

УДК 004.046:621.8

А.Ю. Панов, М.С. ТрофимоваНижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия**МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
АГРЕГАТА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА**

В задачах технической диагностики транспортных систем большое значение имеет достоверная классификация основных агрегатов, узлов и деталей, входящих в конструкцию изучаемого транспортного средства. Другим немаловажным аспектом является системный подход к созданию информационной системы. Для этого целесообразно использование функциональных формул – современного и эффективного поискового языка для информационной системы. Они определяют морфологию, состав и выполняемые служебные функции систематизируемых объектов.

Разработка грамотной информационной системы сопровождения процесса производства автокомпонентов является важной задачей, так как с ее применением специалистам в области менеджмента качества продукции открывается больше возможностей для работы с рекламациями, дефектами, для разработки корректирующих действий и применения статистических методов анализа качества выпускаемой продукции.

Применение теории графов является достаточно простым и современным методом анализа разработанной информационной системы, позволяющим проверить ее на связанность и графически представить весь «механизм» в целом.

В статье описана методика построения функциональной системы, включающая в себя: анализ формы и выполняемых функций деталей, написание функциональных формул деталей, построение графа функсонов, анализ характеристик графа и проверку целостности разработанной системы. В качестве примера рассмотрена конструкция заднего моста грузового автомобиля.

Актуальность данной работы состоит в том, что она связана с объединением в единую систему функциональных формул, информационного сопровождения производственных процессов и графических методов. Результатом применения предложенной методики станет повышение качества выпускаемых автокомпонентов с уменьшением их себестоимости.

Разработанная методика может быть использована на предприятиях автомобилестроения.

Ключевые слова: функциональная система, функциональные формулы, задний мост, функсон, мерон, таксон, граф.

A.Yu. Panov, M.S. TrofimovaNizhny Novgorod State Technical University n.a. R. E. Alekseev,
Nizhny Novgorod, Russian Federation**METHOD OF CONSTRUCTION OF THE FUNCTIONAL SYSTEM
OF THE AGGREGATE OF THE VEHICLE**

In the problems of technical diagnostic transport systems is very important reliable classification of the basic units, assemblies and components included in the structure of the studied vehicle. Another important aspect is the systematic approach to the creation of an information system. To do this, it is

advisable to use functional formulas - modern and efficient search language for the information system. They determine the morphology, composition and performing official functions is systematized objects.

The development of competent information system support the manufacturing process of automotive components is an important task, since it in the field of quality management application specialists offer more opportunities to work with claims, defects, development of corrective actions and the application of statistical methods for analyzing the quality of products.

The application of graph theory is quite simple and modern method of analysis developed by the information system, which allows it to check connectivity and graphically represent the entire "mechanism" as a whole.

The article describes a method of constructing a functional system, including: analysis of the shape and functions of parts, writing formulas functional parts, building funksonov graph, analysis graph performance and integrity check of the developed system. The desing drear truck axle is considered as an example.

The relevance of this work lies in the fact that it is associated with the integration of the functional formulas, information system support industrial processes and graphical methods. The result of applying the proposed method will enhance the quality of automotive components and reducing their cost.

The developed method can be used in enterprises automotive industry.

Keywords: functional system, functional formula, the rear axle, funkson, meron, taxon, graph.

Введение. Задачей языка системологии является правильное конструирование функциональной формулы [1], что одновременно является и процедурой классификации объектов [2].

Таксон в общепринятом понимании – это группа дискретных объектов, связанных той или иной степенью общности свойств и признаков [3].

Структура и элементный состав таксонов в общем виде отображаются функциональной формулой

$$O_i\{F^n\}, \quad (1)$$

где O_i – функциональные архетипы объектов материального производства; $\{F^n\}$ – функсоны; фигурные скобки применяются в качестве ограничителя функсонов [1].

