S_{OT} – скорость отвода пуансона,

мм/мин;

τ_B^{b-c} – время выполнения вспомогательных переходов, мин, затрачиваемое на установку

соединяемых компонентов, снятие узла, управление механизмами пресса и т.п.

Затраты времени, связанные с формированием транспортной партии и транспортированием от пресса к станку:

$$\theta_{Tp}^{b-c} = \tau_{II}^{b-c} + \tau_{Tp}^{b-c},$$

где τ_{II}^{b-c} – перерывы партионности (пролеживание деталей у пресса после сборки в ожидании завершения сборки всех узлов): $\tau_{\phi}^{b-c} = \left(\tau_P^{b-c} + \tau_X^{b-c} + \tau_B^{b-c} \right) N_{Tp}$;

τ_{Tp}^{b-c} – время перемещения транспортной партии от пресса к станку и подготовка к обработке.

Участок c-d

Затраты времени, связанные с доработкой на станке:

$$\theta_{O.C.}^{c-d} = \tau_P^{c-d} + \tau_X^{c-d} + \tau_B^{c-d},$$

где τ_P^{c-d} – время выполнения рабочих ходов (токарная обработка), мин:

$$\tau_P^{c-d} = \frac{\pi d L_P}{1000 v_P S_P^{c-d}} k^{c-d}, \text{ где } k^{c-d} - \text{ количество рабочих (холостых) ходов,}$$

назначенных исходя из погрешности сборки и погрешности установки обрабатываемого

узла в рабочей зоне станка: $k^{c-d} = \left\lceil \frac{(\Delta_{сб} + \Delta_{уст})}{t^*} \right\rceil$, где $(\Delta_{сб} + \Delta_{уст})$ – погрешность,

подлежащая удалению обработкой деталей в сборе, мм, состоящая из $\Delta_{сб}$ – погрешности, возникающей в результате выполнения сборочной операции и $\Delta_{уст}$ – погрешности установки сборочной единицы для обработки деталей в сборе, t^* – эффективная глубина резания при обработке деталей в сборе, мм;

τ_X^{c-d} – время выполнения холостых ходов (токарная обработка): $\tau_X^{c-d} = \frac{L_X}{S_X} k^{c-d}$,

мин;

τ_B^{c-d} – время выполнения вспомогательных переходов, затрачиваемое на установку и снятие узла, управление механизмами станка и т.п., мин.

Затраты времени, связанные с формированием транспортной партии и транспортированием от станка на контроль:

$$\theta_{Tp}^{c-d} = \tau_{II}^{c-d} + \tau_{Tp}^{c-d},$$

где τ_{II}^{c-d} – перерывы партионности (пролеживание узла у станка после обработки в ожидании завершения обработки всех обрабатываемых на станке):

$$\tau_{II}^{c-d} = \left(\tau_p^{c-d} + \tau_X^{c-d} + \tau_B^{c-d} \right) N_{Tp}, \text{ где } N_{Tp} - \text{величина транспортной партии};$$

τ_{Tp}^{a-b} – время перемещения транспортной партии от станка на контроль, мин.

Длительность производственного цикла, реализуемого последовательно на участке $a-b-c-d$ без учета междусменных перерывов:

$$\theta^{a-b-c-d} = \theta_{o.c.}^{a-b} + \theta_{Tp}^{a-b} + \theta_{c.п.}^{b-c} + \theta_{Tp}^{b-c} + \theta_{o.c.}^{c-d} + \theta_{Tp}^{c-d}.$$

Рассмотрим длительность производственного цикла, реализуемого на участке $a-d$ при концентрации обрабатывающих и сборочных процессов (рис. 2), без учета междусменных перерывов.



Рис. 2. Процесс на основе концентрации обрабатывающего и сборочного процессов

Затраты времени, связанные с обработкой на станке под запрессовку соизмеримы с затратами $\theta_{o.c.}^{a-b}$.

