

Оптимизация размеров партий при изготовлении деталей машин с точки зрения обеспечения потребностей сборки

77-30569/362423

04, апрель 2012

Волчкевич И. Л.

УДК 658.512

МГТУ им. Н.Э. Баумана

vil@bmstu.ru

Актуальность проблемы

Основной задачей любого технологического комплекса (ТК) изготовления деталей является обеспечение потребностей сборки машин. Для этого необходимо, чтобы расчетное (и принятое) количество оборудования ТК определялось с учетом особенностей его эксплуатации в составе комплекса и возникающих непроизводительных затрат времени. В [1] показано, что зависимость расчетного количества оборудования от числа возвратных переналадок существенна.

При определенной программе выпуска число переналадок напрямую связано с размером партий деталей, изготавливаемых между переналадками. Большинство существующих методик определяют размер партий между переналадками в зависимости от стойкости и необходимости смены инструмента или заранее разработанного плана выпуска деталей ([2], [3] и др.).

В данной работе предлагается методика оптимизации определения размера партий деталей между переналадками, целевой функцией которой является минимизация запасов при полном обеспечении потребностей сборки.

В машиностроительном производстве часто возникает противоречие между штучным характером сборки и партионным характером изготовления деталей. Задача обеспечения необходимыми деталями потребностей сборки сводится к вычислению времени изготовления необходимого количества деталей, составляющих N сборочных комплектов, и времени расходования такого же количества N комплектов деталей сборкой. Считая время комплектования на складе несущественным по сравнению со временем изготовления деталей и временем сборки, определяли оптимальное количество комплектов через равенство времен их изготовления и сборки:

$$\sum \theta_{\text{изг}}(N) = \sum \theta_{\text{сб}}(N), \quad (1)$$

где $\theta_{\text{изг}}(N)$ - время изготовления N комплектов деталей; $\theta_{\text{сб}}(N)$ – время сборки N изделий (рис. 1).

В первом приближении:

$$\sum \theta_{сб}(N) = \frac{N \cdot t_{Дсб}}{p}, \quad (2)$$

где $t_{Дсб}$ - такт сборки; p – число параллельных сборочных потоков (линий).

Изготовление деталей ведут на участках ТК. За каждым из участков закреплено изготовление своей части сборочного комплекта и своя доля объема необходимой обработки каждой из закрепленных деталей. На участке необходимо изготовить детали m наименований с объемами выпуска $Z_j, j=1, \dots, m$.

Общий объем выпуска для каждой из деталей, при потребности сборки в N комплектов, составит $N \cdot Z_j$.

