

И. Ю. Ермоленко¹

¹Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ОБЪЕКТОВ ВАГОННОГО ХОЗЯЙСТВА МЕТОДАМИ МЕНЕДЖМЕНТА РИСКА

Аннотация. В статье рассматриваются основные определения методов менеджмента риска, надежности, их применение при анализе надежности объектов вагонного хозяйства в эксплуатации. Описана целевая функция надежности вагона, связанная с экономической эффективностью.

Ключевые слова: вагон, надежность, менеджмент риска, анализ риска, технологические системы.

I. Yu. Ermolenko¹

¹Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

ANALYSIS OF RELIABILITY OF WAGON FACILITIES BY RISK MANAGEMENT METHODS

Abstract. The article discusses the main definitions of methods of risk management, reliability, their application in the analysis of the reliability of objects of the wagon economy in operation. Described the objective function of the reliability of the car, associated with economic efficiency.

Keywords: car, reliability, risk management, risk analysis, technological systems

Целевая функция надежности вагона

Безопасность вагона – есть свойство, характеризующее степень предсказуемости перехода его в аварийное состояние. Событие, состоящее в переходе вагона в аварийное состояние, является случайным и характеризуется показателями надежности, например, типа вероятность безотказной работы (ВБР).

За время эксплуатации вагоны расходуют свой технический ресурс, поэтому его необходимо со временем восстанавливать. Вагоны относятся к обслуживаемым, ремонтируемым объектам и рассчитываются на регламентируемые условия эксплуатации, однако время работы каждого из них до первого отказа или между отказами оказывается различным, что свидетельствует о неоднородности прочностных свойств вагонов и неравномерности их нагрузок в эксплуатации. Такие особенности недостаточно учитываются обычными расчетами по допускаемым напряжениям, и остается неясным, какова же вероятность безотказной работы деталей вагона в течение заданного времени эксплуатации.

Надежность определяют свойства вагонов, их способность выполнять свои функции, сохраняя во времени значения эксплуатационных показателей в пределах, соответствующих заданным режимам и условиям работы, и обеспечивая безопасность при эксплуатации. Надежность вагонов характеризуется показателями безотказности работы, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости в эксплуатации. В зависимости от назначения вагона и условий его эксплуатации на различных стадиях рассматриваются отдельные его свойства или их совокупность, анализируется его состояние для своевременного предупреждения сбоев в работе, отказов.

Расчетно-экспериментальная оценка надежности выполняется на различных этапах проектирования и изготовления вагонов. Исходными данными для этого являются: характеристики режима нагрузки (эксплуатационные силы, кинематические воздействия); структура проектируемого вагона с указанием типа и количества составляющих элементов и их взаимосвязи в смысле надежности; статические характеристики несущей способности элементов для заданных режимов нагрузки; сведения о функциональных зависимостях между свойствами и характеристиками составляющих элементов и вагона в целом

(аналитические или эмпирические формулы для оценки прочности вагона, зависимость между напряжениями, нагрузками и геометрическими характеристиками вагона).

Эти данные в теории надежности называются априорной экспериментальной информацией.

Существуют два основных вида расчетов надежности вагона:

а) расчет надежности всего вагона по известным показателям структуры конструкции вагона;

б) расчет надежности детали или конструкции вагона в целом на основе использования статистических закономерностей изменения внешней нагрузки и несущей способности с учетом физической природы отказов.

В ряде случаев оба вида расчетов выполняются совместно.

Основным математическим аппаратом надежности как науки является теория вероятности. Надежность вагона закладывается на этапе его проектирования и обеспечивается в процессе его изготовления и эксплуатации. Задачи надежности в вагоностроении в настоящее время решаются пока трудно, в основном, из-за сложности и высокой стоимости проведения массовых экспериментальных исследований.

Для определения целевой функции надежности грузового вагона необходимо задаться рядом условий и правил. Для этого составные части вагона в зависимости от природы возникновения аварийного состояния распределим на две группы:

Группа 1 – Составные части, опасные отказы которых не имеют внешних признаков предпредельного состояния (например, отказы которых имеют усталостный характер).