Вещественные объекты-функционалы делятся на 13 функциональных архетипов: материалы $M1$, вещества $M2$, изделия $M3$, здания и сооружения $M4$, атмосфера $M5$, гидросфера $M6$, полезные ископаемые $M7$, почва $M8$, элементарные частицы $M9$, растения $M10$, животные $M11$, человек $M12$ и предприятия $M13$ [1].

Таксоны вещественных объектов – функционалов – это функциональные иерархические системы объектов, относящиеся к определенным функциональным архетипам и предназначенные для выполнения функсонов соответствующего ранга.

С учетом (1) таксоны – функционалы в общем виде обозначаются функциональной формулой

$$M_i\{F^n\}, \quad (2)$$

где M_i – архетипы объектов – функционалов (в общем виде); $\{F^n\}$ – функсоны [1].

1-й этап. Анализ формы и выполняемых функций деталей заднего моста. Согласно анализу дефектов грузового автомобиля одним из самых дефектных агрегатов является задний мост. Поэтому разработаем систему функциональной систематики для этого агрегата. Устройство заднего моста типа «банджо» грузового автомобиля приведено на рис. 1 [4].

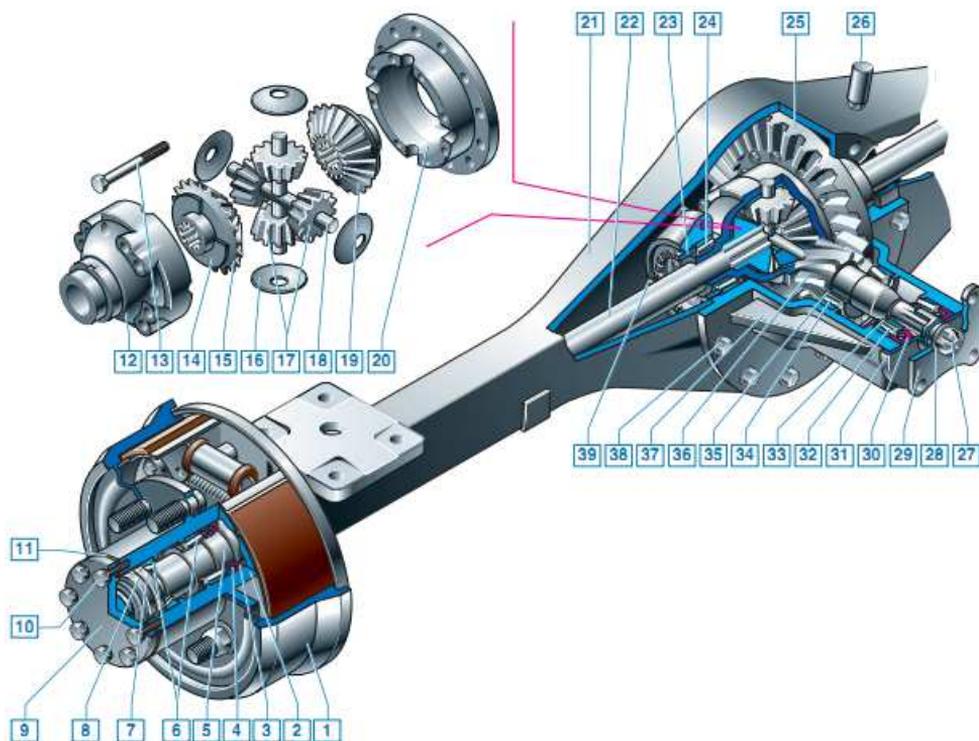


Рис. 1. Задний мост типа «банджо»: 1 – тормозной барабан; 2 – ступица; 3 – манжета ступицы; 4 – шайба упорная; 5 – кожух полуоси; 6 – подшипники ступицы; 7 – гайка подшипников; 8 – контргайка; 9 – фланец полуоси; 10 – болт; 11 – прокладка; 12 – коробка дифференциала правая; 13 – болт; 14 – шайба опорная шестерни; 15, 19 – полуосевые шестерни; 16 – шайба опорная сателлита; 17 – сателлиты; 18 – ось сателлитов; 20 – коробка дифференциала левая; 21 – балка; 22 – полуось; 23 – гайка подшипников дифференциала; 24 – подшипник дифференциала; 25 – ведомая шестерня главной передачи; 26 – сапун; 27 – гайка; 28 – шайба; 29 – фланец ведущей шестерни; 30 – манжета; 31 – грязеотражатель; 32, 34 – подшипники ведущей шестерни; 33 – распорная втулка; 35 – регулировочное кольцо; 36 – ведущая шестерня; 37 – картер редуктора; 38 – болт; 39 – стопорная пластина

Проанализируем форму и выполняемые функции элементов соединения. Результаты проведенного анализа рассмотрим на примере ведущей шестерни. Описание формы детали: деталь зубчатой передачи, объединяющая в себе вал и коническую шестерню, изготовленные неразъемно [5]. Функция: деталь предназначена для передачи главного момента ведомой шестерне [4].

В результате анализа всех деталей получен большой массив текстовых данных, который неудобен в применении при работе с информационной базой данных. Поэтому необходимо провести классификацию исследуемых деталей.

