

УДК 621.452.3.01:519.17

doi: 10.32620/aktt.2020.5.05

С. М. СТЕПАНЕНКО, Т. Н. СЕРЕДА, Ю. А. НАЗАРЕНКО

ГП «Ивченко-Прогресс», Запорожье, Украина

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВИАДВИГАТЕЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ГРАФОВ

Рассматривается роль оценки результативности процесса проектирования авиационных двигателей как составляющей части мониторинга, измерения и анализа этого процесса в общей системе менеджмента качества предприятия. Проанализирован общий подход к оценке и анализу результативности. Отмечается, что при анализе результативности должны определяться как интегральные показатели, так и производиться расчет по всем составляющим элементам показателей процесса. С целью выявления коренных причин получения неудовлетворительных показателей результативности, рассматривается каждый критерий детально, анализируя результаты участия каждого отдельного подразделения в процессе проектирования. Для анализа количественных показателей результативности процесса проектирования предлагается применять моделирование и анализ процессов с использованием направленных (ориентированных) и ненаправленных графов. Для проведения структурного анализа результатов предлагается граф представлять в форме матрицы смежности вершин. Рассмотрены примеры оценки результативности процессы проектирования по показателю «Количество конструкторских документов, разработанных за контрольное время (месяц)» и по показателю «Выполнение поставленных на контроль пунктов тематических планов, сроки выполнения которых переносились». В первом примере в направленном графе группа выходных вершин состоит из конструкторских подразделений, участвующих в проектировании, а группу входных вершин составляют проекты, по которым ведется проектирование. Ребрами графа выступают количества разработанной документации каждым подразделением по каждому проекту. Во втором примере связь выходных вершин графа, которыми являются конструкторские подразделения, с входной вершиной осуществляется через ребра, на которых задается количество пунктов тематических планов, сроки выполнения которых переносились. Описан процесс математической обработки данных, записанных в матрицы смежности вершин. Применение предложенной методики позволяет проводить анализ результатов производственной деятельности предприятия по каждому, отдельно взятому показателю анализируемого процесса.

Ключевые слова: результативность процесса; проектирование; авиационный двигатель; качество; ISO 9001:2015; граф; матрица смежности.

1. Мониторинг, измерение, анализ и оценка процессов системы менеджмента качества согласно международному стандарту ISO 9001:2015

Система менеджмента качества (СМК), которая построена на принципах процессного подхода, считается сегодня наиболее эффективной моделью для большинства предприятий различных отраслей промышленности. Согласно международному стандарту ISO 9001:2015 (национальным эквивалентом является стандарт ДСТУ ISO 9001:2015 [1]), процессный подход включает в себя систематическое определение и управление процессами и их взаимодействием таким образом, чтобы достигать намеченных результатов в соответствии с политикой предприятия в области качества и выбранным стратегическим направлением развития. Управление процессами и системой как единым целым должно

осуществляться совместно с особым вниманием к риск-ориентированному мышлению, для оптимального использования возможностей и предотвращения получения нежелательных результатов.

Для оценки результатов деятельности в рамках СМК, непосредственно связанной с процессом проектирования авиационных двигателей, предприятие должно определить: что должно подлежать мониторингу и измерениям; методы мониторинга, измерения, анализа и оценки, необходимые для обеспечения достоверных результатов; когда должны проводиться мониторинг и измерения; когда результаты мониторинга и измерений должны быть проанализированы и оценены. Предприятие должно постоянно оценивать результаты деятельности и результативность своей СМК; а также регистрировать и сохранять соответствующую документированную информацию как свидетельство полученных результатов.

Высшее руководство предприятия должно анализировать через запланированные интервалы времени свою СМК в целях обеспечения ее постоянной пригодности, адекватности, результативности и согласованности со стратегическим направлением развития.

2. Оценка и анализ результативности процессов СМК

Для проведения постоянного мониторинга результативности и эффективности процессов СМК предприятия, проектирующего авиационные двигатели, рассматриваются процессы: «планирование», «проектирование», «управление конфигурацией», «анализ рисков» и другие [2, 3]. Для каждого из этих процессов определяются характерные показатели деятельности и устанавливаются критерии для оценки их результативности. Для проведения количественной оценки, наиболее рациональным является выбор параметров из числа показателей деятельности, по которым на предприятии проводится постоянный мониторинг хода выполняемых работ. Такой подход не будет требовать дополнительной отчетности от руководителей и ведущих специалистов, организующих процесс проектирования.