Группа 2 – Составные части, опасные отказы которых имеют внешние признаки предпредельного состояния.

Вторая группа составных частей, в свою очередь, разбивается на три подгруппы:

Подгруппа 2.1 – Составные части, отказы которых невозможно контролировать в условиях эксплуатации.

Подгруппа 2.2 – Составные части, отказы которых контролепригодны в условиях эксплуатации.

Подгруппа 2.3 – Составные части, отказы которых имеют ограниченную контролепригодность в условиях эксплуатации.

Наиболее опасны в эксплуатации отказы первой группы составных частей вагона. Составные части подгруппы 2.1 и 2.3 также опасны, но средств и мер по их обнаружению и своевременному устранению их отказов значительно больше.

В расчетную схему надежности вагона следует включать только такие элементы конструкции, которые удовлетворяют одновременно следующим двум требованиям:

– отказ любого из них или совместные отказы некоторой группы деталей приводят к крушению поезда при его движении;

– ограниченная или нулевая контролепригодность относительно наиболее опасных повреждений.

С учетом условий и принципов эксплуатации современного вагона экономическая модель эксплуатации вагона будет рассматриваться как событие B , состоящее в том, что в течение заранее установленного отрезка времени T вагон n раз побывает в груженом рейсе, и, в том числе, k раз откажет.

Тогда экономический эффект от эксплуатации вагона, получаемый грузоперевозчиком за время T , составит

$$\mathcal{E}(k) = -(\beta_1 + k\beta_2) + (n - k)\gamma, \quad (1)$$

где β_1 – покупная цена вагона;

β_2 – сумма выплат железной дорогой клиенту из-за доставки груза с опозданием;

γ – стоимостный тариф на транспортировку груза.

Концепция менеджмента риска (надежности) в вагонном хозяйстве

Менеджмент риска является элементом менеджмента надежности. Обязательные термины и определения в области менеджмента риска устанавливает государственный стандарт ГОСТ Р 51897 [1].

Национальный стандарт ГОСТ Р 51901.2 [2], описывает концепции и принципы системы менеджмента надежности, определяет основные процессы этой системы (процессы планирования, распределения ресурсов, управления и адаптации) и задачи надежности на стадиях жизненного цикла продукции, относящиеся к планированию, проектированию, измерению, анализу и совершенствованию.

Национальный стандарт ГОСТ Р 51901.3 [3], устанавливает руководство по менеджменту надежности при проектировании, разработке, оценке продукции и улучшении процессов. Для выбора задач программы надежности и этапов их выполнения, позволяющих удовлетворять потребности пользователя, стандарт рекомендует применять процесс формирования программы надежности. Процесс формирования программы надежности обеспечивает выбор элементов этой программы и соответствующих процессов с учетом особенностей проекта.

