

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

© 2019

*А.С. Ершова*, магистрант*Е.В. Фомин*, кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой технологии металлов и машиностроения*Институт судостроения и морской арктической техники (Севмашвтуз) Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, Северодвинск (Россия)*

**Ключевые слова:** машиностроительное предприятие; конструкторско-технологическая подготовка производства; оценка эффективности; метод радара.

**Аннотация:** В настоящее время исследованиям эффективности машиностроительного предприятия отводится очень важная роль. Снижение себестоимости и повышение конкурентоспособности продукции может быть достигнуто за счет сокращения цикла конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП). Эффективность предприятия зависит от уровня подготовки каждого этапа производства. Эффективность отдельных этапов производства зачастую не оценивается, что, по мнению авторов статьи, является упущением.

Для устранения этого недостатка была разработана методика оценки эффективности КТПП, которая позволяет провести исследование ее отдельных этапов и выявить параметры, нуждающиеся в доработке. Методика содержит экспертную оценку исследуемого объекта по разработанным критериям, объединение полученных параметров в единый показатель и построение радара. Анализ полученных результатов позволяет определить направления повышения эффективности КТПП и разработать мероприятия для устранения выявленных проблем.

Представленная в статье методика была реализована для оценки эффективности КТПП производственного участка механического цеха машиностроительного предприятия. В результате исследований было выявлено, что в первую очередь на рассматриваемом участке необходимо ускорить документооборот между инженерными службами, участвующими в КТПП, и повысить производительность труда инженеров. Для устранения данных проблем было предложено комплексное решение, которое позволит внедрить электронный документооборот и повысить степень автоматизации работ инженерных служб.

Внедрение PDM-системы в первую очередь упрощает передачу данных между отделами предприятия и доступ к информации, необходимой для работы в разных программных системах. Кроме этого, использование PDM-систем улучшает взаимодействие подразделений, уменьшает бумажный документооборот, повышает эффективность управления.

### ВВЕДЕНИЕ

В условиях рыночной экономики для получения прибыли всем машиностроительным предприятиям необходимо увеличивать конкурентоспособность, в том числе за счет сокращения цикла конструкторско-технологической подготовки производства (далее – КТПП). Однако подобное сокращение затрагивает такой важный показатель, как эффективность КТПП [1–3]. При сокращении цикла КТПП возможно как повышение, так и снижение эффективности подготовки производства. Поэтому исследование влияния отдельных этапов подготовки производства на общую эффективность является одной из приоритетных задач при выборе способов сокращения цикла КТПП [4; 5].

Подготовка к проведению исследований включает анализ различных методик оценки эффективности [6–8]. Результаты данного анализа представлены в таблице 1. По результатам анализа можно сделать вывод, что наиболее подходящей методикой оценки эффективности КТПП является оценка по параметрам (критериям), так как она универсальна, позволяет выделить критерии в зависимости от оцениваемого процесса и получить единый показатель для оценки, что облегчает сравнение с другими процессами. Имеющаяся методика используется в качестве основы для разработки собственной, поскольку оценка по параметрам (критериям) носит общий характер, требует разработки критериев, выбора методов объединения значений показателей и оценки результатов.

Цель исследования – выявление основных проблем и нахождение их решений для повышения эффективности и сокращения цикла КТПП.

### МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для оценки эффективности КТПП была разработана методика оценки по критериям. Данная методика содержит следующие этапы:

- 1) постановка цели исследования и выбор объекта исследования;
- 2) экспертная оценка параметров КТПП выбранного объекта исследования;
- 3) обработка результатов;
- 4) оценка полученных результатов.

Оценка эффективности должна производиться либо с целью выявления критических проблем и определения направлений их устранения, либо с целью сравнения эффективности КТПП выбранного объекта с аналогами и определения направлений дальнейшего развития. Объектом оценки является КТПП производственного участка механического цеха на машиностроительном предприятии.