Количественная оценка результативности является интегральным показателем для оценки СМК. В силу этого формирование такой оценки есть обязательной составляющей анализа, применяемого на предприятии к своей СМК. С другой стороны, для того, чтобы понять причины недостатков в функционировании СМК нужно проводить детальный анализ каждого из показателей, составляющих общую картину результативности.

В наиболее общем виде результативность процесса можно определить, как отношение фактически достигнутого результата по выбранному параметру к нормативному целевому показателю, который был установлен для данного параметра на анализируемый период. Таким образом, оценку результативности всего процесса целесообразно определять по формуле:

$$R = \sum_{i=1}^n \Pi_i \cdot k_i, \quad (1)$$

где R – результативность процесса;

Π_i – расчетное значение i -го показателя результативности, в процентах;

k_i – весовой коэффициент i -го показателя процесса.

В настоящей статье рассматривается подход, который может быть применен для анализа расчет-

ных значений каждого i -го показателя результативности.

Для предприятия, главной задачей которого является разработка новых типов авиационных двигателей, основным процессом в общей системе всех осуществляемых действий является процесс проектирования. Оценка результативности этого процесса играет важнейшую роль при анализе результативности всей СМК, который проводится на предприятии в целом. Количественными показателями процесса проектирования могут быть: «Количество конструкторских документов, разработанных за контрольное время (неделя, месяц)», «Выполнение пунктов тематических планов проектирования авиационных двигателей со сроком исполнения в отчетном месяце», «Выполнение поставленных на контроль пунктов тематических планов, сроки выполнения которых переносились», «Коэффициент качества выпускаемой конструкторской документации» и тому подобное. Рассчитанные по формулам, приведенным в [2], значения результативности по данным показателям дают руководству обобщенное представление об уровне результативности принимаемых управленческих решений, однако, не позволяют провести анализ с целью выявления коренных причин промахов и недоработок в управленческих действиях.

С целью выявления коренных причин получения неудовлетворительных показателей результативности, целесообразно рассматривать каждый критерий более детально, анализируя результаты участия каждого отдельного подразделения в процессе проектирования. Такой подход потребует более детального рассмотрения получаемых показателей и применения методов, позволяющих производить быстрый анализ больших массивов информации. В данном случае предлагается использование для этих целей элементов теории графов.

3. Моделирование процессов СМК с помощью графов

Применение для моделирования и анализа процессов СМК подхода, связанного с использованием направленных (ориентированных) и ненаправленных графов [4, 5], является весьма удобным и достаточно информационным для выявления коренных причин недостатков в анализе результативности принимаемых управленческих решений.

Теория графов, как и любая математическая теория, использует некоторую символику и понятия, которые применяются при проведении исследований. Центральным понятием теории графов является понятие графа, как некоторой схемы, состоящей из множества вершин (узлов) V , соединённых между собой множеством ребер E , между которыми имеет-

ся связь, то есть определено отношение так называемой инцидентности. Граф $G = (V, E)$ – это схематическое изображение рассматриваемого физического объекта. В зависимости от способа соединения вершин различаются направленные и ненаправленные графы. Для случая ненаправленного графа, каждая вершина имеет k связей по числу ребер, связанных с этой вершиной. Для направленного графа, связи вершины подразделяются на определенное число n истоков (выходов) и m стоков (входов) потоков, что и может быть использовано в анализе различных составляющих показателей процесса проектирования.

Рассматривая различные способы формализованного представления любой модели с помощью графа, можно отметить, что графический вид является наиболее наглядной формой представления, однако он не может быть использован для решения задач структурного анализа. Существенными достоинствами обладает другая форма представления, в которой граф задан и полностью определен с помощью совокупности матриц. Рассмотрение матриц, содержащих сведения о процессах СМК, позволяет получить богатый аналитический материал для принятия эффективных решений в менеджменте качества. В теории графов различают матрицу смежности вершин $M1(G)$, матрицу инцидентности $M2(G)$, матрицу смежности ребер $M3(G)$ [4, 5]. Матрица смежности графа – квадратная матрица A порядка n , где элемент a_{ij} равен числу ребер, соединяющих вершины i и j . Матрица инцидентности I – это матрица, у которой число строк равно числу вершин, число столбцов – числу ребер; $i_{ve} = 1$, если вершина v инцидентна ребру e ; в противном случае $i_{ve} = 0$.

