

Основы расчета необходимого количества оборудования с учетом факторов производственной неопределенности

02, февраль 2014

DOI: 10.7463/0214.0701227

Волчкевич И.Л.

УДК 658.512

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

vil@bmstu.ru

При проектировании современных технологических комплексов (ТК) машиностроительного производства одной из основных является проблема выбора состава оборудования. Методология этого выбора основана на использовании в качестве исходных данных производственной программы проектируемого ТК. Однако, если ранее производственная программа могла считаться известной на весь срок эксплуатации проектируемого ТК, как по количественным, так и по качественным критериям, то в настоящее время существенными являются факторы производственной и рыночной неопределенности, не учитывать которые при проектировании ТК уже не представляется возможным.

Проблема прогнозирования и учета изменения качественных характеристик продукции за время жизненного цикла проектируемого технологического оборудования ставилась и решалась в ряде работ [1]. Но актуальной также является и проблема учета факторов неопределенности при расчете необходимого количества оборудования проектируемых технологических комплексов.

Точно знать количество и характер заказов на производство конечной продукции даже на период проектирования, изготовления, монтажа, пусконаладки новых технологических комплексов, тем более — на сроки их эксплуатации, в условиях рыночной экономики невозможно. Следовательно, в проектах комплексов должны предусматриваться возможности резервирования, хотя бы на уровне дополнительных площадей, оцениваться масштабы такого резервирования. Но ни одна методика определения состава основного технологического оборудования [2] – [4] подобных подходов не содержит. В трудах зарубежных исследователей, посвященных научным проблемам проектирования технологических комплексов, ([5]–[7]) подобные подходы отсутствуют, даже на уровне постановки задач.

Что может серьезно измениться за время эксплуатации ТК? Возможны различные изменения, как количественные, так и качественные, которые можно разделить на неопределенности «внешние» и «внутренние». Внешние неопределенности влияют на необходимое время работы оборудования, внутренние – на время, достижимое в рамках выбранного состава и структуры для определенного типа производства. Их соотношением и будет определяться необходимое количество оборудования каждого типа.

К внешним неопределенностям могут привести:

- Изменение рыночной конъюнктуры, нарастание или падение общего объема заказов;
- Изменение масштабов выпуска изделий предприятием и сроков поставки при сохранении номенклатуры, что влечет за собой изменение объемов выпуска деталей в рамках проектируемого ТК;
- Изменение номенклатуры выпускаемых изделий с сохранением их технологического подобия;
- Изменение требований к параметрам качества изделий;
- Частичный или полный переход предприятия на выпуск иной продукции, интенсивность освоения новых изделий.

Даже при сохранении в процессе эксплуатации ТК «традиционной» продукции, характеризуемой ее станкоемкостью и частотой сменяемости типоразмеров, а также организацией эксплуатации, то есть, длительностью наладочных процессов, фактический годовой выпуск не может оставаться неизменным. Он определяется рыночной конъюнктурой, то есть, возможным увеличением или сокращением заказов. Даже если оставить в стороне кризисные явления в экономике, которые пока не научились даже предсказывать, и предположить «естественное» развитие, такие процессы неизбежны. В какой-то степени они могут прогнозироваться современными математическими методами, а именно – использованием метода доверительных вероятностей и доверительных интервалов.

Неопределенности внутренние также вызываются рядом факторов, в том числе:

- возможными простоями оборудования по техническим или организационным причинам;
- наладочными процессами, включая освоение новых, ранее не изготавливавшихся деталей и «возвратные» переналадки, оптимальное число которых заранее точно определить невозможно.