2-й этап. Разработка системы функциональных формул для описания деталей заднего моста. Качественная классификация данных и методы компьютерной поддержки сокращают время их переработки и тем самым оптимизируют управление производственным процессом [6]. В данной работе используем один из основных методов классификации – фасетный [7].

Все детали являются вещественными объектами-функционалами и относятся к функциональному архетипу *изделия МЗ* [1]. В трудах С.М. Бреховских представлены типы и классы критериев воздействия и критериев совместимости [1], но для построения функциональных формул описания деталей заднего моста этих данных не достаточно. В связи с этим необходимо разработать классификатор воздействий объекта-функционала и классификатор объектов, подвергающихся воздействию (меронов) для устройства заднего моста грузового автомобиля.

Используя фасетный метод классификации, определим типы критериев воздействия деталей заднего моста и оформим полученную классификацию в виде табл. 1.

Таблица 1

Классификатор критериев воздействий объекта-функционала

Обозначение	Название критерия воздействия объекта-функционала	Обозначение	Название критерия воздействия объекта-функционала
1	2	3	4
B1	Вращение	B10	Передача главного момента
B2	Защита от грязи	B11	Передача крутящего момента

Окончание табл. 1

1	2	3	4
В3	Защита поверхности от повреждений	В12	Предотвращение увеличения давления
В4	Крепление (соединение)	В13	Предотвращение утечки
В5	Определение положения	В14	Прием главного момента
В6	Определение преднатяга	В15	Распределение крутящего момента
В7	Остановка	В16	Регулировка детали
В8	Передача жидкости	В17	Регулировка зазоров
В9	Передача вращательного усилия	В18	Фиксация положения

Классификатор объектов, на которые оказывается воздействие, оформим в виде табл. 2.

Таблица 2

Классификатор меронов

Обозначение	Объект	Обозначение	Объект
О1	Балка	О16	Масло
О2	Вал ведущей шестерни	О17	Подшипник ведущей шестерни
О3	Ведомая шестерня	О18	Подшипник дифференциала
О4	Ведущая шестерня	О19	Подшипник ступицы
О5	Гайка подшипника ступицы	О20	Полуосевая шестерня
О6	Гайка подшипников дифференциала	О21	Полуось
О7	Главная передача	О22	Правая коробка дифференциала
О8	Дифференциал	О23	Сальник
О9	Заднее колесо	О24	Сателлит
О10	Карданный вал	О25	Смазка
О11	Картер заднего моста	О26	Стопорная пластина
О12	Картер редуктора	О27	Ступица
О13	Коробка дифференциала (целая)	О28	Фланец ведущей шестерни
О14	Левая коробка дифференциала	О29	Фланец
О15	Манжета	–	–

