

## МЕТОДИКА ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО ВАРИАНТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОДУКЦИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПОЗАКАЗНОГО ПРОИЗВОДСТВА



<sup>1</sup>Гасюк Дмитрий Петрович,  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра  
Великого  
Россия, Санкт-Петербург  
Тел.: +7 (812) 534-07-64, E-mail: cz\_tipt@mail.ru



<sup>2</sup>Косова Валентина Андреевна,  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра  
Великого  
Россия, Санкт-Петербург  
Тел.: +7 (812) 534-07-64, E-mail: kosova.va@yandex.ru

### Аннотация

В работе рассмотрены факторы, оказывающие влияние на качество технологического процесса в условиях позаказного производства продукции. Проведен анализ состояний подходов к оценке качества технологических процессов при постановке продукции на производство. Результаты анализа подтвердили необходимость учета дополнительных факторов, оказывающих влияние на качество технологического процесса. На основе проведенного анализа предложена методика выбора рационального варианта технологического процесса, способного обеспечить заданный уровень качества продукции.

*Ключевые слова:* качество технологического процесса, машиностроительное предприятие, позаказное производство, удовлетворенность потребителей.

### Введение

Несмотря на активное внедрение информационных технологий, оснащение производств высокотехнологичными обрабатывающими комплексами, появлению предпосылок перехода к концепции качество 4.0

[1-3], внедрению машинного обучения в производственные процессы [4], подходы к технико-экономическому обоснованию выбора рационального варианта технологического процесса в процессе постановки продукции на производство ориентированы на использование разработанного в течение двадцатого века научно-методического аппарата, который не в полной мере удовлетворяет потребностям текущего времени. Разработанные для отечественного производства методики были эффективны для применения в условиях плановой экономики, без учета потребностей потребителя, его индивидуальных особенностей и представлении о качестве продукции. В этом случае, для повышения эффективности производственного процесса, выполнения установленной производственной программы в срок при отсутствии существенных инвестиций на организацию производства самым очевидным вариантом было решение задачи снижения затрат, в том числе затрат, связанных с непосредственным производством продукции. Результатом решения данной задачи стал выбор технологического процесса, удовлетворяющего условию минимальной себестоимости при условии соответствия параметров производимой продукции требованиям нормативной документации.

В настоящее время внешняя среда, в которой функционируют предприятия, существенно изменилась, подходы к оценке выполняемых процессов и производимой продукции потребовали проведение анализа и пересмотра существующих методов оценки процесса с учетом новых факторов, влияющих на деятельность предприятий и машиностроительной отрасли в целом.

В данной статье выделяются основные факторы, влияющие на качество технологического процесса продукции машиностроения, производится выбор факторов, определяющих качество технологического процесса, предлагается методика выбора рационального варианта технологического процесса, позволяющая обеспечить заданный уровень качества продукции.

### **Методы**

На первом этапе проведен анализ взаимосвязи между качеством продукции и качеством технологического процесса, разрабатываемого для производства машиностроительной продукции. На втором этапе проведен обзор существующих факторов, оказывающих влияние на качество технологического процесса. На третьем этапе выделены факторы, которые необходимо учитывать в процессе выбора технологического процесса при постановке продукции на производство в условиях позаказного производства. По результатам проведенного анализа, с учетом факторов, обеспечивающих качество технологического процесса, разработана

методика выбора рационального варианта технологического процесса на основе методов квалиметрии и методов экспертной оценки.