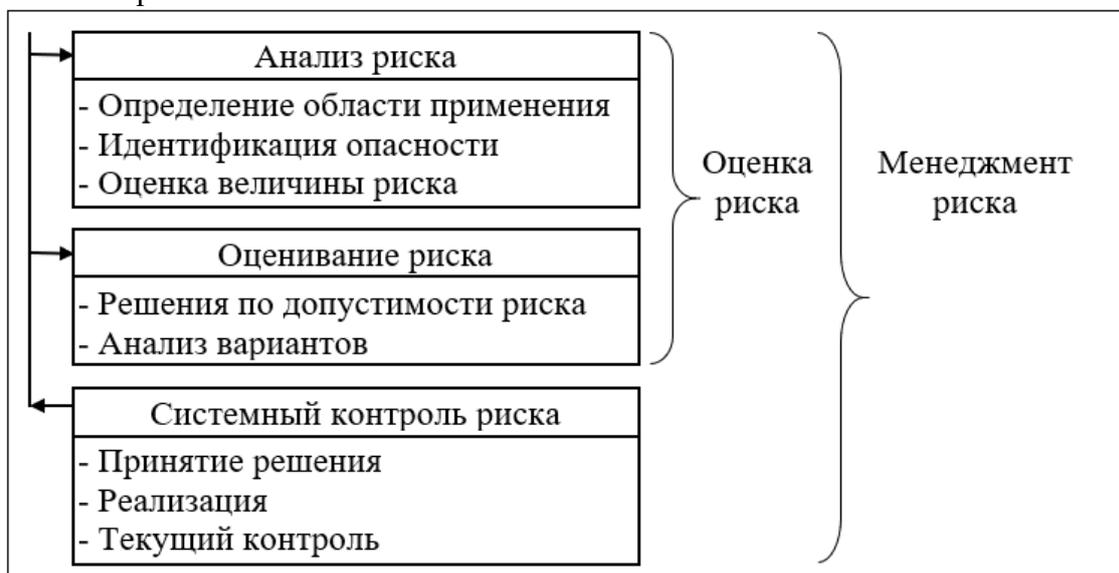


Рис.1. Соотношения между анализом риска и другими действиями по управлению риском

Цель системы менеджмента надежности состоит в том, чтобы гарантировать достижение требуемой надежности продукции путем управления процессами. Эти процессы, являющиеся основными, применимы ко всем организациям, стадиям жизненного цикла продукции и ситуациям контакта независимо от типа, размера и других характеристик продукции.

Система менеджмента надежности обеспечивает организационную структуру для стратегического управления политикой в сфере надежности, контроля функций надежности и координации всех действий в сфере надежности. Тщательная разработка планов надежности и распределение соответствующих ресурсов на ранних этапах создания продукции помогает распределить усилия для достижения поставленных целей в сфере надежности. Для обеспечения надежности продукции на различных этапах процесса ее создания. Для поддержания надежности при использовании продукции должно быть обеспечено ее соответствующее техническое обслуживание.

Для создания системы менеджмента надежности организация должна:

- идентифицировать требования в сфере надежности, связанные с бизнесом организации;
- установить цели в сфере надежности и планировать стадии жизненного цикла продукции в соответствии с конкретными проектами;
- гарантировать своевременное выполнение уместных поэтапных действий надежности в течение всех применяемых стадий проекта;

- определить критерии и методы оценки надежности и приемки продукции;
- обеспечить ресурсы и информацию, необходимые для выполнения требований надежности при проектировании продукции;
- проводить мониторинг надежности, выполнять необходимые измерения и анализировать их результаты для непрерывного совершенствования продукции;
- поощрять объединение процессов проектирования, реализации продукции, сервисного обслуживания и др. для обеспечения рентабельности операций и технического обслуживания;
- развивать отношения поставщика и заказчика для достижения всех проектных целей и удовлетворения требований заказчика.



Рис.2. Этапы процесса менеджмента надежности

На основе прогноза надежности системы должны быть рассмотрены проекты интерфейсов «человек-машина», удобство работы и техническое обслуживание, а также безопасность людей, работающих с системой, выполняющих ее техническое обслуживание, демонтаж и утилизацию.

Организация работ должна непрерывно улучшать эффективность системы менеджмента надежности путем выполнения политики в области надежности и стратегических планов, использования соответствующих методов оценки, исследования и анализа необходимых данных о надежности, управления несоответствиями через предупреждающие и корректирующие действия и процессы анализа.

Должны быть рассмотрены следующие процессы улучшения менеджмента надежности:

- для своевременной верификации проекта и валидации соответствия продукции, способствующих уменьшению времени проектирования и ускорения приемки продукции, должны применяться соответствующие методы и инструментальные средства;

- для поиска решений, позволяющих сократить затраты и обеспечить меры предупреждения отказов и отклонений, должен проводиться анализ основных причин потенциальных критических проблем проекта;

- информация по оценке риска должна использоваться при принятии решения по проекту, анализе со стороны руководства для определения количественных характеристик риска и его потенциальных последствий, разработке рекомендаций по экономически эффективным предупреждающим и/или корректирующим действиям;

- для обеспечения точности и полноты информации, используемой для управления решениями по проекту, должно быть разработано соответствующее управление данными;

– технический анализ, а также анализ со стороны руководства должны быть направлены на выявление достоинств процессов менеджмента надежности и возможностей их улучшения;

– должен поддерживаться закрытый интерфейс с потребителями и информация о поставщиках, обеспечивающие своевременное применение необходимых процессов улучшения.