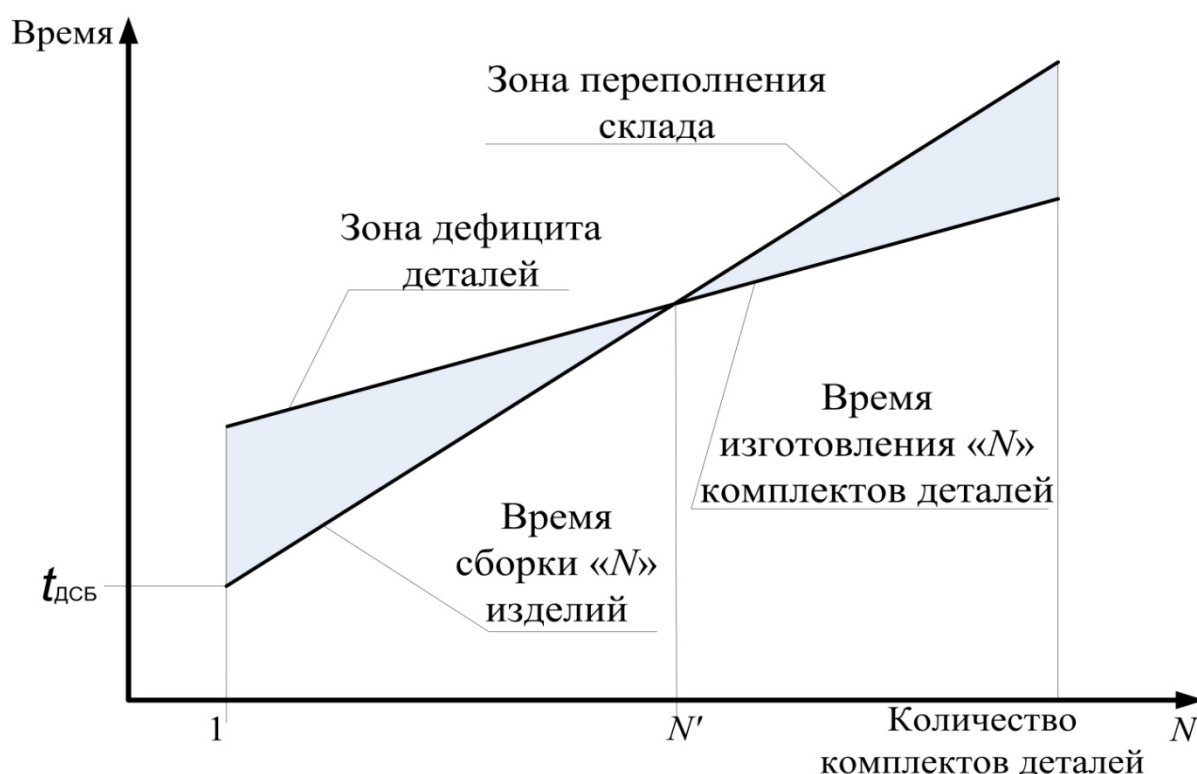


Рис. 1. К определению оптимального количества комплектов деталей (N'), изготавливаемых между переналадками

Для участков с технологической специализацией, где все детали комплекта запускаются в изготовление параллельно, суммарное время изготовления ($\theta_{изгj}$) каждой из деталей комплекта равно:

$$\theta_{изгj} = \frac{T_{цj} \cdot Z_j}{C_{цj} \cdot \eta_{исj}} \cdot N + K_3 \cdot T_{цj}, \quad (3)$$

где $T_{цj}$ - время цикла изготовления j -ой детали на оборудовании определенной группы и типа; $C_{цj}$ - число параллельно работающих станков, на которых изготавливается j -я деталь; $\eta_{исj}$ - коэффициент использования времени межналадочных периодов станка, на котором изготавливают j -ю деталь; K_3 - коэффициент пропорциональности между временем наладки на изготовление j -й детали и временем цикла ее изготовления [1].

Если все детали комплекта запущены в изготовление параллельно, то суммарное время изготовления комплекта равно наибольшему значению $\theta_{изгj}$, определенному по (3). При последовательном изготовлении деталей комплекта

$$\sum \theta_{изг}(N) = \sum_{j=1}^m \theta_{изгj} \quad (4)$$

Предварительные расчеты целесообразно выполнять, выбрав из комплекта деталь-представитель [4], с учетом необходимого числа переналадок (m).

Тогда

$$\sum \theta_{изг}(N) = \frac{T_{цпр} \cdot Z_{пр}}{C_{ппр} \cdot \eta_{испр}} \cdot N + K_{зпр} \cdot T_{цпр} \cdot m, \quad (5)$$

где индекс «пр» указывает соответствие значений величин в (5) значениям в (3) для детали-представителя.

Приравняв, с учетом (1), значение, полученное из (2) и (5), получим уравнение для определения оптимального количества комплектов (N') деталей, обеспечивающего непрерывность процессов изготовления и сборки последних:

$$\frac{T_{цпр} \cdot Z_{пр}}{C_{ппр} \cdot \eta_{испр}} \cdot N' + K_{зпр} \cdot T_{цпр} \cdot m = \frac{t_{дсб}}{p} \cdot N' \quad (6)$$

откуда, после преобразований,

$$N' = \frac{K_{зпр} \cdot T_{цпр} \cdot m \cdot p \cdot C_{ппр} \cdot \eta_{испр}}{C_{ппр} \cdot \eta_{испр} \cdot t_{дсб} - p \cdot T_{цпр} \cdot Z_{пр}} \quad (7)$$

В (7) входят величины разной природы:

- полученные при проектировании технологического процесса изготовления детали-представителя ($T_{цпр}, Z_{пр}$);
- заданные планом выпуска ($t_{дсб}, p$);
- эмпирические, полученные статистическим анализом результатов производственных исследований ($\eta_{испр}, K_{зпр}$);
- управляемые ($N, C_{ппр}$).

При $p = 1$ и $C_{ппр} = 1$ выражение (7) преобразуется к виду:

$$N' = \frac{m}{Z_{пр}} \cdot \frac{K_{зпр}}{\frac{t_{дсб}}{T_{цпр} \cdot Z_{пр}} - \frac{1}{\eta_{испр}}} \quad (8)$$

Анализ (8) показывает, что оптимальное количество последовательно изготавливаемых сборочных комплектов с точки зрения минимизации промежуточных запасов зависит от:

- соотношения между количеством деталей разных наименований в сборочном комплекте и общим количеством деталей, составляющих комплект;
- соотношения между тактом сборки и суммарным временем изготовления деталей, входящих в сборочный комплект.