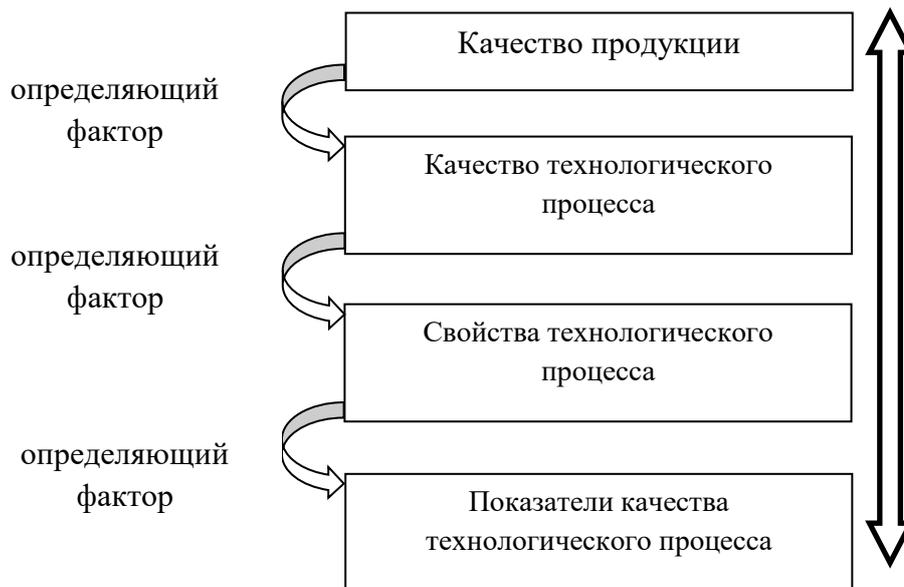
## Результаты

С появлением во внешней и внутренней среде предприятий новых условий и факторов, оказавших значительное влияние на процесс постановки продукции на производство, возникла система позаказного производства продукции [5-7]. В связи с этим возросла потребность в высоком качестве продукции, которая привела к необходимости обеспечить высокую организацию технологических процессов. Таким образом, для обеспечения постоянного повышения качества продукции необходимо постоянно повышать качество технологических процессов её изготовления [8]. Существующая в настоящее время методика поиска оптимальных вариантов технологических процессов для обеспечения заданного уровня качества машиностроительной продукции не учитывает особенностей позаказного производства и нуждается в улучшениях, которые будут учитывать современные условия формирования требований потребителей к качеству продукции. Взаимосвязь позаказного производства, качества технологического процесса и влияния методики выбора рационального варианта технологического процесса на качество продукции можно представить в виде схемы (рис. 1).



Рис. 1. Взаимосвязь понятий позаказного производства и качества технологического процесса

Проектирование технологического процесса - достаточно трудоемкий процесс, результативность которого зависит от многих факторов, таких как наличие необходимых знаний у технолога, имеющийся на производстве парк оборудования, сложность конструкции, уровень доступности материалов и комплектующих. Под качеством технологического процесса следует понимать совокупность его свойств, степень реализации которых в условиях позаказного производства позволяет обеспечить требуемый уровень качества продукции [8]. Взаимосвязь показателей качества технологического процесса и качества продукции представлена на рис. 2.



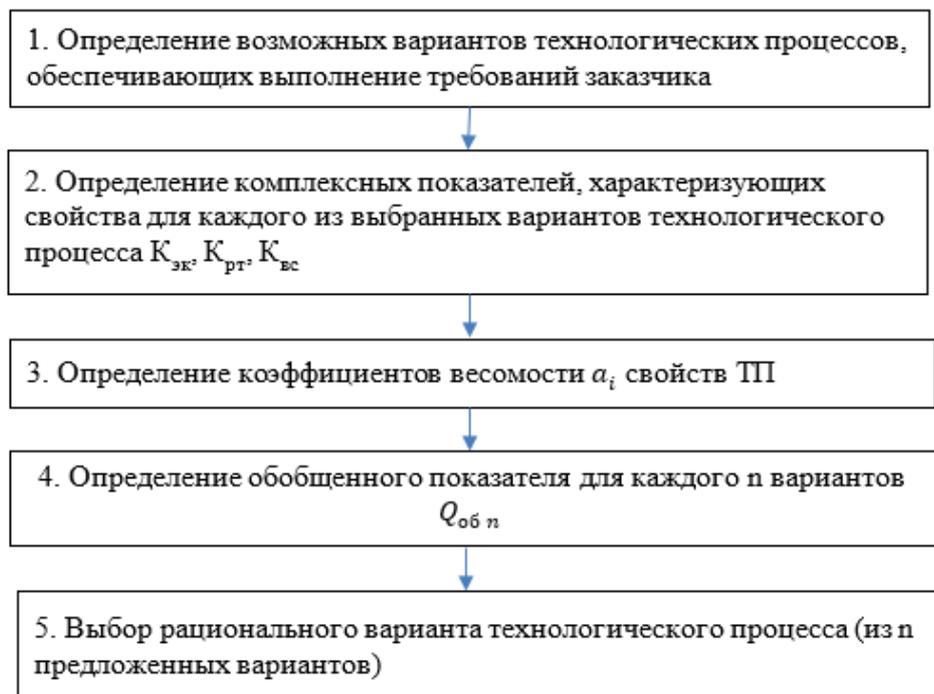
**Рис. 2.** Взаимосвязь качества продукции и показателей качества технологического процесса