Анализ риска технологических систем

Анализ риска технологических систем в рамках менеджмента риска осуществляется в соответствии с ГОСТ Р 51901.1-2002 [4].

Процесс управления риском охватывает различные аспекты работы с риском, от идентификации и анализа риска до оценки его допустимости и определения потенциальных возможностей снижения риска посредством выбора, реализации и контроля соответствующих управляющих действий.

Анализ риска представляет собой структурированный процесс, целью которого является определение как вероятности, так и размеров неблагоприятных последствий исследуемого действия, объекта или системы. В качестве неблагоприятных последствий рассматривается вред, наносимый людям, имуществу или окружающей среде.

Посредством проведения анализа риска предпринимаются попытки ответить на три основных вопроса:

- что может выйти из строя (идентификация опасности);
- с какой вероятностью это может произойти (анализ частоты);
- каковы последствия этого события (анализ последствий).

Для повышения эффективности управления рисками необходимо проводить предварительный анализ риска, включающий: а) идентификацию риска и определение подходов к решению связанных с ним проблем; б) использование объективной информации при принятии решений; в) удовлетворение регламентированных требований к риску.

Все эти факторы играют важную роль в эффективном управлении рисками независимо от того, какие задачи рассматриваются (охрана здоровья, безопасность, предотвращение экономических потерь, обеспечение выполнения требований постановлений правительства и т.п.).

Анализ риска является частью оценки риска и процесса управления риском, показанного на рисунке 1, и состоит из определения области применения, идентификации опасности и оценки величины риска.

Опасности могут быть отнесены к следующим четырем основным категориям:

- природные опасности (наводнения, землетрясения, ураганы, молния и т.д.);
- технические опасности, источниками которых является промышленное оборудование, сооружения, транспортные системы, потребительская продукция, пестициды, гербициды, фармацевтические препараты и т.п.;
- социальные опасности, источниками которых являются вооруженное нападение, война, диверсия, инфекционное заболевание и т.д.;
- опасности, связанные с укладом жизни (злоупотребление наркотиками, алкоголь, курение и т.д.).

Для повышения эффективности и объективности анализа риска и обеспечения сопоставимости с другими результатами по анализу риска необходимо соблюдать следующие общие правила. Процесс анализа риска должен осуществляться в соответствии со следующими этапами:

- определение области применения;
- идентификация опасности и предварительная оценка последствий;
- оценка величины риска;
- проверка результатов анализа;
- документальное обоснование;
- корректировка результатов анализа с учетом последних данных.