Проанализируем с помощью графа такой показателем процесса проектирования как «Количество конструкторских документов, разработанных за контрольное время (например, за месяц)» подразделениями, участвовавшими в разрабатываемых в данный период проектах. Анализ результативности по этому показателю проведем на основе представления процесса в виде направленного графа. Группа выходных вершин графа будет состоять из конструкторских подразделений, участвующих в проектировании, а группу конечных вершин будут составлять проекты, по которым велось проектирование. Ребрами графа выступают количества разработанной документации каждым подразделением по каждому проекту. Рассмотрим ситуацию, в которой семь конструкторских подразделений предприятия, обозначенных КО1 ..., КО7, участвуют в создании десяти проектов (Пр1 ..., Пр10). Графическое представление направленного графа будет иметь вид, показанный на рис. 1. В качестве вершин-выходов

здесь выступают конструкторские подразделения, а вершины-входы – это разрабатываемые в рассматриваемый период проекты. Очевидна наглядность такого представления, но для анализа результативности процесса это не подходит.

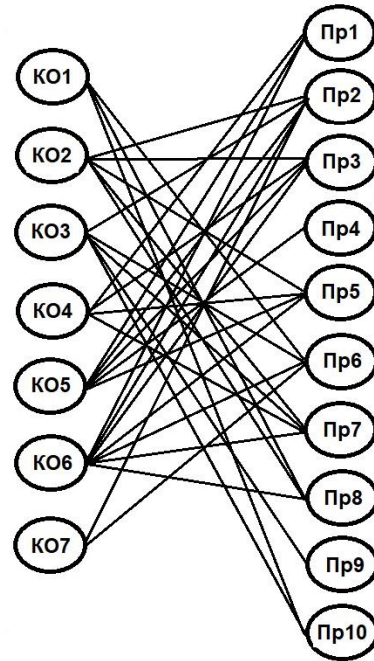


Рис. 1. Граф, отражающий участие конструкторских подразделений в проектах

Совсем другой результат можно получить, если этот же граф представить в виде матрицы смежности вершин. Если элементы такой матрицы, соответствующие имеющимся связующим ребрам, заменить на количество конструкторских документов, разработанных подразделением за контрольное время по каждому проекту, получится наглядный материал для анализа. Выделив фрагмент матрицы связности с ненулевыми элементами так, чтобы в заголовках столбцов были только названия подразделений, участвующих в проектировании (КО1 ..., КО7), а в заголовках строк – только названия проектов, по которым ведется проектирование (Пр1 ..., Пр10), в перекрестьях столбцов и строк получим количество разработанной документации (КД) каждым подразделением по каждому проекту. Если в каждом столбце матрицы разделить КД на количество конструкторов в соответствующем подразделении и на норму выпуска КД за установленное время, получим значения, показывающие долю интеллектуального ресурса подразделений, потраченную на каждый проект, а сумма таких долей дает показатель общей загруженности подразделений в процессе проектирования. В таблице 1 приведены результаты анализа результативности процесса проектирования авиационных двигателей по критерию «Количество кон-

структурских документов, разработанных по критерию «Количество конструкторских документов, разработанных за контрольное время» для рассматриваемого примера, выполненные с использованием графа в форме матрицы смежности вершин.