Существующие подходы к проектированию технологических процессов достаточно подробно изложены в научной литературе. Однако применение гибридных производственных стратегий для предоставления более качественной продукции привело к необходимости разработки новых подходов при построении многоуровневой системы производства [9]. Для оценки качества технологического процесса необходимо определить набор свойств, по которым может быть проведена оценка его уровня качества, выраженная в количественном значении, пригодном для сравнения и анализа. Из набора свойств целесообразно выделить только те свойства, которые являются принципиальными с точки зрения удовлетворения нужд потребителя в качестве продукции. Выбор оптимального варианта технологического процесса на основе укрупнённых экономических расчетов рассматривается в работе [10]. В данном контексте не рассматривается временной аспект, а также тот фактор, каким образом наиболее экономически оптимальный вариант технологического процесса повлияет на качество продукции. Альтернативный подход к планированию организации технологического

процесса затронут в работе [11], учитывающий конструктивные, производственные, технологические факторы при проектировании. В работе [12] предложено использовать индекс качества технологического процесса, основанный на статистической оценке его стабильности. В работе [13] предложено использовать безразмерный обобщенный показатель, учитывающий свойства технологического процесса и в дальнейшем проводить оценку по методу Харрингтона. Авторами в [14] предложено оценивать технологический процесс по принципу расчета технологической себестоимости. В дополнение к свойствам, выделенным в вышеуказанных работах, необходимо добавить свойство, которое учитывает особенность позаказного производства – неопределённость в продолжительности временных перерывах между заказами. Выбор методики количественной оценки показателей качества технологического процесса зависит от их физической сущности [15]. Таким образом, оценку следует проводить, на основе анализа и сравнения степени проявления следующих свойств технологического процесса:

- экономичности (для оценки затрат на технологический процесс)
- результативности (для оценки способности технологического процесса обеспечивать уровень качества продукции)
- воспроизводимости (для оценки способности выпускать продукцию по разработанному технологическому процессу при перерывах между заказами).

В общем случае, выбор рационального варианта технологического процесса можно провести по алгоритму, представленному на рис. 3.



**Рис. 3.** Алгоритм выбора варианта технологического процесса

Для расчета обобщенного показателя  $Q_{об\ n}$  рационального варианта технологического процесса необходимо воспользоваться формулами квалиметрии [16].

Обобщенный показатель рационального варианта технологического процесса рассчитывается по формуле

$$Q_{об\ n} = K_{вс\ n} \cdot a_1 + K_{рт\ n} \cdot a_2 + K_{эк\ n} \cdot a_3, \quad (1)$$

где  $K_{вс}$  - комплексный показатель воспроизводимости;

$K_{рт}$  - комплексный показатель результативности;

$K_{эк\ n}$  - комплексный показатель экономичности;

$a_1, a_2, a_3$  - соответствующие коэффициенты весомости;

$n$  - вариант технологического процесса.

Расчет абсолютной величины комплексного показателя воспроизводимости определяют по формуле взвешенного арифметического значения

$$K_{вс} = \sum_{j=1}^N a_j P_j, \quad (2)$$

где  $P_j$  - значения единичного показателя, характеризующие воспроизводимость технологического процесса;

$N$  - количество учитываемых показателей воспроизводимости;

$a_j$  - коэффициент весомости соответствующих показателей;

$j = 1 \dots 4$ .

Воспроизводимость процесса оценивается через  $P_1$  - показатель использования оборудования,  $P_2$  - показатель подготовки персонала,  $P_3$  - показатель проработанности документации,  $P_4$  - показатель использования материала и комплектующих.

Коэффициенты весомости

$$a_1 + a_2 + a_3 = 1,0 \quad (3)$$

Расчет абсолютной величины комплексного показателя, характеризующего рассматриваемый технологический процесс с точки зрения результативности, вычисляют дифференциальным методом квалиметрии как среднее арифметическое значение показателей

$$K_{рт} = \frac{\sum_{j=1}^N K_j}{N}, \quad (4)$$

где  $K_j$  - значения единичного показателя, характеризующие

результативность технологического процесса;

$N$  - количество учитываемых показателей.