Экспертная оценка параметров КТПП дается на основании анализа экспертами проблемы с количественной оценкой суждений и обработкой их результатов [9]. Общая схема проведения экспертных оценок включает в себя [10; 11]: подбор экспертов и формирование экспертных групп; формирование вопросов и выбор формы

Таблица 1. Анализ методик оценки эффективности

Наименование	Описание	Преимущества	Недостатки
Оценка по параметрам (критериям)	Позволяет оценить эффективность товара, услуги или процесса по выбранным параметрами (критериям), объединить их значения в один интегральный показатель, сравнить его с аналогами	1. Выбор параметров (критериев) производится в зависимости от оцениваемого товара, услуги или процесса. 2. Методика универсальна, т. е. может применяться в различных отраслях для разнородных товаров, услуг или процессов	1. Большое число показателей снижает способность восприятия информации и затрудняет процесс принятия решений. 2. Необходимо преобразование многокритериальной задачи в однокритериальную
Методика оценки деятельности подразделений с помощью КРП	Позволяет количественно измерить показатели эффективности конкретных подразделений. Базируется на методологии «управление по целям» П. Друкера	1. Позволяет выявить достоинства и недостатки в работе организации. 2. Предоставляет широкий выбор методов оценок (расчет показателей, опросы, тесты, профили достижений)	1. Ориентирована на оценку эффективности деятельности персонала. 2. В качестве ключевых показателей чаще всего выступают финансово-экономические
Бенчмаркинг (методика межфирменного сравнения)	Позволяет измерить характеристики продукции, услуг или методов работы (в том числе эффективности) для сравнения с сильнейшими конкурентами и лидирующими в отрасли компаниями	1. Сравнивает не только финансовые данные, но и процессы проектирования и изготовления продукции. 2. Оценка производится одновременно внутренними специалистами и потребителями	1. Результаты представлены чаще на уровне словесных описаний, чем в цифрах. 2. Необходимо искать характеристики продукции, услуг или методов работы конкурентов

опроса; работу с экспертами; анализ и обработку экспертных оценок. Для экспертной оценки сначала необходимо выбрать и сформировать группы экспертов. Подбор количественного и качественного состава экспертов производится на основе анализа широты проблемы, требуемой достоверности оценок, характеристик экспертов и затрат ресурсов [12; 13]. Для получения достоверной оценки эффективности необходимо проводить экспертную оценку как изнутри (внутренними специалистами), так и снаружи (потребителями). Поэтому в качестве экспертов для оценки эффективности КТПП должны выступать инженеры (конструкторы, технологи), закрепленные за номенклатурой рассматриваемого производственного участка, и работники этого же производственного участка (мастера, старший мастер). Оптимальным считается число экспертов от 7 до 20 человек.

Наиболее удобной формой проведения опроса при оценке эффективности КТПП является анкетирование. В анкете эксперту необходимо проставить баллы от 0 до 10 по каждому оцениваемому критерию. На основе анализа источников [14–16] были разработаны критерии, позволяющие оценить эффективность КТПП.

К1 – Степень документированности проекта. Оценивается количество формируемых проектных документов.

К2 – Степень полноты информации. Оценивается достаточность, достоверность и актуальность информации, содержащейся в проектной документации.

К3 – Качество проектной документации. Оценивается степень соответствия содержания, объемов и формы представления проектных документов требованиям действующих нормативов.

К4 – Степень профилактики брака на стадии КТПП. Оцениваются меры, принятые на этапах КТПП, по предотвращению брака в процессе изготовления, т. е. оцен-

ка новых разработок с точки зрения вероятности появления брака, проведение технического контроля всей документации и т. д.

К5 – Технологичность сырья, материалов и комплектующих. Оценивается технологичность сырья и материалов, применяемых при проектировании изделия, и ее влияние на процессы изготовления изделия, т. е. степень соответствия сырья и материалов назначению изделия, соответствие конструкции изделия технологическим свойствам материалов, обеспечение материалами высоких режимов резания при изготовлении и т. д.

К6 – Технологичность конструкции изделия. Оценивается технологичность конструкции изделия и ее влияние на процессы его изготовления, т. е. степень соответствия требуемой точности и качества изделия методам обработки, возможности изготовления и контроля на оборудовании предприятия, возможности изготовления и контроля с помощью универсальной оснастки и инструментов и т. д.

К7 – Универсальность технологических процессов и средств технологического оснащения. Оценивается степень применения типовых методов достижения требуемого качества изделия, степень применения групповых и типовых технологических процессов, степень соответствия затрат труда и издержек производства затратам времени, а также применение стандартизованной и универсальной оснастки и инструментов.