Условием существования (8) будет

$$\frac{t_{\text{Дсб}}}{T_{\text{цпр}} \cdot Z_{\text{пр}}} - \frac{1}{\eta_{\text{испр}}} > 0. \quad (9)$$

Так как $0 < \eta_{\text{испр}} < 1$, то из (9) можно заключить, что такт сборки должен превышать суммарное время изготовления деталей комплекта.

Зная значение N' , можно рассчитать оптимальные объемы партий изготовления деталей каждого наименования, входящих в комплект

$$N_j = N' \cdot Z_j. \quad (10)$$

В общем случае, при $p > 1$ и $C_{\text{п}} > 1$, проведя аналогичные преобразования, получим

$$N' = \frac{m}{Z_{\text{пр}}} \cdot \frac{K_{3\text{пр}}}{\frac{t_{\text{Дсб}}}{p \cdot T_{\text{цпр}} \cdot Z_{\text{пр}}} - \frac{1}{C_{\text{ппр}} \cdot \eta_{\text{испр}}}}. \quad (11)$$

Для участков с предметной специализацией время изготовления N комплектов будет равно сумме времен прохождения каждой из деталей по всем q операциям. Полагая, что потери на межоперационное пролеживание учитывает коэффициент $\eta_{\text{ис}}$:

$$\sum \theta_{\text{изг}} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^q \theta_{1ij} + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^q \theta_{3ij}, \quad (12)$$

где θ_{1ij} - время изготовления j -й детали на i -м станке с учетом возможных собственных и организационно-технических простоев, θ_{3ij} - время возвратной переналадки i -го станка на изготовление j -й детали.

При этом:

$$\theta_{1ij} = \frac{T_{ij} \cdot Z_j}{\eta_{\text{ис}i} \cdot C_{\text{п}ij}} \cdot N, \quad (13)$$

где T_{ij} - время цикла обработки j -й детали на i -м станке; $C_{\text{п}ij}$ - число параллельно работающих станков, принятое для изготовления j -й детали на i -м станке.

Время наладки i -го станка на обработку j -й детали может быть вычислено, как:

$$\theta_{3ij} = K_{3i} \cdot T_{ij}, \quad (14)$$

где K_{3i} – коэффициент пропорциональности между временем наладки и временем изготовления для i -й операции. Считаем, что наладка всех $C_{\text{п}ij}$ станков происходит параллельно и независимо, поэтому от $C_{\text{п}ij}$ величина θ_{3ij} не зависит. Суммируя, получим:

$$\sum \theta_{\text{изг}} = N \cdot \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^q \frac{T_{ij} \cdot Z_j}{\eta_{\text{ис}i} \cdot C_{\text{п}ij}} + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^q K_{3i} \cdot T_{ij}, \quad (15)$$

где N – количество комплектов деталей, подаваемых на сборку; m – количество деталей в комплекте; q – количество операций в процессе изготовления детали. Если технологические процессы изготовления деталей спроектированы и пронормированы, все величины, входящие в (15), известны. На более ранних этапах, когда известны только m и Z_j , а также доступны справочные данные по величинам $\eta_{\text{ис}i}$ и K_{3i} , расчет можно производить по детали-представителю. В этом случае (15) принимает вид:

$$\sum \theta_{\text{изг пр}} = \frac{N \cdot Z_{\text{пр}}}{\eta_{\text{ис}}} \cdot \sum_{i=1}^q \frac{T_{\text{пр}i}}{C_{\text{п}i}} + m \cdot K_3 \cdot \sum_{i=1}^q T_{\text{пр}i}, \quad (16)$$

где $T_{\text{пр}i}$ - время изготовления детали-представителя на i -ой операции.

Величина $\sum_{i=1}^q T_{\text{пр}i}$ есть суммарное время циклов обработки детали-представителя по всем операциям на проектируемом участке.