Процесс можно считать результативным, если обеспечивается его точность, стабильность и настроенность. Для оценки необходимо определить показатели: коэффициенты точности  $K_T$ , стабильности  $K_C$  и воспроизводимости (как статистической характеристики)  $K_B$

$$K_T = \frac{6S}{T} \quad (5)$$

где  $S$  - выборочное среднее квадратическое отклонения параметра технологического процесса;  
 $T$  – поле допуска параметра,

$$K_C = \frac{S_{t1}}{S_{t2}} \quad (6)$$

где  $S_{t1}$  - выборочное среднее квадратическое отклонение параметра процесса в фиксированный момент времени  $t_1$ ;  
 $S_{t2}$  - выборочное среднее квадратическое отклонение параметра процесса в сравниваемый фиксированный момент времени  $t_2$ .

$$K_B = C_{pk} = \min [PPU; PPL] \quad (7)$$

$$PPU = \frac{UTL - \bar{x}}{3s} \quad (8)$$

$$PPL = \frac{\bar{x} - LTL}{3s} \quad (9)$$

где  $UTL$  - верхняя граница допуска параметра;  
 $LTL$ - нижняя граница поля допуска параметра;  
 $\bar{x}$ - среднее значение параметра;  
 $s$ – выборочное среднее квадратическое отклонение параметра.

Расчет величины комплексного показателя экономичности рассчитывается как сумма технологических трудозатрат и затрат на отходы материала

$$T_{\text{тп}} = \sum_{i=1}^n T_{zi} * t_i \quad (10)$$

где  $T_z$  – зарплата сотрудника, выполняющего  $i$ ю операцию;  
 $t_i$ - время на выполнение  $i$ ой операции ТП;  
 $n$  – количество операций ТП.

Показатель отходов материала представляет собой затраты на отходы материала при производстве по данному технологическому процессу

$$O_{\text{тп}} = \left(1 - \frac{m_{\text{дет}}}{m_3}\right) \times Q_3 \quad (11)$$

где  $m_{\text{дет}}$  – масса готовой детали,  
 $m_3$  – масса заготовки для изготовления детали,  
 $Q_3$  – стоимость заготовки.

## **Обсуждение**

Значение воспроизводимости необходимо интерпретировать таким образом, чтобы понимать, что при разрыве между заказами возможно использование данного технологического процесса без необходимости проведения технологической подготовки производства. Чем выше значение воспроизводимости, тем выше вероятность использовать процесс без внесения корректировок и дополнительных затрат.

Значение экономичности отражает уровень затрат на реализацию рассматриваемого технологического процесса. Наилучшим вариантом с точки зрения затрат окажется вариант с минимальной величиной технологической себестоимости.

Значение результативности отражает тот факт, что насколько выбранный технологический процесс сможет обеспечить заданный уровень качества продукции. Нормированное значение результативности выражается, исходя из нормативных значений стабильности, точности, воспроизводимости (как статистической характеристики).

Анализ степени проявления выше приведенных свойств технологического процесса по выбранным показателям позволит оценить его способность к выпуску продукции заданного уровня качества. С помощью предложенной модели оценки возможно сравнивать разработанные технологические процессы и использовать полученные результаты для принятия решений о проведении технологической подготовки производства перед выполнением каждого очередного заказа.

## **Заключение**

Для обеспечения непрерывного улучшения качества продукции необходимо постоянно анализировать и обеспечивать степень проявления свойств, отражающих качество технологического процесса изготовления данной продукции на требуемом уровне.

С учетом условий, которые возникли при позаказном производстве, следует учитывать факторы ограничений по времени выполнения заказа: времени на разработку, времени на проектирование и отработку технологического процесса, а также продолжительности времени между очередными заказами.

В связи с тем, что заказчик ожидает, что производитель выполнит заказ в максимально короткий срок, целесообразно использовать существующие технологические процессы, но при этом выбирать наиболее рациональные варианты, позволяющие выполнить требования заказчика с минимальными потерями для производителя.