К8 – Управление процессами КТПП. Оценивается качество планирования процессов КТПП на предприятии и действия руководителя при срыве сроков или возникновении внешних факторов.

К9 – Автоматизация этапов КТПП. Оценивается уровень автоматизации основных этапов КТПП, а также влияние автоматизации на сокращение сроков выполнения работ и повышение качества труда инженеров.

K10 – Взаимодействие инженерных служб КТПП. Оценивается процесс передачи информации между инженерными подразделениями и ее хранение.

K11 – Производительность труда инженеров. Оценивается плодотворность, продуктивность производственной деятельности инженеров, а также влияние их труда на сроки производственного цикла.

K12 – Оптимизация производственной структуры. Оценивается оптимальное распараллеливание работ при КТПП для достижения максимальной производительности.

Перед началом обработки экспертных оценок необходимо установить степень согласованности мнений экспертов, так как она влияет на точность результатов оценки эффективности. При низкой согласованности мнений экспертов следует повторить экспертный опрос.

При использовании системы баллов оценка степени согласованности экспертов производится с помощью коэффициента вариации, который характеризует относительную степень разброса мнений экспертов по отношению к среднему значению коллективной оценки [17]. Степень согласованности мнений экспертов считается удовлетворительной, если коэффициент вариации не превышает значения 0,30, и хорошей, когда коэффициент вариации не более 0,20.

Обработка экспертных оценок заключается в преобразовании множества полученных значений критериев в один интегральный показатель. Наиболее простым и наглядным является графический метод радара [18–20]. Этот метод позволяет визуально увидеть те критерии, в направлении которых необходимо вести работу для повышения эффективности КТПП. Но его недостатком является отсутствие возможности определить значимость показателей для объекта исследования, т. е. не учитывается весомость показателей. Для устранения данного недостатка при формировании графика используется коэффициент весомости.

Интегральный показатель при применении метода радара определяется как отношение площади радара к общей площади оценочного круга. По результатам анализа полученного радара можно сделать вывод о том, какие критерии необходимо улучшать в первую очередь, а по интегральному показателю можно определить уровень эффективности КТПП исследуемого объекта по сравнению с аналогами.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

По разработанной методике была произведена оценка эффективности КТПП производственного участка главного механического цеха на машиностроительном предприятии. Целью проведения исследования стало выявление основных проблем и определение их решений для возможности повышения эффективности и сокращения цикла КТПП.

Были сформированы три экспертные группы: 1) конструкторы проектно-конструкторского бюро (3 чел.); 2) технологи научно-технологического отдела (3 чел.); 3) представители производственного участка (5 чел.).

В каждой группе проведено анкетирование по разработанным критериям и получены экспертные оценки (таблица 2).

Обработка результатов проводилась в следующей последовательности: 1) определение согласованности экспертных мнений; 2) расчет среднего балла по каждому критерию; 3) определение среднего балла с учетом весового коэффициента по каждому критерию; 4) построение радара; 5) нахождение площадей радаров и оценочного круга; 6) расчет интегрального коэффициента.

Все расчеты проводились с помощью MS Excel. Полученный коэффициент вариации  $V=0,16$  соответствует хорошей степени согласованности экспертов. Расчетный интегральный коэффициент составляет  $K_3=0,63$ . Результаты остальных расчетов представлены в таблице 2. Полученный радар показан на рис. 1.

Таблица 2. Результаты оценки эффективности КТПП

Критерий	Балльные оценки экспертов											Средний балл	Коэффициент весомости	Балл с учетом коэффициента весомости
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
K1	7	8	9	5	10	9	10	8	5	8	5	7,64	0,07	0,57
K2	5	8	9	5	10	7	10	8	3	7	5	7,00	0,08	0,57
K3	6	8	10	6	7	8	10	7	3	7	5	7,00	0,07	0,52
K4	8	8	8	0	5	4	9	7	8	6	6	6,27	0,09	0,58
K5	6	5	7	8	5	7	8	9	8	8	8	7,18	0,10	0,69
K6	7	5	7	5	8	8	7	8	8	7	8	7,09	0,08	0,58
K7	5	5	5	8	5	3	8	9	9	7	6	6,36	0,10	0,61
K8	5	5	8	0	7	5	7	9	7	8	6	6,09	0,10	0,61
K9	5	4	8	9	7	1	7	8	5	8	7	6,27	0,09	0,54
K10	5	5	8	4	7	7	8	10	7	7	9	7,00	0,06	0,42
K11	6	8	7	5	7	3	8	7	9	7	6	6,64	0,07	0,47
K12	5	8	6	1	7	5	7	9	9	7	3	6,09	0,09	0,52
Сумма	70	77	92	56	85	67	99	99	81	87	74		1,00	