Затраты времени, связанные со сборкой на станке соизмеримы с затратами $\theta_{c.п.}^{b-c}$.

Затраты времени, связанные с доработкой на станке:

$$\theta_{o.c.}^{a-d} = \tau_p^{a-d} + \tau_X^{a-d} + \tau_B^{a-d},$$

где τ_p^{a-d} – время выполнения рабочих ходов (токарная обработка), мин:

$$\tau_p^{a-d} = \frac{\pi d L_p}{1000 v_p S_p^{a-d}} k^{a-d}, \text{ где } k^{a-d} - \text{количество рабочих (холостых) ходов,}$$

назначенных исходя из погрешности сборки: $k^{a-d} = \left\lceil \frac{\Delta_{сб}}{t^*} \right\rceil$, где $\Delta_{сб}$ – погрешность, подлежащая удалению обработкой деталей в сборе, мм, t^* – эффективная глубина резания при обработке деталей в сборе, мм;

τ_X^{a-d} – время выполнения холостых ходов (токарная обработка): $\tau_X^{a-d} = \frac{L_X}{S_X} k^{a-d}$, мин;

τ_B^{a-d} – время выполнения вспомогательных переходов, затрачиваемое на установку и снятие узла, подготовку станка и т.п., мин.

Затраты времени, связанные с формированием транспортной партии и транспортированием от станка на контроль:

$$\theta_{Tp}^{a-d} = \tau_{II}^{a-d} + \tau_{Tp}^{a-d},$$

где τ_{II}^{a-d} – перерывы партионности (пролеживание узла у станка после обработки в ожидании завершения обработки всех обрабатываемых на станке) $\tau_{II}^{a-d} = \tau_{II}^{c-d}$, мин;

τ_{Tp}^{a-d} – время перемещения транспортной партии от станка на контроль $\tau_{Tp}^{a-d} = \tau_{Tp}^{c-b}$, мин.

Длительность производственного цикла, реализуемого на участке $a-d$ на основе концентрации процессов без учета междусменных перерывов:

$$\theta^{a-d} = \theta_{o.c.}^{a-b} + \theta_{c.п.}^{b-c} + \theta_{o.c.}^{a-d} + \theta_{Tp}^{c-d}.$$

Разность в длительности производственных циклов (затрат времени):

$$\Delta\theta = \theta^{a-b-c-d} - \theta^{a-d} = \theta_{Tp}^{a-b} + \theta_{Tp}^{b-c} + \left(\theta_{o.c.}^{c-d} - \theta_{o.c.}^{a-d} \right).$$

Принимая $t_{Tp}^{a-b} = t_{Tp}^{b-c} = t_{Tp}^{c-d} = t_{Tp}$ и подставляя начальные обозначения, получаем:

$$\Delta\theta = N_{Tp} \left(\left(\frac{\pi d L}{1000 v_p S_p} + \frac{L}{S_X} \right) \left\lceil \frac{\Delta_{уст}}{t^*} \right\rceil + t_B \right) + 2t_{Tp}.$$

Аналогичным образом может быть определена разница потерь по инструменту:

$$\Delta\theta_{II} = \left\lfloor N_{Tp} \frac{\pi d L}{1000 v_p S_p} \left\lceil \frac{\Delta_{уст}}{t^*} \right\rceil \frac{1}{T} \right\rfloor \tau_{II},$$

где T – период стойкости инструмента, мин, τ_H – длительность одной переточки или замены изношенного (поломанного) инструмента, $\left\lceil \frac{\Delta_{уст}}{t^*} \right\rceil$ – количество дополнительных проходов при обработке по базовой технологии по сравнению с предлагаемой, $\left\lceil N_T p \frac{\pi d L}{1000 v_p S_p} \left\lceil \frac{\Delta_{уст}}{t^*} \right\rceil \frac{1}{T} \right\rceil$ – количество дополнительных переточек или замен инструмента.