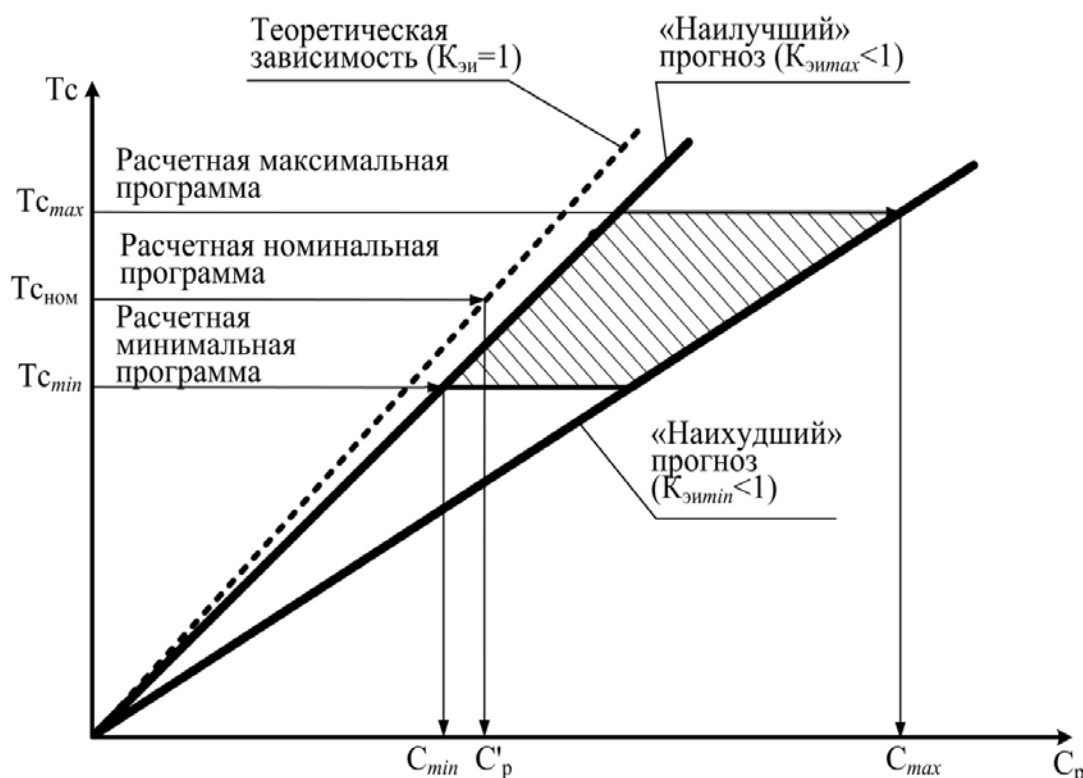
Учет внутренних неопределенностей может быть произведен через интегральные коэффициенты использования, которые определяются в результате производственных исследований, проводимых для разных типов оборудования и разных типов производства. Полученные значения интегральных коэффициентов использования также могут быть представлены в виде доверительных интервалов.

Возможны два пути получения вариантов значений необходимого количества оборудования:

- Прогностический расчет с определением математического ожидания и доверительного интервала значений искомой величины;
- Расчет минимальных и максимальных значений, исходя из интервалов варьирования исходных данных.

При проектировании ТК второй путь предпочтителен, как с точки зрения минимизации и упрощения вычислений, так и вследствие большего удобства использования полученных результатов на практике. Таким образом, необходима разработка математического аппарата, обеспечивающего расчет минимального C'_{pmin} и максимального C'_{pmax} значений необходимого количества оборудования каждого из типов [8].

Предлагаемую методику расчетов иллюстрирует рисунок 1. На нем представлены зависимости расчетных значений производственных программ, выраженных для определенного типа оборудования через станкоемкость T_c , от количества оборудования данного типа C_p , при различных уровнях внутренней неопределенности.



T_c – станкоемкость заданной производственной программы; C – количество оборудования данного типа; $K_{зи}$ – коэффициент экстенсивного использования оборудования

Рис. 1. К расчету минимального и максимального количества оборудования ТК

Внутренняя неопределенность задается через различные значения коэффициента экстенсивного использования оборудования $K_{эи}$. Теоретическая зависимость (см. рисунок 1) иллюстрирует существующую методику расчета, когда по заданной (номинальной) программе $T_{сзад}$ определяют расчетное количество станков C'_p без учета неопределенностей, как внешней, так и внутренней ($K_{эи} = 1$). При наличии неопределенностей существует интервал прогнозируемых значений программы выпуска $T_{сmin} \dots T_{сmax}$, симметричный относительно $T_{сзад}$, что соответствует двум различным зависимостям достигаемой станкоемкости от количества оборудования, определяемым значениями $K_{эиmin}$ и $K_{эиmax}$.