Позаказное производство потребовало изменить подходы к оценке технологических процессов и разработать модели, которые учитывают

способность процесса к воспроизводимости через случайные интервалы времени между заказами. В дальнейшем необходимо обосновать критерии, которые позволят осуществлять выбор наиболее рационального варианта технологического процесса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Maganga, D.P. and Taifa, I.W.R. (2023), "Quality 4.0 transition framework for Tanzanian manufacturing industries", *The TQM Journal*, Vol. 35 No. 6, pp. 1417-1448. <https://doi.org/10.1108/TQM-01-2022-0036>
- [2] Liu, H.C., Liu, R., Gu, X. et al. From total quality management to Quality 4.0: A systematic literature review and future research agenda. *Front. Eng. Manag.* 10, 191–205 (2023). <https://doi.org/10.1007/s42524-022-0243-z>
- [3] Chiarini, A., & Kumar, M. (2021). Lean Six Sigma and Industry 4.0 integration for Operational Excellence: evidence from Italian manufacturing companies. *Production Planning & Control*, 32(13), 1084–1101. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1784485>
- [4] Shi, J. In-process quality improvement: Concepts, methodologies, and applications. *IIE Transactions*, 2023, 55(1), 2–21. <https://doi.org/10.1080/24725854.2022.2059725>
- [5] John V. Gray, Sean M. Handley. Managing contract manufacturer quality in the presence of performance ambiguity. // *Journal of Operations Management*. – Volume 38. – 2015. – pp. 41-55
- [6] Косова В.А. К вопросу анализа разработки технологических процессов машиностроительных предприятий / Косова В.А., Гасюк Д.П. // *Известия ТулГУ. Технические науки*. – 2021. – №2 – С. 655-658.
- [7] Гасюк, Д.П. Проблема выбора оптимального варианта технологического процесса изготовления продукции машиностроения в современных условиях / Д.П. Гасюк, В.А. Косова. - // *Текст : электронный // Современное машиностроение: Наука и образование: материалы 11-й Международной научной конференции / Под ред. А.Н. Евграфова и А.А. Поповича. - СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. - ISSN 2223-0807. - С. 341-355.*
- [8] Гасюк Д.П. Методика оценки воспроизводимости технологических процессов в условиях позаказного производства/ Д.П. Гасюк, В.А. Косова. // *Перспективные машиностроительные технологии. Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. - СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023 - С. 61-67*
- [9] Elaheh Ghasemi, Nadia Lehoux, Mikael Rönnqvist. A multi-level production-inventory-distribution system under mixed make to stock, make to order, and vendor managed inventory strategies: An application in the

- pulp and paper industry // International Journal of Production Economics. – Volume 271. – 2024. – pp. 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2024.109201>
- [10] Петрушин С.И. Выбор оптимальной технологии изготовления изделий машиностроения [Текст]: монография / С. И. Петрушин ; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования "Нац. исслед. Томский политехнический ун-т", Юргинский технологический ин-т. - Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2013. - 181 с.
- [11] Рахмилевич Е.Г. Выбор рациональных методов получения заготовки при моделировании конструкторско-технологических вариантов изготовления детали // Технические науки – от теории к практике, 2012, с. 62-67
- [12] Макарова Л.В., Тарасов Р.В., Тарасов Д.В., Петрина О.Ф. Методический подход к обеспечению стабильности и качества технологических процессов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова, 2015, №1 с.120-123
- [13] Кравченко Е.Г., Забарина Т. Ю., Степанов А.А. Методика оценки качества технологических процессов //Современные материалы, техника и технологии, 2016, №1, с. 118-121
- [14] Борисов В.М., Борисов С.В. Оценка качества технологических процессов сборки компрессоров // Вестник Казанского технологического университета, 2014, Т.17. - №1, с. 252-253
- [15] Л.В. Лапшова, Е.В. Плахотникова. Сравнение методик оценки качества технологических процессов изготовления деталей в машиностроении // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2021. – №10 – С. 484-489. DOI: 10.24412/2071-6168-2021-10-484-490
- [16] Зимин Е.М., Мартишкин В.В. Определение качества технологий с учетом основных производственно-организационных мероприятий. // Омский научный вестник – 2020 - №6(174) – с.22-26. pp. 22-26. DOI:10.25206/1813-8225-2020-174-22-26

D.P. Gasyuk, V.A. Kosova

## **A METHODOLOGY OF SELECTING THE RATIONAL TYPE OF MECHANICAL ENGINEERING PROCESS UNDER CONDITIONS OF MAKE-TO-ORDER PRODUCTION**

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Russia

### **Abstract**

The article deals with the factors that influence the quality of the

mechanical engineering process under conditions of make-to-order production. The authors analyze the existing approaches to the engineering processes quality assessment that is normally undertaken at the launch of the production process. The results show that it is necessary to account for some extra factors impacting the engineering process quality. Based on the analysis carried out a methodology is proposed that may help to select a rational type of the engineering process, which will be able to ensure the desired level of the produce quality.