Тогда, с учетом потерь по инструменту:

$$\Delta\theta = N_T p \left(\left\lceil \frac{\Delta_{уст}}{t^*} \right\rceil \left(\frac{\pi d L}{1000 v_p S_p} + \frac{L}{S_x} + \left\lceil \frac{\pi d L}{1000 v_p S_p} \frac{1}{T} \right\rceil \tau_H \right) + \tau_B \right) + 2 \tau_T p. \quad (1)$$

(1) является математической моделью, отражающей экономию затрат времени при изготовлении изделий на основе концентрации сборочных и обрабатывающих процессов.

Полученная модель (1):

- 1) показывает, на какую величину времени возможно сократить длительность производственного цикла в случае концентрации обрабатывающего и сборочного процессов на технологическом оборудовании, т.е. модель обеспечивает предсказуемость результативности процесса концентрации обрабатывающего и сборочного процессов,
- 2) позволяет выявить организационно-технологические факторы (рис. 3), оказывающие наиболее существенное влияние на величину сокращения длительности производственного цикла, т.е. выявляет инструменты направленного воздействия (управления) на организацию производственного процесса.

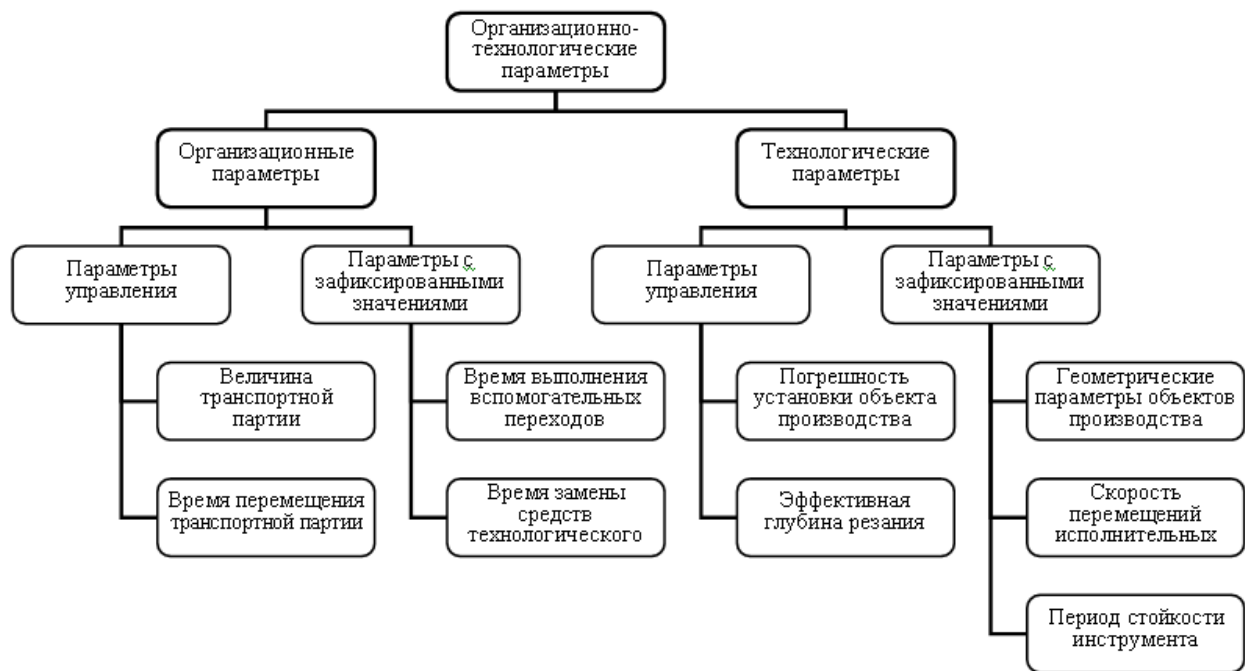


Рис. 3. Организационно-технологические параметры, оказывающие влияние на длительность производственного цикла изготовления изделий на основе концентрации сборочных и обрабатывающих процессов

Одним из наиболее эффективных инструментов исследования, который основан на системном подходе, является метод планирования и реализации факторных экспериментов [4].