Поскольку расчет N' является промежуточным для определения $C_{\text{п}i}$, то для первой итерации можно полагать все $C_{\text{п}i}$ равными единице. Тогда:

$$\sum \theta_{\text{изг пр}} = \frac{N \cdot Z_{\text{пр}} \cdot T_{\text{с пр}}}{\eta_{\text{ис}}} + m \cdot K_3 \cdot T_{\text{с пр}}, \quad (17)$$

где $T_{\text{с пр}}$ – суммарная станкоемкость изготовления детали представителя на проектируемом участке. Таким образом, уравнение для определения N' будет иметь вид:

$$\frac{t_{\text{дсб}} \cdot N'}{p} = \frac{Z_{\text{пр}} \cdot T_{\text{с пр}}}{\eta_{\text{ис}}} N' + m \cdot K_3 \cdot T_{\text{с пр}}, \quad (18)$$

откуда (опуская преобразования, аналогичные сделанным выше):

$$N' = \frac{m}{Z_{\text{пр}}} \cdot \frac{K_3}{\left(\frac{t_{\text{дсб}}}{p \cdot Z_{\text{пр}} \cdot T_{\text{с пр}}} - \frac{1}{\eta_{\text{ис}}} \right)}. \quad (19)$$

Выражение (19) полностью идентично по структуре (11), выведенному для участка с технологической специализацией. Условием существования решения будет неравенство:

$$\frac{t_{\text{дсб}}}{p \cdot Z_{\text{пр}} \cdot T_{\text{с пр}}} > \frac{1}{\eta_{\text{ис}}}, \quad (20)$$

или, в другой форме:

$$t_{\text{дсб}} \cdot \eta_{\text{ис}} > p \cdot Z_{\text{пр}} \cdot T_{\text{с пр}} \quad (21)$$

Так же, как и для участка с технологической специализацией размер партии каждой из m деталей между переналадками будет определяться, как произведение оптимального количества комплектов на количество данных деталей в комплекте

Пример расчета по предложенной методике

Проиллюстрируем описанное численным примером. Пусть в сборочный комплект входят 5 деталей ($m=5$). Время цикла изготовления детали-представителя $T_{\text{цпр}} = 0,75$ час.

Приведенная программа изготовления детали-представителя $Z_{\text{пр}} = 100$ шт. Такт сборки $t_{\text{дсб}} = 100$ час. Коэффициент использования оборудования $\eta_{\text{ис}} = 0,8$; $K_3 = 4$ [1].

Подставив исходные данные в (8), получим:

$$N' = \frac{5}{100} \cdot \frac{4}{\frac{100}{100 \cdot 0,75} - \frac{1}{0,8}} = 2,4.$$

Объем оптимальной партии деталей, изготавливаемых между переналадками:

$$N' \cdot Z_{\text{пр}} = 2,4 \cdot 100 = 240 \text{ шт.}$$

На рис. 2 показана зависимость отношения времени изготовления комплекта деталей ($\sum \theta_{изг}$) ко времени сборки того же комплекта ($\sum \theta_{сб}$) от количества изготавливаемых и собираемых комплектов (N). Зависимость нелинейна, отношение $\sum \theta_{изг} / \sum \theta_{сб}$ уменьшается с увеличением количества комплектов, стремясь к пределу, определяемому величиной

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\sum \theta_{изг}}{\sum \theta_{сб}} = \frac{Z_{пр} \cdot T_{ц_{пр}}}{t_{дсб} \cdot \eta_{ис}}.$$

В рассматриваемом примере значение указанной величины равно 0,94.

Зависимость времен изготовления деталей комплекта ($\sum \theta_{изг}$) и их сборки ($\sum \theta_{сб}$) от количества комплектов (N) линейны (рис. 3), их графики имеют точку пересечения, соответствующую оптимальному значению (N').