*Key words:* quality of business process, machine-building company, make-to-order production, customer satisfaction

## REFERENCES

- [1] Maganga, D.P. and Taifa, I.W.R. (2023), "Quality 4.0 transition framework for Tanzanian manufacturing industries", *The TQM Journal*, Vol. 35 No. 6, pp. 1417-1448. <https://doi.org/10.1108/TQM-01-2022-0036>
- [2] Liu, HC., Liu, R., Gu, X. et al. From total quality management to Quality 4.0: A systematic literature review and future research agenda. *Front. Eng. Manag.* 10, 191–205 (2023). <https://doi.org/10.1007/s42524-022-0243-z>
- [3] Chiarini, A., & Kumar, M. (2021). Lean Six Sigma and Industry 4.0 integration for Operational Excellence: evidence from Italian manufacturing companies. *Production Planning & Control*, 32(13), 1084–1101. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1784485>
- [4] Shi, J. In-process quality improvement: Concepts, methodologies, and applications. *IISE Transactions*, 2023, 55(1), 2–21. <https://doi.org/10.1080/24725854.2022.2059725>
- [5] John V. Gray, Sean M. Handley. Managing contract manufacturer quality in the presence of performance ambiguity. // *Journal of Operations Management*. – Volume 38. – 2015. – pp. 41-55
- [6] V.A. Kosova, D.P.Gasyuk. Revising analyses of conditions of technological processes development at machine-building plants // *News of TulSU. Technical sciences* . 2021. NO.2. pp. 655-658.
- [7] Gasyuk D.P. The choice problem of the optimal variant of the production process of engineering products in the modern conditions. / V.A. Kosova, D. P.Gasyuk. // *Modern mechanical engineering. Science and Education*, 2022. - ISSN 2223-0807. - pp. 341-355.
- [8] Gasyuk D.P. A methodology of assessing the engineering process repeatability under conditions of make-to-order production/ Д.П. Гасюк, В.А. Косова. // *Promising engineering technologies. Collection of scientific papers of the International Scientific and Practical Conference*. - St. Petersburg: POLYTECH PRESS, 2023 - pp. 61-67 machine-building technologies. Collection of scientific papers of the International Scientific

- and Practical Conference. - St. Petersburg: POLYTECH PRESS, 2023 - pp. 61-67
- [9] Elaheh Ghasemi, Nadia Lehoux, Mikael Rönnqvist. A multi-level production-inventory-distribution system under mixed make to stock, make to order, and vendor managed inventory strategies: An application in the pulp and paper industry // International Journal of Production Economics. – Volume 271. – 2024. – pp. 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2024.109201>
- [10] Petrushin S.I. Choosing the optimal technology for manufacturing machine-building products [Text] : monograph / S. I. Petrushin ; Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education. education "National research. Tomsk Polytechnic University", Yurginsky Institute of Technology Tomsk : Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2013. - 181 p.
- [11] Rakhmievich E. Rational choice of methods for producing blanks in modeling design-manufacturing technology options details. // Technical sciences – from theory to practice. – 2012. - pp. 62-67.
- [12] Makarova L.V., Tarasov R.V., Tarasov D.V., Petrina O.F. Methodological approach to ensuring the stability and quality of technological processes // Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov. - 2015. - №1. - pp. 120-123.
- [13] Kravchenko E.G., Zabarina T. U., Stepanov A. A. Quality assessment technique technological processes // Modern materials equipment and technologies, 2016, №1, pp. 118-121
- [14] Borisov V.M., Borisov S.V. The organizational mold assembly compressors // Herald of Technological University, 2014, T.17. - №1, pp. 252-253
- [15] L.V. Lapshova, E.V. Plakhotnikova Comparison of methods for assessing the quality of technological processes for manufacturing parts in mechanical engineering // News of TulsU. Technical sciences – 2021. – №10 – pp. 484-489. DOI: 10.24412/2071-6168-2021-10-484-490
- [16] Zimin E.M., Martishkin V.V. Determining quality of technologies taking into account main production and organizational measures // Omsk Scientific Bulletin– 2020 - №6(174) – c.22-26. pp. 22-26. DOI:10.25206/1813-8225-2020-174-22-26