При проведении численного полнофакторного эксперимента (ПФЭ) для исследования организационно-технологических факторов, оказывающих наиболее существенное влияние на величину сокращения длительности производственного цикла в качестве таких факторов приняты: N_{Tp} , $\Delta_{уст}$, τ_{Tp} и t^* . Остальные факторы, которые входят в структуру модели (1), являются технологическими и их значения обусловлены свойствами материалов и характером технологического процесса. Факторы устанавливались на двух уровнях, то есть имеет место полный факторный эксперимент 2^4 .

Уровни факторов в натуральном и безразмерном масштабах представлены в таблице.

Уровни факторов в натуральном и безразмерном масштабах

Факторы	Уровни факторов			Интервалы
	+1	0	-1	
N_{Tp}	35	25	15	10
$\Delta_{уст}$	0,5	0,25	0	0,25
τ_{Tp}	20	16	12	4
t^*	0,4	0,25	0,1	0,15

Получена регрессионная модель в кодированном масштабе уровней факторов:

$$J(\Delta\theta) = 46,24 + 5,7 N_{Tp} + 11,49\Delta_{уст} + 8,0\tau_{Tp} - 4,92t^*. \quad (2)$$

Величина и знак коэффициентов в уравнении регрессии (2) говорят о силе и характере влияния исследуемых факторов на величину сокращения длительности производственного цикла при внедрении предлагаемых организационно технологических мероприятий (концентрации операций).

На рис. 4 представлены результаты анализа эксперимента 2⁴ в виде диаграммы результатов регрессионного анализа, по которой можно определить силу и характер влияния факторов на отклик.