На основании табл. 1 и 2 запишем функсоны для исследуемых деталей. Например, ведущая шестерня, выполняющая функцию передачи главного момента ведомой шестерне, будет иметь функсон (В10ОЗ). Функциональные формулы всех деталей заднего моста будут иметь следующий общий вид:

$$M3\{[BO]C6(M13H5.7)\}(H5.1.15), \quad (3)$$

что означает, изделие {[для воздействия на объект] функсон реализуется в (предприятии для производства комплектующих изделий)}(финальные изделия для транспорта) [1, 7].

С учетом функционального назначения детали формулу для ведущей шестерни можно записать следующим образом:

$$M3\{[B10O3]C6(M13H5.7)\}(H5.1.15). \quad (4)$$

Изделие {[для передачи главного момента ведомой шестерне]} функсон реализуется в (предприятии для производства комплектующих изделий)} (финальные изделия для транспорта), где *M3* – функциональный архетип (изделия), *B10* – критерий воздействий объекта-функционала на исходные объекты (регулировка зазоров), *O3* – мерон (ведомая шестерня), *C6* – критерий совместимости объектов-функционалов с факторами внешней среды (функсон реализуется в объектах), *M13* – функциональный архетип (предприятия), *H5.7* – морфологическая система комплектующих изделий (комплектующие изделия), *H5.1.15* – морфологическая система финальных изделий (финальные изделия для транспорта).

Таким образом, можно получить функциональные формулы описания всех деталей заднего моста грузового автомобиля, применение которых поможет улучшить и ускорить процесс работы с информационной базой данных.

3-й этап. Построение графа функциональной системы. В системах автоматизированного проектирования (САПР) [2, 8] для представления структуры объектов в процессе их моделирования часто используют графы [9, 10].

Проанализируем целостность построенной функциональной системы, применив теорию графов – раздел дискретной математики, исследующий свойства конечных множеств с заданными отношениями между их элементами. Для этого построим граф – систему, которая интуитивно может быть рассмотрена как множество кружков и множество соединяющих их линий [11].

Построение графа можно выполнить с использованием программы «Графоанализатор 1.3» [12].

Для построения графа соединяем дугами вершины В (названия воздействия объекта – функционала) с вершинами О (меронами). Граф функсона ведущей шестерни представлен на рис. 2.

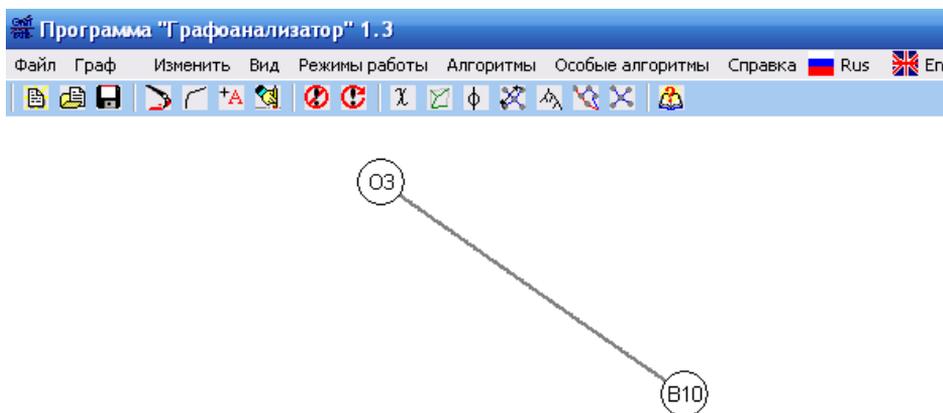


Рис. 2. Граф функсона ведущей шестерни

Построим граф всей функциональной системы и проверим граф на связанность. В результате получаем, что граф является связанным (рис. 3).