Заштрихованная область на рисунке 2 ограничивает множество возможных вариантов для выбора количества оборудования и соответствующей ему расчетной достигаемой производственной программы.

Отсюда:

$$C'_{pmin} = \frac{T_{сmin}}{\Phi_{до} \cdot K_{эиmax}}; \quad (1)$$

$$C'_{pmax} = \frac{T_{сmax}}{\Phi_{до} \cdot K_{эиmin}}, \quad (2)$$

где $\Phi_{до}$ – действительный фонд времени работы оборудования;

C'_{pmin} , C'_{pmax} – предельные минимальное и максимальное количества оборудования ТК данной группы и типа соответственно;

$T_{сmin}$, $T_{сmax}$ – предельные минимальное и максимальное значения станкоемкости заданной производственной программы соответственно; $K_{эиmin}$, $K_{эиmax}$ – предельные минимальное и максимальное значения коэффициента экстенсивного использования оборудования, соответственно.

Полученный интервал возможных значений количества оборудования $C'_{pmin} \dots C'_{pmax}$ является исходным для принятия решения, результат которого – выбор того количества, которое будет заложено в проект ТК, и стратегии резервирования. Выбор минимального количества C'_{pmin} может привести к невыполнению производственной программы, а выбор максимального C'_{pmax} – к малой загрузке и существенным простоям оборудования.

При оценке прогнозируемого объема выпуска для проектируемого ТК в единицах станкоемкости или количества изготавливаемых деталей-представителей выполняют поверочный расчет (рисунок 2). Каждое из полученных значений C'_{pmin} и C'_{pmax} округляется до принятых целых $C_{пmin}$ и $C_{пmax}$ соответственно, после чего определяют величины $T'_{сmin}$ и $T'_{сmax}$ по формулам:

$$T'_{c_{min}} = C_{п_{min}} \cdot \Phi_{до} \cdot K_{эи_{min}}; \quad (3)$$

$$T'_{c_{max}} = C_{п_{max}} \cdot \Phi_{до} \cdot K_{эи_{max}}, \quad (4)$$

где $T'_{c_{min}}$, $T'_{c_{max}}$ - предельные минимальное и максимальное значения ожидаемой станкоемкости производственной программы.

Полученные значения величин $T'_{c_{min}}$ и $T'_{c_{max}}$ могут быть использованы в процессе принятия решения о количестве оборудования, принятом на этапе создания ТК, и стратегии резервирования.

Из (1), (2) выразим соотношение $C'_{p_{max}}/C'_{p_{min}}$:

$$\frac{C'_{p_{max}}}{C'_{p_{min}}} = \frac{T_{c_{max}} \cdot K_{эи_{max}}}{T_{c_{min}} \cdot K_{эи_{min}}}. \quad (5)$$

В этом выражении $T'_{c_{max}}/T'_{c_{min}}$ характеризует варьирование внешней неопределенности, а $K_{эи_{max}}/K_{эи_{min}}$ - варьирование внутренней неопределенности.

Расчеты показывают, что количество необходимого оборудования при одной и той же номинальной производственной программе может отличаться до 4-х раз при различных уровнях неопределенности. Одной из основных задач при проектировании и эксплуатации ТК является снижение уровней как внешней, так и внутренней неопределенностей.

Общая последовательность выбора количества оборудования определенного типа с учетом факторов производственной неопределенности приведена на рисунке 4. Поскольку проведение поверочных расчетов по точным программам в условиях многономенклатурного производства затруднительно, расчет ведется по приведенной программе.

На первом этапе проводится выбор детали-представителя, разработка для нее МТП и расчет приведенных программ [2]. Определяется тип производства [9]. После определения значений $T_{c_{max}}$, $T_{c_{min}}$, $K_{эи_{max}}$, $K_{эи_{min}}$ проводят проектный расчет. Полученные значения $C'_{p_{max}}$ и $C'_{p_{min}}$ округляют, после чего проводят расчет поверочный.