Таблица 1

Результат анализа по количеству разработанной НД

Отделы Проекты	KO1	KO2	KO3	KO4	KO5	KO6	KO7
Пр1				0,26	0,16	0,06	
Пр2		0,24	0,16		0,07	0,12	0,24
Пр3		0,10		0,12	0,20	0,16	
Пр4					0,29		
Пр5		0,03		0,08	0,23	0,11	
Пр6	0,12		0,09			0,13	0,11
Пр7		0,40	0,07	0,22		0,47	
Пр8	0,21	0,05					
Пр9			0,27				
Пр10	0,13		0,10				
Всего	0,46	0,82	0,69	0,68	0,95	1,15	0,35

Представленный анализ результативности процесса проектирования авиационных двигателей по критерию «Количество конструкторских документов, разработанных за контрольное время» позволяет руководству оценивать текущее состояние загрузки подразделений задачами по выполнению проектов, а опыт подразделений, устойчиво показывающих высокий уровень управления занятостью конструкторов в процессе проектирования (в данном примере это подразделения КО6 и КО5), распространять на все подразделения, занятые в этом процессе. С другой стороны, там, где показатели оказываются низкими (подразделения КО1 и КО7), нужно искать коренную причину такой ситуации, например, используя методологию «пять почему?» или другие методы.

Аналогично, с применением графа может быть проанализирован такой показатель процесса проектирования, как «Выполнение поставленных на контроль пунктов тематических планов, сроки выполнения которых переносились». Рассматривая те же подразделения, построим направленный граф, выходными вершинами которого будут конструкторские подразделения КО1 ..., КО7, а входной вершиной – 100 % выполнение тематических планов в поставленный срок. Ребра этого графа будут отражать количество пунктов тематических планов для каждого подразделения, сроки выполнения которых по тем или иным причинам переносились. Графическое представление такого графа имеет вид, показанный на рис. 2.

Из матрицы смежности вершин данного графа, построенной, как и в предыдущем случае, можно

выделить фрагмент с одной строкой, содержащей ненулевые элементы, а именно – для каждого подразделения количества поставленных на контроль пунктов тематических планов, сроки выполнения которых переносились. Разделив эти значения на количество конструкторов в каждом подразделении получим показатель, нормированный на одного конструктора. Результат анализа приведен в таблице 2.

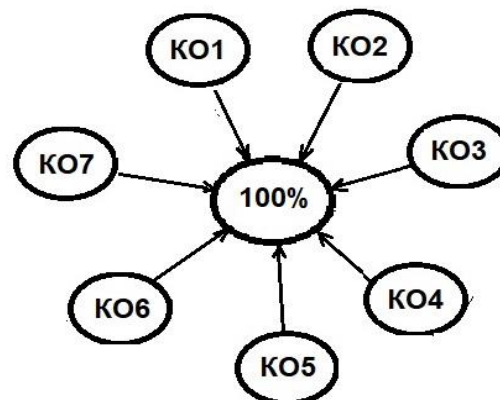


Рис. 2. Граф выполнения поставленных на контроль пунктов тематических планов

Таблица 2

Результат анализа по количеству разработанной НД

Отделы Расчет	KO1	KO2	KO3	KO4	KO5	KO6	KO7
100 %	0,66	0,75	0,31	0,31	0,12	0,14	0,81

По данному показателю также можно судить о менеджменте процесса проектирования в каждом отдельно взятом подразделении. Как видно из таблицы 2, опять в подразделениях КО5 и КО6 самый низкий показатель по количеству выполняемых пунктов тематических планов, сроки выполнения которых переносились, что говорит о хорошей организации менеджмента в этих подразделениях. А вот на организацию работ в подразделениях КО2 и КО7 руководство должно обратить особое внимание.

Представление других показателей процесса проектирования в виде направленных или ненаправленных графов также позволит получить широкое наглядное поле для анализа на основе мониторинга, измерения и оценки контролируемых показателей. Предложенная методика оценки результативности процессов СМК, базирующаяся на применении элементов теории графов, позволяет получать наглядную картину функционирования СМК. Применение такой методики позволяет проводить достоверный

сравнительный анализ результатов производственной деятельности предприятия по каждому, отдельно взятому показателю анализируемого процесса.

Выводы

Предложенная модель мониторинга процесса проектирования с использованием элементов теории графов, учитывающая реальные характеристики и количественные показатели процессов, дает возможность выявлять критические элементы системы, проводить анализ с целью выявления коренных причин несоответствий, формировать корректирующие действия для улучшения, повышать результативность отдельных процессов, совершенствовать управление деятельностью подразделений.