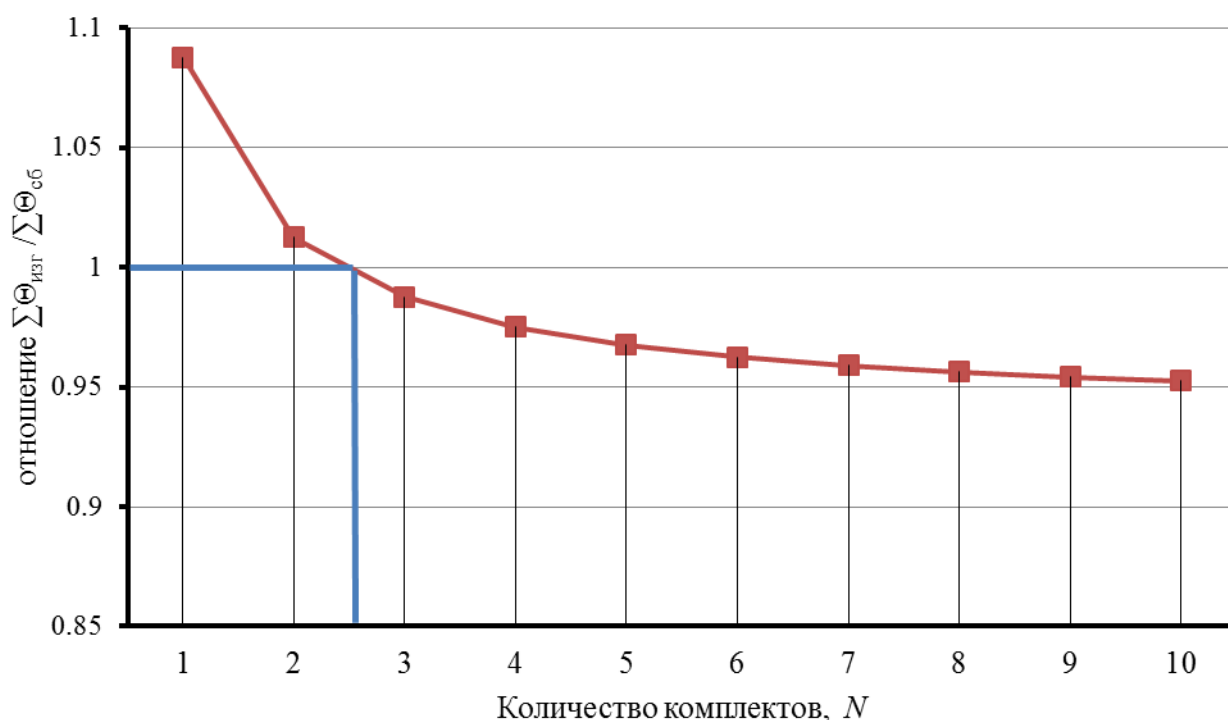


Рис. 2 Зависимость отношения времени изготовления комплекта деталей ($\sum \theta_{изг}$) ко времени сборки того же комплекта ($\sum \theta_{сб}$) от количества изготавливаемых и собираемых комплектов (N)