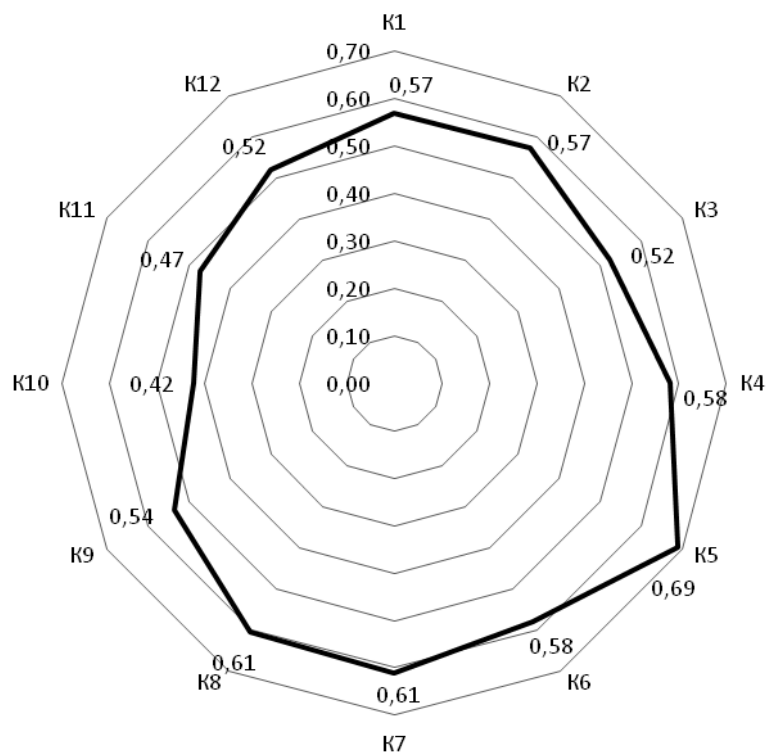


Рис. 1. Радар оценки эффективности КТПП на машиностроительном предприятии

## ВЫВОДЫ

Проведя анализ полученного радара (рис. 1), можно сделать вывод о том, что в первую очередь на рассматриваемом производственном участке необходимо:

- 1) ускорить взаимодействие инженерных служб КТПП и упростить поиск информации (K10=0,42);
- 2) повысить производительность труда инженеров (K11=0,47).

Также следует обратить внимание на повышение качества проектной документации, повышение автоматизации этапов КТПП и увеличение параллельно выполняемых работ при КТПП.

Данные проблемы можно уменьшить или вообще устранить за счет внедрения автоматизированных систем управления данными, а именно PDM-систем (англ. *Product Data Management* – система управления данными об изделии), что приведет к повышению эффективности КТПП.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Головина Л.Н. Системный подход к организации конструкторско-технологической подготовки машиностроителей // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 1-2. С. 693–696.
2. Денисов А.Р., Левин М.Г. Система поддержки принятия решений по повышению эффективности конструкторско-технологической подготовки производства // Информатика и системы управления. 2008. № 4. С. 72–79.
3. Маликов С.Б., Юрин В.Н. Оценка технических рисков организации параллельного выполнения работ опытного производства // Металлообработка. 2011. № 6. С. 33–37.
4. Андреев Л., Андреева С. Проблемы внедрения и результативность проектов автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства // САПР и графика. 2010. № 7. С. 88–91.
5. Судов Е.В. Интегрированная информационная поддержка жизненного цикла машиностроительной продукции. Принципы. Технологии. Методы. Модели. М.: МВМ, 2003. 264 с.
6. Кузнецов Д.О. Методы оценки качества автомобилей с точки зрения потребителей // Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки. 2009. № 6. С. 67–70.
7. Руденко Л.Г., Дегтярь Н.П. Сущность КРІ и его роль в управлении предприятием // Вестник Московского университета имени С.Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. 2017. № 2. С. 50–54.
8. Меркушева Н.И., Старун А.В. Бенчмаркинг: практика использования на российских предприятиях и проблемы применения // Молодой ученый. 2014. № 15. С. 185–187.
9. Прохоров Ю.К., Фролов В.В. Управленческие решения. СПб.: ИМТО, 2011. 138 с.
10. Кузнецова О.В., Павлова А.Н. Инструментальные методы анализа рисков при принятии управленческих решений. Архангельск: ИПЦ С(А)ФУ, 2018. 145 с.
11. Юрин В.Н., Маликов С.Б. Пути сокращения затрат времени при конструкторско-технологической подготовке производства // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2011. № 7. С. 75–77.
12. Евланов Л.Г., Кутузов В.А. Экспертные оценки в управлении. М.: Экономика, 1978. 133 с.
13. Уолш К. Ключевые показатели менеджмента. М.: Дело, 2001. 357 с.