$C_{п}$ - принятое количество оборудования данного типа;

C_{nmin} , C_{nmax} - принятые минимальное и максимальное количества оборудования данного типа соответственно;

T_c - станкоёмкость производственной программы

Рис. 2. К поверочному расчету с учетом факторов неопределенности

Заключительный этап (см. рисунок 3) – анализ рисков и принятие решения о выборе количества оборудования. Сокращение внешней неопределенности может быть достигнуто за счет лучшего прогнозирования и планирования производственной программы, выработки оптимальной стратегии развития предприятия в условиях рынка, унификации и преемственности конструкций изделий. Одним из наилучших путей для сокращения внутренней неопределенности в условиях многономенклатурного, часто переналаживаемого производства, при котором значительная часть времени тратится на отладки и переналадки оборудования, является сокращение времени и повышение качества технологической подготовки производства.

Переход на выпуск существенно отличающейся продукции в большинстве случаев влечет за собой реконструкцию предприятия. Тем не менее, в данном случае обязательно должна решаться задача о возможности (качественной и количественной) выпуска новой продукции на существующем ТК. Для предотвращения необходимости замены оборудования (что долго и дорого) в остальных случаях производственной неопределенности до сих пор не найдено лучшего пути, чем резервирование. Резервирование может быть «качественным» и «количественным».

Качественное резервирование выражается в изначальном выборе оборудования, технологические возможности которого шире необходимых для той номенклатуры