Литература

1. ДСТУ ISO 9001:2015. Системи управління якістю. Вимоги [Текст]. – На заміну ДСТУ ISO 9001:2015 (прийнятого методом підтвердження); чинний з 2016-07-01. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 22 с.
2. Назаренко, Ю. А. Оценка результативности процесса проектирования авиационных двигателей [Текст] / Ю. А. Назаренко, С. М. Степаненко, В. Г. Харченко // Вестник двигателестроения. – 2018. – № 2. – С. 143 – 147.
3. Назаренко, Ю. А. Оценка результативности и эффективности планирования в системе менеджмента качества предприятия-разработчика авиационной техники [Текст] / Ю. А. Назаренко, С. М. Степаненко // Авіаційно - космічна техніка і технологія. – 2019. – № 7 (159). – С. 173–177. DOI: 10.32620/aktt.2019.7.25.

4. Домнин, Л. Н. Элементы теории графов [Текст] : учеб. пособие / Л. Н. Домнин. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та. – 2007. – 144 с.

5. Кирсанов, М. Н. Графы в Maple. Задачи, алгоритмы, программы [Текст] : учеб. пособие / М. Н. Кирсанов – М. : Изд-во ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 168 с.

References

1. DSTU ISO 9001:2015. Systemy upravlinnya yakistyu. Vymogy [Ukrainian State Standard ISO 9001:2015. Quality management systems. Requirements]. Kiev, DP UkrNDNCz Publ., 2016. 22 p.
2. Nazarenko, Ju. A., Stepanenko, S. M., Kharchenko, V. G. *Ocenka rezul'tativnosti processa proektirovaniya aviacionnyh dvigatelej* [The effectiveness assessment of the aircraft engine design process]. *Vestnik dvigatelestroenija – Bulletin of engine building*, 2018, no. 2, pp. 143-147.
3. Nazarenko, Ju. A., Stepanenko, S. M. *Ocenka rezul'tativnosti i jef-fektivnosti planirovaniya v sisteme menedzhmenta kachestva predpriyatija-razrabotchika aviacionnoj tehniki* [Evaluation of the effectiveness and efficiency of planning in the quality management system of the enterprise-developer of aviation equipment]. *Aviacijno-kosmichna texnika i texnologiya – Aerospace engineering and technology*, 2019, no. 7 (159), pp. 173-177. DOI: 10.32620/ aktt.2019.7.25.
4. Domnin, L. N. *Jelementy teorii grafov: ucheb. posobie* [Elements of graph theory: study guide]. Penza, Penza State University Publ., 2007. 144 p.
5. Kirsanov, M. N. *Grafy v Maple. Zadachi, algoritmy, programmy: ucheb. posobie* [Graphs in Maple. Tasks, Algorithms, Programs: study guide]. Moscow, FIZMATLIT Publ., 2007. 168 p.

Поступила в редакцію 01.06.2020, рассмотрена на редколлегии 15.08.2020

ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ПРОЕКТУВАННЯ АВІАДВИГУНІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ГРАФІВ

С. М. Степаненко, Т. М. Середя, Ю. О. Назаренко

Розглядається роль оцінки результативності процесу проектування авіаційних двигунів як складової частини моніторингу, вимірювання та аналізу цього процесу в загальній системі менеджменту якості підприємства. Проаналізовано загальний підхід до оцінки та аналізу результативності. Відзначається, що при аналізі результативності повинні визначатися як інтегральні показники, так і проводиться розрахунок за всіма складовими елементами показників процесу. З метою виявлення корінних причин отримання незадовільних показників результативності, розглядається кожен критерій детально, аналізуючи результати участі кожного окремого підрозділу в процесі проектування. Для аналізу кількісних показників результативності процесу проектування пропонується застосовувати моделювання та аналіз процесів з використанням направлених (орієнтованих) і ненаправлених графів. Для проведення структурного аналізу результатів пропонується граф представляти у формі матриці суміжності вершин. Розглянуто приклади оцінки результативності процесу проектування за показником «Кількість конструкторських документів, розроблених за контрольний час (місяць)» і за показником «Виконання поставлених на контроль пунктів тематичних планів, терміни виконання яких переносилися». У першому прикладі в наведеному графі група вихідних вершин складається з конструкторських підрозділів, що беруть участь в проектуванні, а групу вхідних вершин складають проекти, за якими ведеться проектування. Ребрами графа виступають кількості розробленої документації

кожним підрозділом по кожному проекту. У другому прикладі зв'язок вихідних вершин графа, якими є конструкторські підрозділи, із вхідною вершиною здійснюється через ребра, на яких задається кількість пунктів тематичних планів, терміни виконання яких переносилися. Описано процес математичної обробки даних, записаних в матриці суміжності вершин. Застосування запропонованої методики дозволяє проводити аналіз результатів виробничої діяльності підприємства по кожному, окремо взятому показнику аналізованого процесу.