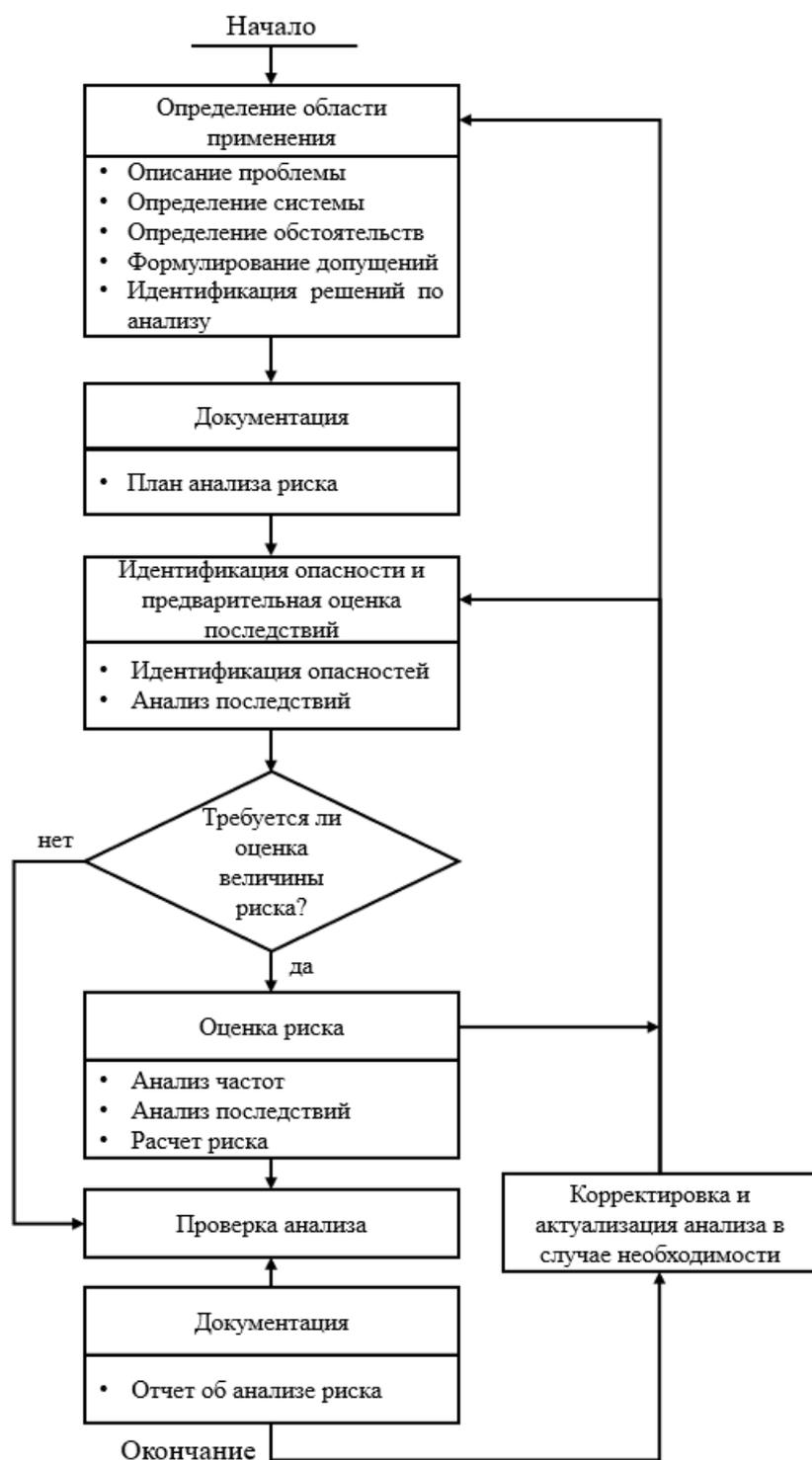


Рис.3. Процесс анализа риска

К наиболее распространенным методам проведения анализа технологических систем относятся:

– Анализ дерева событий (ETA – анализ диаграммы возможных последствий события)
 – совокупность приемов идентификации опасности и анализа частит, в которых используется индуктивный подход с целью перевода различных инициирующих событий в возможные исходы;

– Анализ видов и последствий отказов (FMEA) и Анализ видов, последствий и критичности отказов (FMECA) – совокупность приемов идентификации главных источников опасности и анализа частот, с помощью которых анализируются все аварийные состояния

данной единицы оборудования на предмет их влияния как на другие компоненты, так и на систему в целом;

– Анализ дерева неисправностей (FTA – анализ диаграммы всех возможных последствий несрабатывания или аварии системы) – совокупность приемов идентификации опасности и анализа частот нежелательного события, с помощью которых определяются все пути его реализации;

– Исследование опасности и связанных с ней проблем (HAZOP) – совокупность приемов идентификации фундаментальной опасности, при помощи которых оценивается каждая часть системы с целью обнаружения того, могут ли происходить отклонения от назначения конструкции и какие последствия это может повлечь;

– Анализ влияния человеческого фактора (HRA) – совокупность приемов анализа частот в области воздействия людей на показатели работы системы, при помощи которых определяется влияние ошибок человека на надежность;

– Предварительный анализ опасности (PНА) – совокупность приемов идентификации опасности и анализа частот, используемых на ранней стадии проектирования с целью идентификации опасностей и оценки их критичности;

– Структурная схема надежности – совокупность приемов анализа частот, на основе которых создается модель системы и ее резервов для оценки надежности системы.