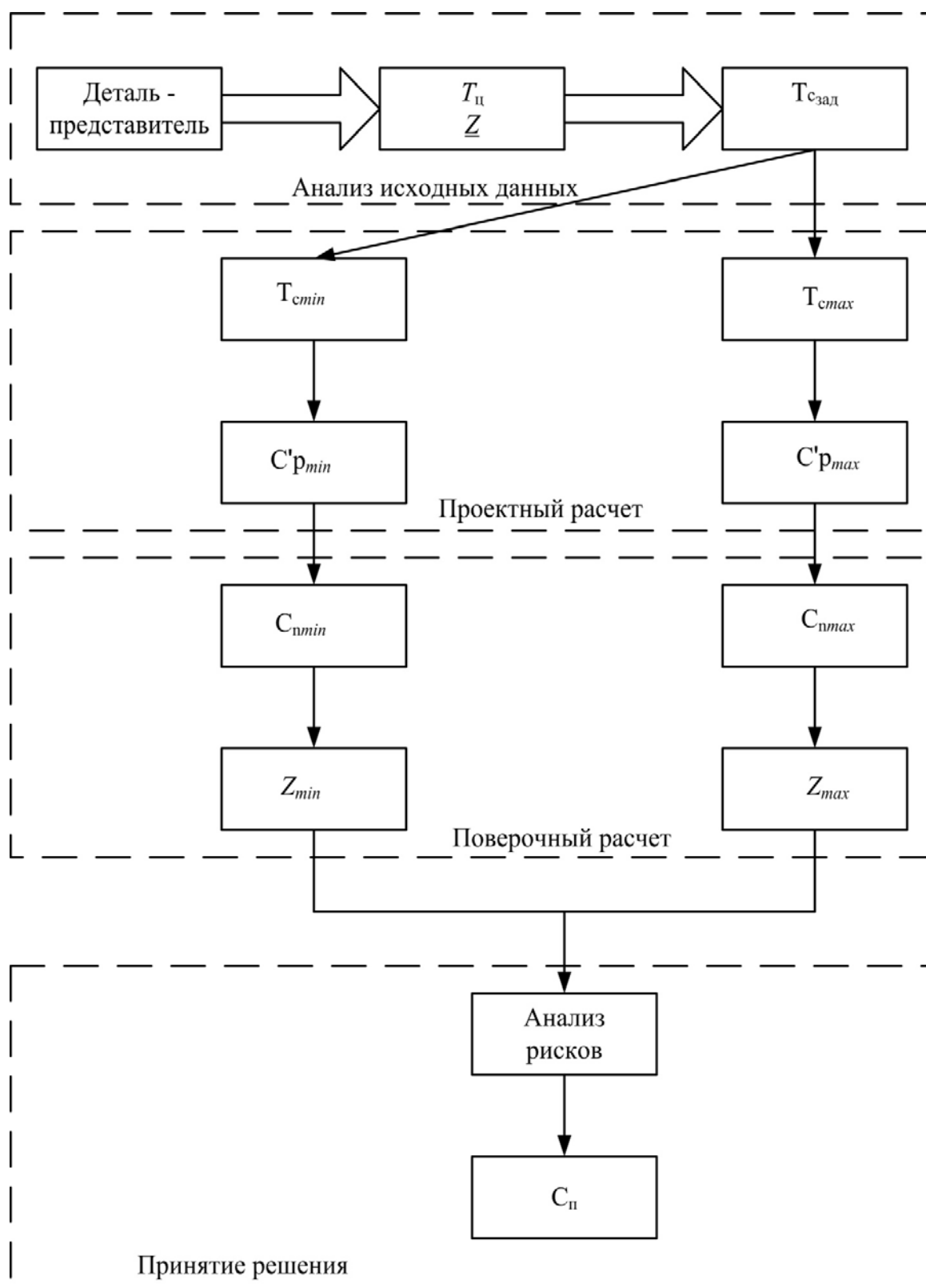


Рис. 3. Общая последовательность выбора количества оборудования с учетом факторов

производственной неопределенности изделий, которая рассматривается при

проектировании ТК, как по доступным технологическим методам, так и по габаритам деталей, их материалам, требуемым параметрам качества.

Количественное резервирование может осуществляться за счет создания запаса производственной мощности («избыточного» на момент проектирования количества единиц оборудования), либо резервированием производственных площадей с последующим их заполнением новым оборудованием. Последний вариант в большинстве случаев является предпочтительным по экономическим критериям.

По-видимому, наилучшим вариантом технической политики в области создания ТК на современном этапе, с учетом стоимости и скорости обновления модельного ряда оборудования, является их построение по «минимальной» схеме, но с резервными площадями по всем позициям. Это облегчает первоначальный этап пуска и освоения ТК, возможно, с ограниченной номенклатурой и количеством принимаемых заказов.

Выводы:

- 1 Многономенклатурный характер современного машиностроительного производства и порождаемые при этом факторы внешней и внутренней производственной неопределенности вызывают рассеяние технико-экономических показателей проектируемого комплекса. Влияние указанных факторов может быть снижено путем прогнозирования возможной эволюции комплекса и учетом ее последствий при проектировании комплекса.
- 2 Определение расчетного количества оборудования технологического комплекса целесообразно проводить, прогнозируя и учитывая фактическую работоспособность оборудования проектируемого комплекса.
- 3 Учет влияния факторов внешней и внутренней производственной неопределенностей на результаты выбора оборудования целесообразно осуществлять путем определения предельных значений количества оборудования, исходя из интервалов варьирования исходных данных в соответствии с предложенной методикой.

Список литературы

- 1 Феофанов А.Н. Гибкие автоматические линии в машиностроении. М.: «Янус-К», 2002. 192 с.
- 2 Вороненко В.П., Мельников Г.Н. Проектирование механосборочных цехов. М.: Машиностроение, 1990. 352 с.

- 3 Иванов В.П. Проектирование производственных участков в машиностроении: практикум. Минск: Техноперспектива, 2009. 224 с.
- 4 Борисов С.Р., Васильев В.Н. Основы предпринимательства и организации производства: учеб. пособие / Под ред. проф. В.Н. Васильева. М.: Изд-во Машиностроение-1, 2000. 752 с.
- 5 Junjae Chae, Brett A. Peters A simulated annealing algorithm based on a closed loop layout for facility layout design in flexible manufacturing systems // International Journal of Production Research. 2006. Vol. 44, no. 17. P. 1243-1272. DOI: [10.1080/00207540500446287](https://doi.org/10.1080/00207540500446287)
- 6 Hassan M.M.D. Machine layout problem in modern manufacturing facilities // International Journal of Production Research. 1994. Vol. 32, no. 11. P. 2559-2584. DOI: 10.1080/00207549408957084
- 7 Blanch R., Ferrer I., Garcia-Romeu M.L. A model to build manufacturing process chains during embodiment design phases // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2012. vol. 59, no. 5-8. P. 421-432. DOI: 10.1007/s00170-011-3516-y
- 8 Volchkevich I. Estimation of the industrial uncertainty factors on selecting equipment configuration for designing machinery manufacturing production facilities // Proc. of the 1st Int. Workshop “Advanced composite materials and technologies for aerospace applications”. Wrexham, 2011. P. 89-95.
- 9 Волчкевич И.Л. Исследование фактической работоспособности современного высокопроизводительного оборудования с ЧПУ // Машиностроение и техносфера XXI века: сб. докл. XVII международной научно-технической конференции. Донецк, 2011. С. 144-145.