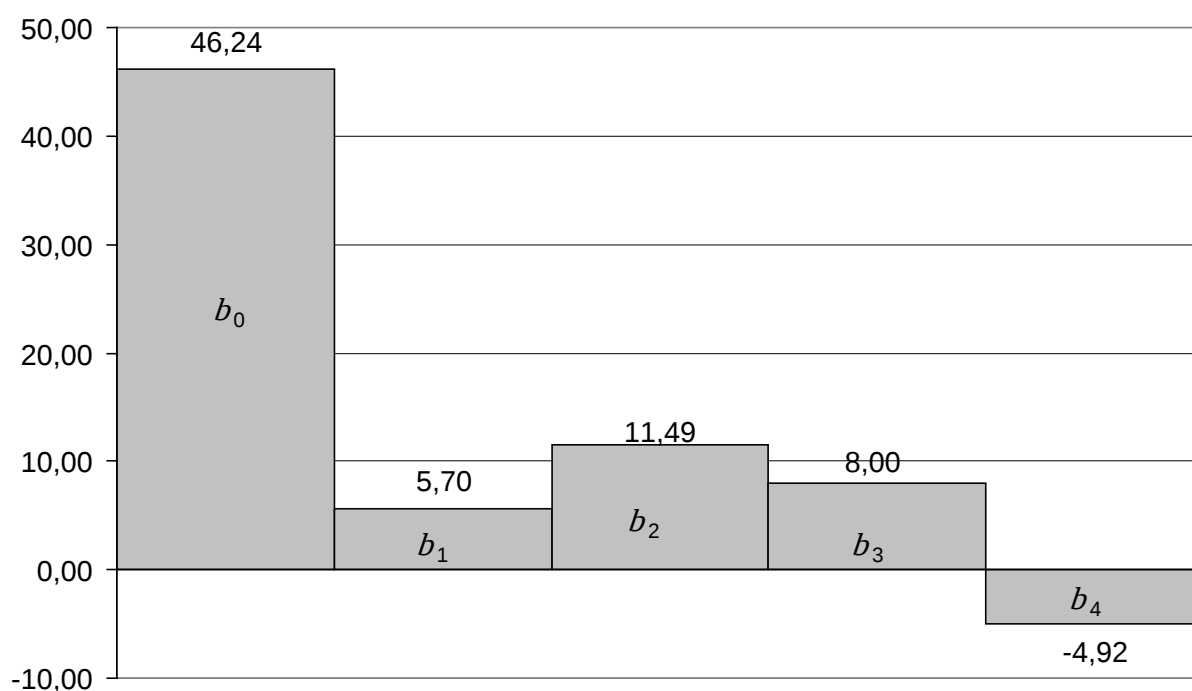


Рис. 4. Анализ результатов регрессионного анализа

Так из анализа (2) следует, что сила влияния погрешности установки сборочной единицы на станок $\Delta_{уст}$ в два раза больше влияния N_{Tp} . Второе по величине влияние оказывает время транспортировки τ_{Tp} . Коэффициент при t^* в уравнении регрессии отрицательный, это значит, что с увеличением t^* экономия длительности производственного цикла уменьшается, то есть при увеличении глубины резания сокращается количество ходов и соответственно время обработки.

На рис. 5 показана зависимость величины сокращения длительности производственного цикла от технологических параметров: величины погрешности установки $\Delta_{уст}$ и принятого значения эффективной глубины резания при обработке деталей в сборе t^* . Из графика видно, что внедрение концентрации обработки и сборки наиболее эффективно при обработке непрочных соединений, когда величина t^* – наименьшая.

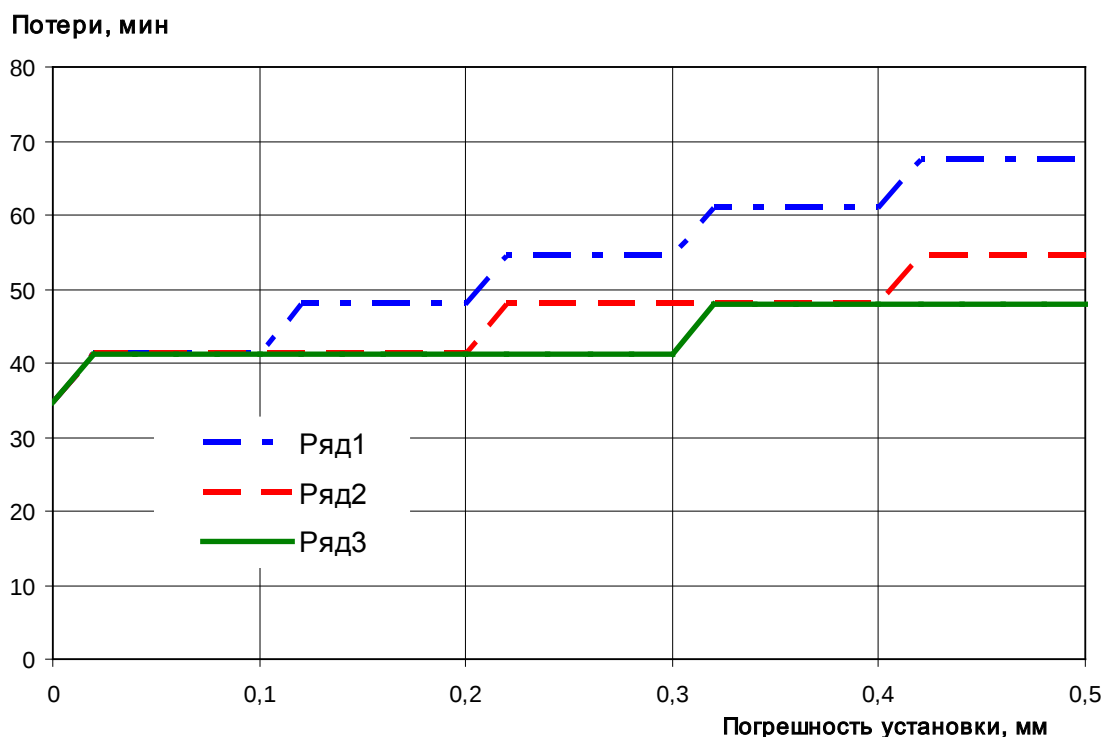


Рис. 5. Зависимость величины сокращения длительности производственного цикла от технологических параметров: величины погрешности установки $\Delta_{уст}$ и принятого значения эффективной глубины резания при обработке деталей в сборе t^* :

