

П.А. Гаврилин

**ФУНКЦИОНАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**



Москва 2008

П.А. Гаврилин

**ФУНКЦИОНАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**



Москва 2008

ББК 30.2

Г 12

Рецензент:

доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки

А.И. Половинкин

Волгоградский государственный технический университет

Гаврилин П.А.

Г 12

Функционально-экологическое проектирование
технических систем. – М.: Издательство «Спутник +»,
2008. – 47 с.

ISBN 978-5-9973-0053-1

ББК 30.2

Отпечатано с готового оригинал-макета автора.

ISBN 978-5-9973-0053-1

© Гаврилин П.А., 2008

Содержание

Предисловие.....	4
1. Методы оценки и проектирования технических систем с точки зрения экологии	6
1.1. Традиционные методики определения экологичности технической системы	6
1.2. Требования стандартов ГОСТ Р ИСО 14000 «Управление окружающей средой»	10
2. Методология функционально-экологического проектирования технических систем	16
2.1. Основы структурно-функционального подхода к анализу и проектированию систем	16
2.2. Алгоритм проведения функционально-экологического проектирования	23
3. Использование методологии функционально-экологического проектирования для анализа трактора сельскохозяйственного К- 700АТ	30
3.1. Поисково-исследовательский этап функционально- экологического анализа трактора К-700АТ	30
3.2. Функционально-экологический анализ трактора сельскохозяйственного К-700АТ	35
Заключение	43
Список литературы	44

*Посвящается моей маме
Марии Владимировне Гаврилиной*

Предисловие

Согласно христианской теологии человек является образом и подобием Бога, сотворившего вселенную из ничего. Образ Божий в человеке – это способность человека отражать в себе Божественные совершенства, среди которых и способность творить. «Бог является Творцом – человек также обладает творческими способностями, хотя в отличие от Бога творит не из ничего, а из подручного материала»¹. Было бы справедливым к этому добавить, что человек обладает не только способностью, но и потребностью творить, изменять мир, создавать новые материальные объекты.

Всё, что сотворил Бог, согласно Библии было «хорошо весьма» (Быт 1:31). К сожалению, материальные объекты (технические системы), создаваемые человеком, зачастую не дают поводов для подобных эпитетов и наряду с выполнением полезных функций оказывают значительное негативное воздействие на окружающую природную среду и здоровье людей. К настоящему времени данное воздействие возросло до таких масштабов, что стала очевидной необходимость пересмотра отношения к процессу создания новых и модернизации существующих технических систем. Во-первых, необходимо во главу угла поставить не экономическую выгоду производителя, а комплекс показателей: технических, экономических, экологических и социологических. А во-вторых, необходимо развивать передовые методики инженерного творчества с упором на экологию и обучать им специалистов.

Феномену инженерного творчества в недавнем прошлом было посвящено множество научных изданий. Выделялись труды Г.С. Альтшуллера, Н.К. Моисеевой, А.И. Половинкина, А.И. Скуратовича, Ф.И. Яловенко и многих других. В настоящее время интерес к данной проблеме незаслуженно упал.

Между тем, в последнее время получает распространение новая методология, алгоритмизирующая процесс создания новых технических систем – функционально-экологическое проектирование. Согласно ГОСТ Р 51750-2001 функционально-экологическое проектирование (ФЭП) технических систем – это синтезирующая принципы функциональности и экологичности ме-

¹ Давыденков Олег, иерей. Догматическое богословие [Текст] / иерей О. Давыденков. – М.: Изд-во ПСТГУ, 2005. – С.225.

тодология, основным критерием адекватности затрат в которой является экологичность системы и её элементов, характеризующихся рядом показателей². Однако, указанный нормативный документ не излагает подробной методологии ФЭП и не даёт чётких инструкций по её применению.

В существующей технической литературе можно встретить лишь отдельные статьи по данной тематике, принадлежащие разным авторам. Фундаментальные теоретические аспекты методологии ФЭП изложены в трудах Ю.А. Судника³.

Данная монография отражает исследования автора в области системного анализа и инженерного творчества, посвящённые разработке и апробации методологии функционально-экологического проектирования технических систем. В работе изложены сведения об используемых на практике методах оценки экологичности технических систем, приведен подробный алгоритм ФЭП, а также, в качестве примера, проведён анализ мобильного сельскохозяйственного агрегата с использованием разработанной методологии.

Книга предназначена для студентов, аспирантов, научных сотрудников, специалистов в области промышленной экологии и управления окружающей средой, а так же в смежных областях.

Автор с благодарностью примет все отзывы, пожелания, замечания и предложения по данному изданию, которые просит присылать по адресу: gapeal@mail.ru.

² ГОСТ Р 51750-2001. Энергосбережение. Методика определения энергоёмкости при производстве продукции и оказании услуг в технологических энергетических системах. Общие положения [Текст]. – Введ. 2002-01-01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002, С.1.

³ Напр.: Судник Ю.А. Компьютерное проектирование безопасных технических систем в сельском хозяйстве [Текст] / Ю.А. Судник // Экология и сельскохозяйственная техника: тез. докл. науч.-практ. конф. / СЗНИИМЭСХ. – СПб., 2002. – Т.3. – С.21-23.