Ключові слова: результативність процесу; проектування; авіаційний двигун; якість; ISO 9001:2015; граф; матриця суміжності.

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE PROCESS OF DESIGNING ENGINES USING GRAPHS

S. Stepanenko, T. Sereda, Yu. Nazarenko

The role of the aircraft engine design process effectiveness evaluating as an integral part of monitoring, measuring, and analyzing this process in the overall enterprise quality management system is considered. The general approach to the effectiveness evaluation and analysis is analyzed. It is noted that in the effectiveness evaluation, both integral indicators and calculations made for all the constituent elements of the process indicators should be determined. In order to identify the root causes of obtaining unsatisfactory performance indicators, each criterion is examined in detail, analyzing the results of each individual unit participation in the design process. For the analysis of quantitative indicators of the design process effectiveness, it is proposed to apply processes modeling and analysis using directed (oriented) and non-directional graphs. To carry out a structural analysis of the results, it is proposed to represent the graph in the form of a vertex adjacency matrix. Examples of the design processes effectiveness evaluating are considered according to the indicator "Number of design documents developed in a monitoring time (month)" and according to the indicator "Fulfillment of thematic plans items put under control, the deadlines for which have been postponed". In the first example, in a directed graph, the group of output vertices consists of the design subdivisions involved in the design, and the group of input vertices consists of the projects that are being designed. The edges of the graph are the quantities of documentation developed by each unit for each project. In the second example, the connection of the output vertices of the graph, which are the design units, with the input vertex is carried out through the edges, on which the number of thematic plan points is set, the deadlines for which were postponed. The process of data mathematical processing recorded in vertex adjacency matrices is described. The proposed methodology application allows the analysis of the enterprise production activity results for each individual indicator of the analyzed process.

Keywords: process effectiveness; design; aircraft engine; quality; ISO 9001:2015; graph; adjacency matrix.

Степаненко Сергей Михайлович – канд. техн. наук, доцент, начальник отдела стандартизации, Государственное предприятие «Запорожское машиностроительное конструкторское бюро «Прогресс» имени академика А. Г. Ивченко, Запорожье, Украина.

Середа Татьяна Николаевна – инженер по стандартизации и качеству государственного предприятия «Запорожское машиностроительное конструкторское бюро «Прогресс» имени академика А. Г. Ивченко, Запорожье, Украина.

Назаренко Юлия Александровна – инженер по стандартизации и качеству 2 категории государственного предприятия «Запорожское машиностроительное конструкторское бюро «Прогресс» имени академика А. Г. Ивченко, Запорожье, Украина.

Sergey Stepanenko – Candidate of Technical Science, Assistant Professor; Head of Department at Zaporozhye Machine-Building Design Bureau Progress State Enterprise named after Academician A. G. Ivchenko, Zaporozhye, Ukraine, e-mail: s.stepanenko@ivchenko-progress.com, ORCID Author ID: 0000-0001-5858-0683.

Tatiana Sereda – engineer for standardization and quality of the 2nd category at Zaporozhye Machine-Building Design Bureau Progress State Enterprise named after Academician A. G. Ivchenko, Zaporozhye, Ukraine, e-mail: 03531@ivchenko-progress.com, ORCID Author ID: 0000-0003-3790-9253.

Julia Nazarenko – engineer for standardization and quality of the 2nd category at Zaporozhye Machine-Building Design Bureau Progress State Enterprise named after Academician A. G. Ivchenko, Zaporozhye, Ukraine, e-mail: 03531@ivchenko-progress.com, ORCID Author ID: 0000-0002-7889-1208.