Ряд 1 – $t^*=0,1$ мм, Ряд 2 – $t^*=0,2$ мм, Ряд 3 – $t^*=0,3$ мм

На рис. 6 показана зависимость величины сокращения длительности производственного цикла от организационных параметров: времени перемещения транспортной партии

между операциями T_{Tp} и величины транспортной партии N_{Tp} . Из графика видно, что наибольший эффект от внедрения предлагаемых мероприятий проявляется при наибольших значениях времени транспортирования и величины транспортной партии.

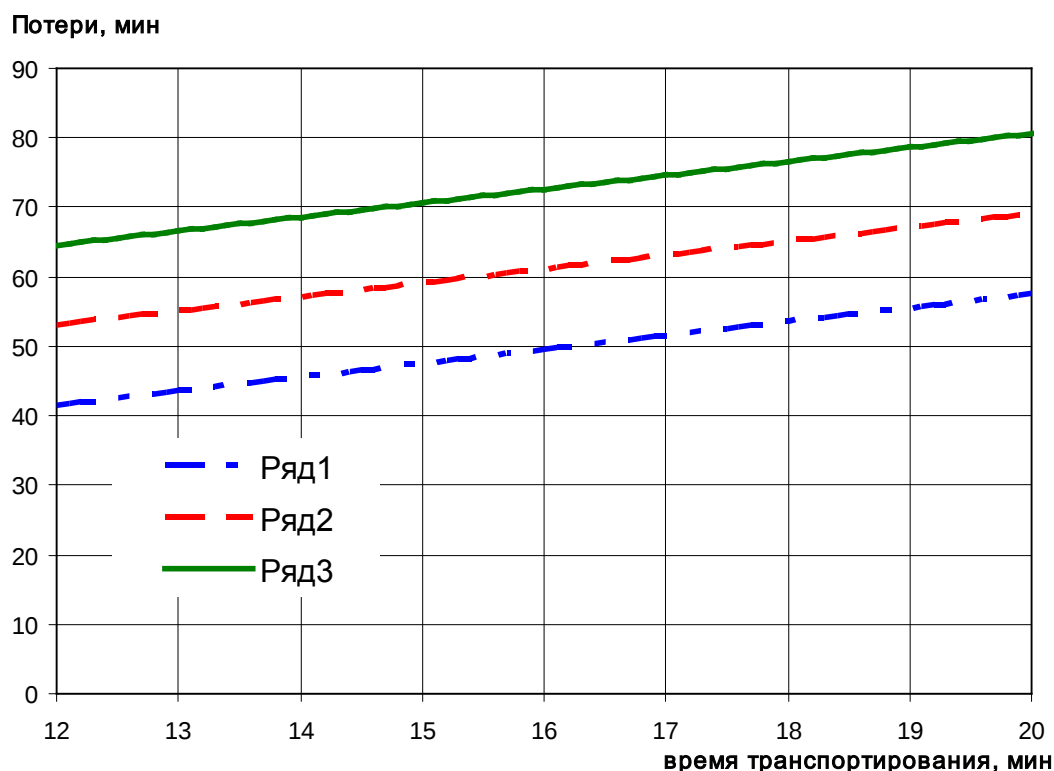


Рис. 6. Зависимость величины сокращения длительности производственного цикла от организационных параметров: величины времени перемещения транспортной партии

между операциями T_{Tp} и величины транспортной партии N_{Tp} :