Глава 1. Методы оценки и проектирования технических систем с точки зрения экологии.

1.1. Традиционные методики определения экологичности технической системы.

Традиционно под экологическим проектированием понимают прогноз и оценку воздействия на окружающую природную среду любого проекта хозяйственной и иной деятельности человека, которая потенциально может оказать негативное воздействие на окружающую среду. В узком значении термина экологическое проектирование – процесс обоснования и оценка воздействия на окружающую среду технических систем, либо специально предназначенных для изменения неблагоприятных свойств среды обитания человека, либо объектов, имеющих прямое природоохранное назначение⁴.

Этим обусловлено несколько существующих подходов к оценке негативного воздействия технических систем на среду обитания. Согласно первому подходу, базирующемуся на принципе лимитируемого воздействия, при создании новой или модернизации существующей технической системы проектировщик обязан отразить в проекте соответствие расчетных (измеренных) показателей негативного воздействия требованиям нормативных документов системы стандартов в области охраны окружающей среды.

В основу данного подхода положено понятие предельно допустимого показателя. Согласно ГОСТ 17.0.0.01-76 (2000) одной из важнейших народнохозяйственных задач является ограничение «поступлений в окружающую природную среду промышленных, транспортных, сельскохозяйственных и бытовых сточных вод и выбросов для снижения содержания загрязняющих веществ в атмосфере, природных водах и почвах до количеств, не превышающих предельно допустимые концентрации»⁵.

Вторым подходом при оценке негативного воздействия технической системы на окружающую среду является расчёт экономического эффекта мероприятий по обеспечению экологической безопасности технической систе-

⁴ Дьяконов К.Н. Экологическое проектирование и экспертиза [Текст] / К.Н. Дьяконов, А.В. Дончева. – М.: Аспект Пресс, 2002. – С.6

⁵ ГОСТ 17.0.0.01-76 (2000). Система стандартов в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов. Основные положения (СТ СЭВ 1364-78) [Текст]. – Введ. 1977-01-01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1976. – С.1.

мы по методике оценки предотвращённых эколого-экономических убытков, основную идею которой можно выразить формулой:

$$Y = \sum_{i=1}^n Y_{y\delta} \cdot M_i, \quad (1.1)$$

где Y – оценка в денежной форме общей величины предотвращённых эколого-экономических убытков; $Y_{y\delta}$ – показатель удельного эколого-экономического ущерба в рублях на единицу вредного воздействия; M_i – объём предотвращённого вредного воздействия на окружающую среду. Подробное изложение данной методики можно найти в нормативной литературе⁶.

Кроме расчёта экономического ущерба от негативного воздействия на окружающую природную среду различными авторами предложен ряд методик определения интегральной оценки экологичности различных технических систем. Большинство из них, в том числе и предлагаемая в данной работе методология ФЭП, используют различные варианты суммирования отношений нормируемых показателей к нормативным значениям.

Так, для мобильных сельскохозяйственных агрегатов (МСА) разработаны методы и средства оперативной оценки степени экологической безопасности. По аналогии с зарубежными стандартами введены пять категорий экологической безопасности технических систем в зависимости от ущерба, наносимого человеку, животным и окружающей природной среде, по которым можно назначать платежи отдельно по каждой категории⁷.

Диапазон коэффициента экологической опасности ($K_{ЭО}$), по которому назначаются категории экологической безопасности, охватывает наивысшие и предельные значения $K_{ЭО}$. Градация коэффициента позволяет дифференцировать высший, хороший, допустимый и недопустимый уровни экологической безопасности технических систем. Установлено 5 градаций категорий безопасности МСА:

1. Высшая и перспективная – машина по основным или большинству показателей удовлетворяет значениям перспективных или международных норм и годна для экспортных поставок. $K_{ЭО} < 0,90$.

⁶ Временная методика определения предотвращённого экологического ущерба [Текст]. – М.: [б.и.], 1999 – 41 с.

⁷ Обеспечение экологической безопасности и нормативной топливной экономичности тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин при эксплуатации: рекомендации [Текст] / Рос. акад. с.-х. наук. – М.: [б.и.], 2003. – С.68.

2. Хорошая (или 1-я) – машина удовлетворяет всем экологическим требованиям отечественных стандартов, перспективна на внутреннем рынке. $K_{Э0} < 0,95$.

3. Удовлетворительная – Машина может быть поставлена на производство, но в перспективе подлежит модернизации, если предлагается её длительное производство. $K_{Э0} < 1,00$.

4. Неудовлетворительная. Машина не подлежит постановке на производство. Машина подлежит срочной модернизации или снятию с производства в ближайшие годы после появления ей соответствующей замены. $K_{Э0} \leq 1,20$.

5. Недопустимая. Требуется срочное снятие машины с производства. $K_{Э0} > 1,20$.