Заключение

Целевое повышение надежности грузовых вагонов в соответствии с основными стратегиями развития железнодорожного транспорта должно осуществляться с учетом всех стадий жизненного цикла подвижного состава [5]. Стадии жизненного цикла вновь разрабатываемого (модернизируемого) железнодорожного подвижного состава и общие требования к процессам и содержанию работ, выполняемых на стадиях жизненного цикла, устанавливает национальный стандарт [6-9]. Также важное значение для обеспечения надежности грузовых вагонов играет принятая на железнодорожном транспорте система технического обслуживания и ремонта.

Описанная целевая функция надежности вагона, связана с экономической эффективности его эксплуатации. Рассмотрена экономическая модель эксплуатации вагона, основанная на сложившихся правилах использования грузового вагона по назначению и на наиболее значимом типе последствий отказов вагона. С учетом условий и принципов эксплуатации современного вагона экономическая модель эксплуатации вагона будет рассматриваться как событие, состоящее в том, что в течение заранее установленного отрезка времени вагон определенное количество раз побывает в груженом рейсе, и, в том числе, определенное количество раз откажет.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 18322-2016. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2017. 14 с.
2. Голинкевич Т.А. Прикладная теория надежности. М.: Высшая школа, 1977. 159 с.
3. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. М.: Наука, 1965. 524 с.
4. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2016. 24 с.
5. ГОСТ 31539-2012. Цикл жизненный железнодорожного подвижного состава. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2014. 12 с.
6. ГОСТ Р 51897-2011. Менеджмент риска. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2019. 12 с.
7. ГОСТ Р МЭК 60300-1-2017. Менеджмент риска. Руководство по применению менеджмента надежности. М.: Стандартинформ, 2017. 36 с.
8. ГОСТ Р 51901.3-2007. Менеджмент риска. Руководство по применению менеджмента надежности. М.: Стандартинформ, 2020. 53 с.

9. ГОСТ Р 51901.1-2002. Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем. М.: Госстандарт России, 2002. 23 с.

REFERENCES

1. GOST 18322-2016. Sistema tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta tekhniki. Terminy i opredeleniya [System of technical maintenance and repair of equipment. Terms and Definitions]. Moscow: Standartinform, 2017, 14 p.

2. Golinkevich T.A. Prikladnaya teoriya nadezhnosti [Applied Reliability Theory]. Moscow: Higher school, 1977, 159 p.

3. Gnedenko B.V., Belyaev Yu.K., Soloviev A.D. Matematicheskiye metody v teorii nadezhnosti [Mathematical methods in the theory of reliability]. Moscow: Nauka, 1965, 524 p.

4. GOST 27.002-2015. Nadezhnost' v tekhnike. Terminy i opredeleniya [Reliability in technology. Terms and Definitions]. Moscow: Standartinform, 2016, 24 p.

5. GOST 31539-2012. Tsikl zhiznennykh zheleznodorozhnykh podvizhnogo sostava. Terminy i opredeleniya [The life cycle of railway rolling stock. Terms and Definitions]. Moscow: Standartinform, 2014, 12 p.

6. GOST R 51897-2011. Menedzhment riska. Terminy i opredeleniya [Risk management. Terms and Definitions]. Moscow: Standartinform, 2019, 12 p.

7. GOST R IEC 60300-1-2017. Menedzhment riska. Rukovodstvo po primeneniyu menedzhmenta nadezhnosti [Risk management. Guidance on the application of reliability management]. Moscow: Standartinform, 2017, 36 p.

8. GOST R 51901.3-2007. Menedzhment riska. Rukovodstvo po primeneniyu menedzhmenta nadezhnosti [Risk management. Guidance on the application of reliability management]. Moscow: Standartinform, 2020, 53 p.

9. GOST R 51901.1-2002. Menedzhment riska. Analiz riska tekhnologicheskikh sistem [Risk management. Risk analysis of technological systems]. Moscow: Gosstandart of Russia, 2002, 23 p.

Информация об авторах

Ермоленко Игорь Юрьевич – к.т.н., старший преподаватель кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: ermolenko_iy@list.ru

Authors

Igor Yurievich Ermolenko – Ph.D. of Engineering Sciences, senior lecturer of the department «Cars and carriage facilities», Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: ermolenko_iy@list.ru