14. Толстых Т.О., Дударева О.В. Критерии и методы оценки эффективности деятельности предприятия // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т. 7. № 11-3. С. 98–102.
15. Лиференко Г.Н., Скриголовский А.А. Методика оценки эффективности деятельности предприятия. Выявления возможных рисков // Имущественные отношения в Российской Федерации. 2005. № 12. С. 58–73.
16. Денисов А.Р., Левин М.Г. Подходы к организации конструкторско-технологической подготовки производства // Проблемы теории и практики управления. 2008. № 7. С. 52–62.
17. Айкожаев Н.М., Шестопалова О.Л. Оценка степени согласованности мнений экспертов // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: научный электронный журнал. 2017. № 3. С. 58–64.
18. Фасхиев Х.А., Крахмалева А.В. Оценка качества и конкурентоспособности автомобиля // Вестник машиностроения. 2008. № 7. С. 78–85.
19. Шитов В.Н., Цимбалист О.М. Комплексный подход к анализу конкурентоспособности предприятия // Экономический анализ: теория и практика. 2014. № 13. С. 59–63.
20. Беляевская-Плотник Л.А., Загрядская Е.С. Формирование антикризисной стратегии банка на основании метода радара // Вестник ИЭАУ. 2016. № 11. С. 20–28.
7. Rudenko L.G., Degtyar N.P. The essence of KPI and its role in the management of the enterprise. *Vestnik Moskovskogo universiteta imeni S.Yu. Vitte. Seriya 1: Ekonomika i upravlenie*, 2017, no. 2, pp. 50–54.
8. Merkusheva N.I., Starun A.V. Benchmarking: the current practice in Russian enterprises and problems of application. *Molodoy uchenyy*, 2014, no. 15, pp. 185–187.
9. Prokhorov Yu.K., Frolov V.V. *Upravlencheskie resheniya* [Management decisions]. Sankt Petersburg, IMTO Publ., 2011. 138 p.
10. Kuznetsova O.V., Pavlova A.N. *Instrumentalnye metody analiza riskov pri prinyatii upravlencheskikh resheniy* [The instrumental methods of risk analysis when making managerial decisions]. Arkhangelsk, IPTs S(A)AU Publ., 2018. 145 p.
11. Yurin V.N., Malikov S.B. Ways to reduce time for design and technological preparation of manufacture. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroyeniye*, 2011, no. 7, pp. 75–77.
12. Evlanov L.G., Kutuzov V.A. *Ekspertnye otsenki v upravlenii* [Expert estimates in management]. Moscow, Ekonomika Publ., 1978. 133 p.
13. Uolsh K. *Klyuchevye pokazateli menedzhmenta* [Key management indicators]. Moscow, Delo Publ., 2001. 357 p.
14. Tolstykh T.O., Dudareva O.V. Methods of evaluation criteria and performance enterprise. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2011, vol. 7, no. 11-3, pp. 98–102.
15. Liferenko G.N., Skrigolovskiy A.A. A technique to value the enterprise as a property complex on the basis of actuarial balance data. *Imushchestvennye otnosheniya v Rossiyskoy Federatsii*, 2005, no. 12, pp. 58–73.
16. Denisov A.R., Levin M.G. Approaches to Organizing Design and Engineering Production Run-up. *Problemy teorii i praktiki upravleniya*, 2008, no. 7, pp. 52–62.
17. Aykozhaev N.M., Shestopalova O.L. Assessment of degree of coherence of opinions of experts. *Nauchnoe soobshchestvo studentov XXI stoletiya. Tekhnicheskie nauki: nauchnyy elektronnyy zhurnal*, 2017, no. 2, pp. 58–64.
18. Faskhiev Kh.A., Krakhmaleva A.V. Estimation of the automobile's quality and competitiveness. *Vestnik mashinostroyeniya*, 2008, no. 7, pp. 78–85.
19. Shitov V.N., Tsimbalist O.M. A comprehensive approach to a company's competitive-capacity analysis. *Ekonomicheskyy analiz: teoriya i praktika*, 2014, no. 13, pp. 59–63.
20. Belyaevskaya-Plotnik L.A., Zagryadskaya E.S. The formation of anti-recessionary strategy of the bank on the bases of radar method. *Vestnik IEAU*, 2016, no. 11, pp. 20–28.