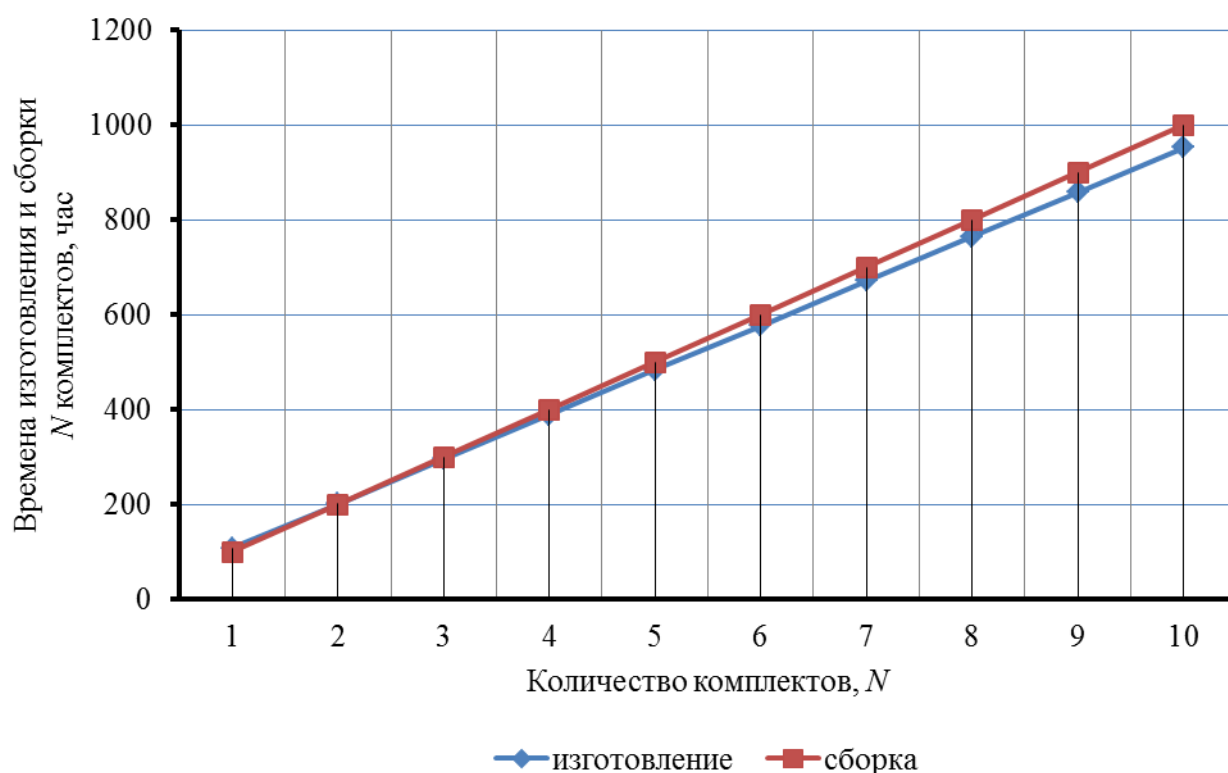


Рис. 3 Зависимость времен изготовления деталей комплекта ($\sum \theta_{изг}$) и их сборки ($\sum \theta_{сб}$) от количества комплектов (N)

Выводы

1. В многономенклатурном производстве возникает противоречие между поштучным характером сборки машин и партионным изготовлением деталей.
2. Обеспечение потребностей сборки увеличением запасов деталей ведет к росту объемов незавершенного производства и неоправданным производственным затратам.
3. Непрерывность механосборочного производства обеспечивается при изготовлении и подаче на сборку деталей сборочными комплектами, количество которых и объемы партий определяются с учетом непроизводительных затрат времени в соответствии с предложенной методикой для технологических комплексов инвариантно их специализации.

Список литературы

1. Волчкевич И.Л Основы выбора состава оборудования проектируемых технологических комплексов из станков с ЧПУ // «Машиностроение и техносфера XXI века»: Сборник докладов международной научно-технической конференции. Донецк. 2010.
2. Организация и планирование машиностроительного производства (производственный менеджмент): учебник / под ред. Ю.В. Скворцова, Л.А. Некрасова. М.: Высш. шк., 2003. 470 с.

3. Сачко Н.С., Бабук И.М. Организация и планирование машиностроительного производства: курсовое проектирование: учеб. пособие. Минск: УП «Технопринт», 2001. 240 с.
4. Мельников Г.Н., Вороненко В.П. Проектирование механосборочных цехов: учебник для студентов машиностроит. специальностей вузов. М.: Машиностроение, 1990. 352 с.

Optimization of batch size for manufacturing machine elements in order to meet the demands of assembly

77-30569/362423

04, April 2012

Volchkevich I.L.

Bauman Moscow State Technical University

vil@bmstu.ru

The article covers an urgent methodological approach to solving the problem of determination of the number of assembly sets of details and batch sizes in order to provide continuous mechanical assembly production with minimal costs. Non productive time consumption for machinery manufacturing facilities invariant to their production lines were taken into account in calculating the optimum number of assembly sets. The author provides an example of calculating an optimum number of serially produced assembly sets for multiproduct manufacturing. The proposed technique was aimed at solving design and planning problems of mechanical assembly production.

Publications with keywords: [assembly](#), [production facility](#), [multiproduct manufacturing](#), [the optimum batch quantity](#)

Publications with words: [assembly](#), [production facility](#), [multiproduct manufacturing](#), [the optimum batch quantity](#)

References

1. Volchkevich I.L. Osnovy vybora sostava oborudovaniia proektirumykh tekhnologicheskikh kompleksov iz stankov s ChPU [Principles of selection of equipment of projected technological complexes of the machines with CNC]. *Mashinostroenie i tekhnosfera 21 veka: Sbornik dokladov mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Mechanical Engineering and Technosphere of the 21st Century: Proc. of the International Scientific-Technical Conference]. Donetsk, 2010.
2. Skvortsov Iu.V., Nekrasova L.A., eds. *Organizatsiia i planirovanie mashinostroitel'nogo proizvodstva (proizvodstvennyi menedzhment)* [Organization and planning of engineering production (production management)]. Moscow, Vysshaia shkola, 2003. 470 p.
3. Sachko N.S., Babuk I.M. *Organizatsiia i planirovanie mashinostroitel'nogo proizvodstva* [Organization and planning of engineering production]. Minsk, UP «Tekhnoprint», 2001. 240 p.
4. Mel'nikov G.N., Voronenko V.P. *Proektirovanie mekhanosborochnykh tsekhov* [Design of mechanical assembly shops]. Moscow, Mashinostroenie, 1990. 352 p.