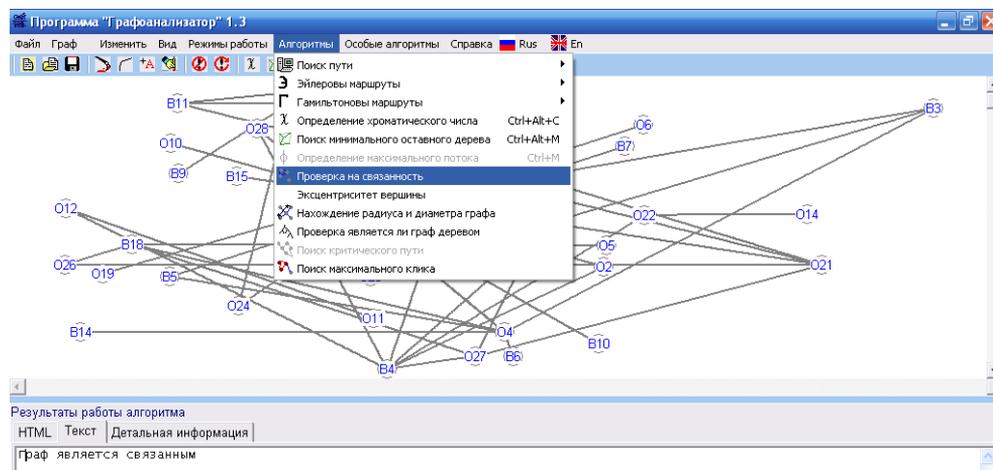


Рис. 3. Проверка графа на связанность

Матрица смежности графа представлена на рис. 4. Определим хроматическое число графа. Получаем хроматическое число графа 3. Это означает, что граф плоский и минимальное число цветов, необходимое для оптимальной раскраски вершин графа, три (рис. 5) [13, 14].

Матрица смежности:

	B7	O9	B4	B1	O27	O21	O23	O13	B11	O24	O20	B17	B9	O7	O24	B18	O4	B14	O28	B3	B6	O3	B5	B10	O23	O19	O5	O22	O14	O12	O18	O2	O10	O11	O6	B15	
B7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
O9	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
B4	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	
B1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
O27	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
O21	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
O29	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
O13	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
B11	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
O24	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
O20	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
B17	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
B9	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
O7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
O26	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
B18	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
O4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
B14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
O28	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
B3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
B6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
B5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
B10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O22	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
O14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
O12	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
O18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
O10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
O11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
O6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B15	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 4. Матрица смежности

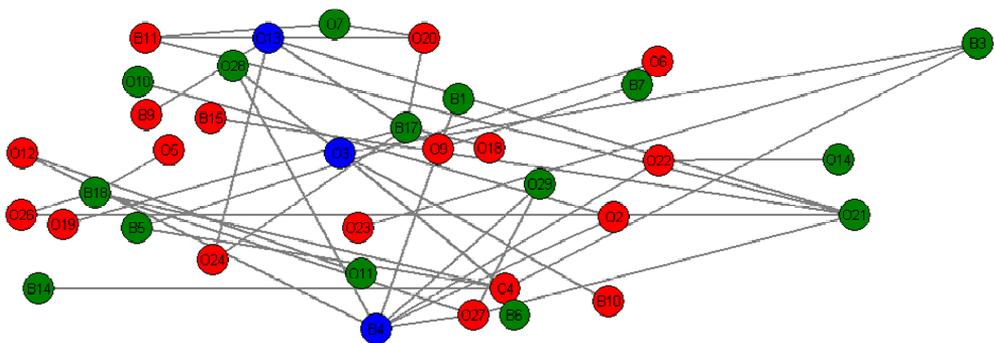


Рис. 5. Граф функциональной системы заднего моста

Определим радиус и диаметр графа [15]. Получаем радиус 3, диаметр 9. Это означает, что наименьшее расстояние до наиболее удаленной вершины равно 3, а наибольшее расстояние до наиболее удаленной вершины равно 9. В процессе построения графа детали, входящие в соединение заднего моста, разделились на два типа. Их можно назвать как основные (участвующие в работе целостного механизма) и вспомогательные. Последние (кожух полуоси, уплотнительная прокладка, сапун, грязеотражатель) выполняют важные функции, обеспечивающие качественную работу агрегата, однако не связанные непосредственно с другими. Поэтому функции этих деталей не отражены в построенном графе.