Basics for calculating the required machinery quantity under uncertainty conditions

02, February 2014

DOI: [10.7463/0214.0701227](https://doi.org/10.7463/0214.0701227)

I.L. Volchkevich

Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, Russian Federation

vil@bmstu.ru

The article substantiates the urgency of the problem to estimate the industrial uncertainty factors in calculating the necessary equipment quantities when designing the manufacturing facilities in machinery building. It presents a new approach and a mathematical technique for calculating the necessary equipment quantity under conditions of multiproduct versatile manufacturing. The causes of internal and external uncertainties and methods for predicting their levels are presented. The article gives an example for calculating the necessary equipment quantities for the NC-machinery facilities. The approach proposed can be used in designing the manufacturing facilities of mechanical assembly production.

Publications with keywords: [uncertainty](#), [redundancy](#), [design of machinery manufacturing facilities](#), [production program](#)

Publications with words: [uncertainty](#), [redundancy](#), [design of machinery manufacturing facilities](#), [production program](#)

References

1. Feofanov A.N. *Gibkie avtomaticheskie linii v mashinostroenii* [Flexible automatic production lines in mechanical engineering]. Moscow, "Yanus-K" Publ., 2002. 192 p. (in Russian).
2. Voronenko V.P., Mel'nikov G.N. *Proektirovanie mekhanosborochnykh tsekhov* [Designing mechanical assembly shops]. Moscow, Mashinostroenie, 1990. 352 p. (in Russian).
3. Ivanov V.P. *Proektirovanie proizvodstvennykh uchastkov v mashinostroenii: praktikum* [Design of production sites in mechanical engineering]. Minsk, Tekhnoperspektiva, 2009. 224 p. (in Russian).
4. Borisov S.R., Vasil'ev V.N. *Osnovy predprinimatel'stva i organizatsii proizvodstva* [Basis of entrepreneurship and production organization]. Moscow, Mashinostroenie-1, 2000. 752 p. (in Russian).

5. Chae J., Peters B.A. A simulated annealing algorithm based on a closed loop layout for facility layout design in flexible manufacturing systems. *International Journal of Production Research*, 2006, vol. 44, no. 13, pp. 2561-2572. DOI: [10.1080/00207540500446287](https://doi.org/10.1080/00207540500446287)
6. Hassan M.M.D. Machine layout problem in modern manufacturing facilities. *International Journal of Production Research*. 1994. Vol. 32, no. 11. P. 2559-2584. DOI: 10.1080/00207549408957084
7. Blanch R., Ferrer I., Garcia-Romeu M.L. A model to build manufacturing process chains during embodiment design phases. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2012, vol. 59, no. 5-8, pp. 421-432. DOI: 10.1007/s00170-011-3516-y
8. Volchkevich I. Estimation of the industrial uncertainty factors on selecting equipment configuration for designing machinery manufacturing production facilities. *Proc. of the 1st Int. Workshop "Advanced composite materials and technologies for aerospace applications"*. Wrexham, 2011, pp. 89-95.
9. Volchkevich I.L. [Study of the actual functionality of modern high-performance equipment with CNC]. *Mashinostroenie i tekhnosfera 21 veka: sb. dokl. 17 mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Mechanical Engineering and Technosphere of the 21 century: Proc. of the 17th International Scientific and Technical Conference]. Donetsk, 2011, pp. 144-145. (in Russian).