#### REFERENCES

1. Golovina L.N. The system approach to organization of designing and technological training of machine engineers. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2012, vol. 14, no. 1-2, pp. 693–696.
2. Denisov A.R., Levin M.G. Support system of decisions taking in increasing efficiency of design technological preparation of production. *Informatika i sistemy upravleniya*, 2008, no. 4, pp. 72–79.
3. Malikov S.B., Yurin V.N. Assessment of technical risks organization of the parallel performance of works of pilot production. *Metalloobrabotka*, 2011, no. 6, pp. 33–37.
4. Andreev L., Andreeva S. The problems of introduction and the efficiency of the projects of design-engineering preproduction automation. *SAPR i grafika*, 2010, no. 7, pp. 88–91.
5. Sudov E.V. *Integrirovannaya informatsionnaya podderzhka zhiznennogo tsikla mashinostroitelnoy produktsii. Printsipy. Tekhnologii. Metody. Modeli* [The integrated information support of life cycle of machine-building products. Principles. Technologies. Methods. Models]. Moscow, MVM Publ., 2003. 264 p.
6. Kuznetsov D.O. Methods of estimation of vehicles quality from the consumers' point of view. *Vestnik*

**THE ESTIMATION OF THE EFFICIENCY OF THE DESIGN-ENGINEERING PREPRODUCTION  
AT A MACHINE BUILDING ENTERPRISE**

© 2019

*A.S. Ershova*, graduate student

*E.V. Fomin*, PhD (Engineering), Associate Professor,

Head of Chair of Metal Technology and Mechanical Engineering

*Institute of Shipbuilding and Arctic Marine Engineering (Sevmashvtuz) of M.V. Lomonosov*

*Northern (Arctic) Federal University, Severodvinsk (Russia)*

*Keywords:* machine-building enterprise; design-engineering preproduction; efficiency estimation; radar method.

*Abstract:* Currently, the research on the efficiency of a machine-building enterprise plays a very important role. The cutting of production cost and the growth of competitiveness of production can be achieved through the reduction of design-engineering preproduction cycle. The efficiency of the whole enterprise depends on the level of preparation for each stage of production. The efficiency of separate stages of production is often not evaluated, what is, according to the authors, a deficiency.

To eliminate this defect, the authors developed the methodology for estimating the efficiency of design-engineering preproduction, which allows studying its separate stages and identifying the parameters to be improved. The methodology includes the expert assessment of the efficiency according to the developed criteria, the combining of the obtained parameters in a single index and the construction of radar. The analysis of the obtained results allows determining the directions for improving the efficiency of the design-engineering preproduction and developing measures to eliminate the identified problems.

The authors applied the methodology to estimate the efficiency of the design-engineering preproduction of a production center of engineering workshop of a machine-building enterprise. As a result of the research, the authors identified that principally it is necessary to accelerate the document flow between engineering services participating in design-engineering preproduction and to increase the labor productivity of engineers. To eliminate these problems, the authors proposed a comprehensive solution which will allow implementing the electronic document flow and advancing the engineering services' automation.

The introduction of the PDM-system facilitates data transmission between the departments of an enterprise and the access to the information necessary to work in various program systems. Moreover, the application of PDM-system enhances the interaction of the departments, reduces paperwork, and improves management efficiency.