Выводы. Предложенная в статье методика позволяет представить все автокомпоненты в виде функциональных формул, что позволит оптимизировать процесс работы по устранению дефектов деталей и тем самым повысить качество продукции автомобилестроения. Применение теории графов позволяет определить целостность системы. На основании рассмотренного примера можно сделать вывод, что функциональная система деталей заднего моста грузового автомобиля не является целостной, так как не все детали участвуют в работе механизма, часть из них выполняет вспомогательные функции. Предложенная методика достаточно универсальна и может применяться для улучшения качества других узлов или агрегатов автомобилей.

Библиографический список

1. Бреховских С.М. Основы функциональной системологии материальных объектов. – М.: Наука. – 192 с.
2. Валеев О.Ф., Зарифуллина Э.Г., Малина О.В. Подход к построению классификатора объектов машиностроения как основы информационного обеспечения САПР // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2013. – Вып. 6, ч. 1. – С. 220–229.
3. Бреховских С.М., Прасолов А.П., Солинов В.Ф. Функциональная компьютерная систематика материалов, машин, изделий и технологий. – М.: Машиностроение, 1995. – 551 с.
4. ГАЗель Бизнес. Устройство, обслуживание, диагностика, ремонт. Иллюстрированное руководство. – М.: За рулем, 2011. – 304 с.
5. Гордин П.В., Росляков Е.М., Эвелеков В.И. Детали машин и основы конструирования: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2006. – 186 с.

6. Попов М.Х. Некоторые вопросы терминологической системы технетики [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.kudrinbi.ru> (дата обращения: 23.08.2016).

7. Ширялкин А.Ф. Стандартизация и техническое регулирование в аспекте качества продукции: учеб. пособие. – Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2006. – 196 с.

8. Ли К. Основы системы автоматизированного проектирования (CAD/CAM/CAE). – СПб.: Питер, 2004. – 560 с.

9. Бояринцева Т.И., Мاستихина А.А. Теория графов: метод. указания. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 37 с.

10. Ключарев А.А., Матьяш В.А., Щекин С.В. Структуры и алгоритмы обработки данных: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во СПбГУАП, 2003. – 172 с.

11. Бурков В.Н., Заложнев А.Ю., Новиков Д.А. Теория графов в управлении организационными системами. – М.: Синтег, 2001. – 124 с.

12. Официальный сайт программы для работы с графами [Электронный ресурс]. – URL: <http://grafoanalizator.unick-soft.ru> (дата обращения: 23.08.2016).

13. Свами М., Тхуласираман К. Графы, сети и алгоритмы: пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 456 с.

14. Зыков А.А. Основы теории графов. – М.: Вузовская книга, 2004. – 664 с.

15. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход: пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 432 с.

References

1. Brekhovskikh S.M. Osnovy funktsional'noi sistemologii material'nykh ob"ektov [Basics of functional systemology material objects]. Moscow: Nauka. 192 p.

2. Valeev O.F., Zarifullina E.G., Malina O.V. Podkhod k postroeniiu klassifikatora ob"ektov mashinostroeniia kak osnovy informatsionnogo obespecheniia SAPR [The approach to the construction of the classifier engineering objects as the basis of information support CAD]. *Izvestiia tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2013, iss. 6, part. 1, pp. 220-229.

3. Brekhovskikh S.M., Prasolov A.P., Solinov V.F. Funktsional'naia komp'iuternaia sistematika materialov, mashin, izdelii i tekhnologii

[Functional computer systematics materials, machinery, products and technologies]. Moscow: Mashinostroenie, 1995. 551 p.