Ряд 1 – $N_{Tp}=15$, Ряд 2 – $N_{Tp}=25$, Ряд 3 – $N_{Tp}=35$

Полученная в результате проведенных исследований математическая модель и регрессионный анализ результатов ПФЭ 2^4 позволяют сделать нижеследующие **выводы**:

1. Установлены факторы, оказывающие влияние на длительность производственного цикла изготовления изделий на основе концентрации сборочных и обрабатывающих процессов: организационные (величина транспортной партии, длительность одной замены изношенного инструмента, время выполнения вспомогательных переходов, время перемещения транспортной партии) и технологические (погрешность установки сборочной единицы для обработки деталей в сборе, период стойкости инструмента, эффективная глубина резания при обработке деталей в сборе, диаметр и длина

обрабатываемой поверхности, скорость резания, величина подачи на рабочих и холостых ходах, длительность одной переточки изношенного инструмента).

2. Доминирующими факторами, оказывающими влияние на сокращение длительности производственного цикла изготовления изделий на основе концентрации сборочных и обрабатывающих процессов, являются погрешность установки сборочной единицы для обработки деталей в сборе $\Delta_{уст}$ и время перемещения транспортной партии между операциями $T_{тр}$.

3. Внедрение концентрации обработки и сборки наиболее эффективно при обработке непрочных соединений, когда значение величины эффективной глубины резания при обработке деталей в сборе t^* – наименьшее.

Литература

1. Шишмарев В.Ю. Машиностроительное производство / В.Ю. Шишмарев, Т.И. Каспина. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 352 с.
2. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. М.: Машиностроение. Технология сборки в машиностроении. Т. III-5 / А.А. Гусев, В.В. Павлов, А.Г. Андреев и др.; Под общ. ред. Ю.М. Соломенцева, 2001. 640 с.
3. Корытов В.Н. Повышение эффективности механообрабатывающего производства на основе комплексного анализа технологических и организационных факторов. Дисс. ... канд.техн.наук. Гаврилов-Ям, 2004. 136 с.
4. Боровиков С.М. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности. Мн.: Дизайн ПРО, 1998. 336 с.

Detection and analysis of organizational-technological factors influencing the productivity of technological systems based on processing-assembly concentration

77-30569/362645

03, March 2012

Bysov S.A., Malyshev E.N.

Bauman Moscow Technical University, Kaluga Branch

m1@bmstu-kaluga.ru

The authors determine organizational and technological factors influencing productivity of technological systems based on processing-assembly concentration. The authors analyzed these factors and presented a mathematical model showing savings on time for manufacturing on the basis of processing-assembly concentration.

Publications with keywords: [mathematical model](#), [technological potentialities](#), [manufacture organization](#)

Publications with words: [mathematical model](#), [technological potentialities](#), [manufacture organization](#)

References

1. Shishmarev V.Iu. *Mashinostroitel'noe proizvodstvo* [Engineering production]. Moscow, Akademiia Publ., 2004. 352 p.
2. Andreev A.G., Pavlov V.V., Gusev A.A., Solomentsev Iu.M. *Tekhnologiya sborki v mashinostroenii* [Assembly technology in mechanical engineering]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2001. 640 p. (*Entsiklopediia "Mashinostroenie"*, vol. 3, book 5).
3. Korytov V.N. *Povyshenie effektivnosti mekhanoobrabatyvaiushchego proizvodstva na osnove kompleksnogo analiza tekhnologicheskikh i organizatsionnykh faktorov. Diss. kand. tekhn. nauk* [Improving the efficiency of production machining through an integrated analysis of technological and organizational factors. Cand. tech. sci. diss.]. Gavrilov-Iam, 2004. 136 p.
4. Borovikov S.M. *Teoreticheskie osnovy konstruirovaniia, tekhnologii i nadezhnosti* [Theoretical basis of design, technology and reliability]. Minsk, Dizain PRO Publ., 1998. 336 p.