4. GAZel' Biznes. Ustroistvo, obsluzhivanie, diagnostika, remont. Illiustrirovannoe rukovodstvo [Gazelle Business. The device, service, diagnostics, repair. Illustrated guide]. Moscow: Za rulem, 2011. 304 p.

5. Gordin P.V., Rosliakov E.M., Evelekov V.I. Detali mashin i osnovy konstruirovaniia [Machine parts and design principles]. Saint Petersburg: Severo-Zapadnyi gosudarstvennyi zaochnyi tekhnicheskii universitet, 2006. 186 p.

6. Popov M.Kh. Nekotorye voprosy terminologicheskoi sistemy tekhnietiki [Some questions terminological system of technology], available at: <http://www.kudrinbi.ru> (accessed 23 August 2016).

7. Shirialkin A.F. Standartizatsiia i tekhnicheskoe regulirovanie v aspekte kachestva produktsii [Standardization and technical regulation in the aspect of product quality]. Ul'ianovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2006. 196 p.

8. Li K. Osnovy sistemy avtomatizirovannogo proektirovaniia (CAD/CAM/CAE) [Fundamentals of CAD (CAD/CAM/CAE)]. Saint Petersburg: Piter, 2004. 560 p.

9. Boiarintseva T.I., Mastikhina A.A. Teoriia grafov [Graph theory]. Moskovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet imeni N.E. Baumana, 2014. 37 p.

10. Kliucharev A.A., Mat'iash V.A., Shchekin S.V. Struktury i algoritmy obrabotki dannykh [Structures and algorithms data processing]. Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi universitet aerokosmicheskogo priborostroeniia, 2003. 172 p.

11. Burkov V.N., Zalozhnev A.Iu., Novikov D.A. Teoriia grafov v upravlenii organizatsionnymi sistemami [Graph theory in the management of organizational systems]. Moscow: Sinteg, 2001. 124 p.

12. Ofitsial'nyi sait programmy dlia raboty s grafami [The official website of the program to work with graphs], available at: <http://grafoanalizator.unick-soft.ru> (accessed 23 August 2016).

13. Svami M., Tkhulasiraman K. Grafy, seti i algoritmy [Graphs, networks and algorithms]. Moscow: Mir, 1984. 456 p.

14. Zykov A.A. Osnovy teorii grafov [Fundamentals of graph theory]. Moscow: Vuzovskaia kniga, 2004. 664 p.

15. Kristofides N. Teoriia grafov. Algoritmicheskii podkhod [Graph theory. Algorithmic approach]. Moscow: Mir, 1978. 432 p.

Сведения об авторах

Панов Алексей Юрьевич (Нижний Новгород, Россия) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической и прикладной механики, директор Института промышленных технологий машиностроения Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева (603950, Нижний Новгород, ул. К. Минина, 28, e-mail: fam@nntu.nnov.ru).

Трофимова Майя Сергеевна (Нижний Новгород, Россия) – аспирантка, ассистент кафедры машиностроительных технологических комплексов Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева (603950, Нижний Новгород, ул. К. Минина, 28, e-mail: maya47@yandex.ru).

About the authors

Panov Alexey Yurevich (Nizhny Novgorod, Russian Federation) is a Doctor of Technical Sciences, Professor, head of the Department Theoretical and Applied Mechanics, the director of Institute of Industrial Engineering Technology of the Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev (603950, Nizhny Novgorod, str. Karl. Minin, 28, e-mail: fam@nntu.nnov.ru).

Trofimova Maya Sergeyevna (Nizhny Novgorod, Russian Federation) is a Graduate Student, the Assistant to chair «Machine-building technological complexes» of the Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev (603950, Nizhny Novgorod, str. K. Minin, 28, e-mail: maya47@yandex.ru).

Получено 12.10.2016