Величиной, обратной коэффициенту экологической опасности является коэффициент экологической безопасности эксплуатации МСА: $K_{ЭБ} = 1/K_{Э0}$. $K_{ЭБ}$ представляется в виде относительного коэффициента ухудшения суммы экологических параметров, отнесённых к их нормативным значениям. Например, при оценке машин на стадии государственных приёмочных испытаний и сертификации можно записать⁸:

$$K_{ЭБ} = \left[K_{И} \frac{U_i}{U_{oi}} + \sum K_{\text{теч.}i} + K_N \frac{N_i}{N_{oi}} + K_{CO} \frac{g_{COi}}{g_{OCOi}} + K_{CH} \frac{g_{CHi}}{g_{OCHI}} + K_{NOx} \frac{g_{NOxi}}{g_{ONOXi}} + K_1 \frac{l_{1i}}{l_{O1}} + K_2 \frac{l_{2i}}{l_{O2}} + K_3 \frac{l_{3i}}{l_{O3}} + K_4 \frac{l_{4i}}{l_{O4}} + K_5 \frac{l_{5i}}{l_{O5}} + K_{\text{отх}}^{-1} \right] \quad (1.2)$$

где K – коэффициенты эколого-экономической весомости экологических параметров в общей экологической безопасности эксплуатации МСА в отношении его воздействия на оператора, пашню, растительный и животный мир: механического разрушения почвы ($K_{И}$), загрязнения нефтепродуктами ($K_{\text{теч}}$), дымностью отработанных газов (K_N), выбросами окиси углерода (K_{CO}), выбросами углеводородов (K_{CH}), выбросами окислов азота (K_{NOx}), а также шумом внутренним (K_1), шумом внешним (K_2), шумом пуска от пускового двигателя (K_5), вибрациями, передаваемыми на рабочее место оператора (K_3) и на органы управления машиной (K_4), весомостью технологических отходов МСА ($K_{\text{отх}}$).

В квадратных скобках уравнения 1.2 приведены измеренные при контроле величины экологических параметров, отнесённые к их соответствующим

⁸ Там же, 71.

щему нормативному значению. При каждом виде испытаний $K_{ЭБ}$ подсчитывается по своему соответственному набору экологических параметров.

Таблица 1.1

Коэффициенты весомости экологических показателей при сертификации МСА.

Обозначение	Наименование параметра	Гусеничный трактор Т-70	Колёсный трактор К-700А	Комбайн СК-5М
N, %	Дымность ОГ	0,02	0,028	0,020
g_{NOx} , г/кВт·ч	Концентрация окислов азота	0,15	0,160	0,025
g_{CO} , г/кВт·ч	Концентрация окислов углерода	0,01	0,012	0,015
g_{CH} , г/кВт·ч	Концентрация углеводородов	0,01	0,015	0,010
g_T , кг/ч	Утечка топлива	0,03	0,015	0,030
g_{MM} , кг/ч	Утечка моторного масла	0,03	0,032	0,025
g_{MT} , кг/ч	Утечка трансмиссионного масла	0,03	0,018	0,015
g_{MG} , кг/ч	Утечка гидравлического масла	0,04	0,020	0,020
P, кН/м	Максимальное давление на почву	0,30	0,250	0,400
$L_{ВНУТР}$, дБА	Шум внутренний	0,17	0,170	0,150
$L_{ВНЕШ}$, дБА	Шум внешний	0,04	0,050	0,030
$L_{ОБЩ}$, дБА	Вибрация общая	0,2	0,220	0,200
$L_{ЛОК}$, дБА	Вибрация локальная	0,09	0,080	0,080
$g_{ЕН}$, г/кВт·ч	Экономичность топлива	0,01	0,020	0,012
$K_{отх}$	Отходы технологические	0,03	0,020	0,020

В таблице 1.1 приведены некоторые коэффициенты весомости экологических показателей при сертификации тракторов и сельскохозяйственных машин⁹.

Аналогично, для оценки качества отработавших газов любого автомобиля предлагается использовать комплексный показатель – коэффициент опасности автомобиля (КОА)¹⁰, рассчитываемый по формуле:

⁹ Там же, С.71.

¹⁰ Бондаренко Е.В. Критериальная характеристика экологической безопасности и технического совершенства автотранспортных средств [Текст] / Е.В. Бондаренко, М.В. Коротков // Вестник ОГУ. – 2002. – №3. – С.25.

$$KOA_j = \sum_1^m \left(\frac{M_i}{ПДК_i} \right)^{\alpha_i}, \quad (1.3)$$

где α_i – безразмерная константа, позволяющая соотнести степень вредности i -го вещества с вредностью диоксида серы (III класс опасности);

ПДК – максимально-разовая предельно допустимая концентрация, г/м³;

M_i – количество выбросов i -ой примеси в атмосферу.

Сравнивая КОА для автомобиля, удовлетворяющего правилам ЕЭК ООН (ЕВРО), и реально существующий транспорт, можно относить последний к различным категориям: неопасной, мало опасной, умеренно опасной, высоко опасной и чрезвычайно опасной.

Таким образом, наряду с классическим подходом, базирующимся на принципе лимитируемого воздействия, существует ряд методик определения интегральной оценки экологичности. Первая группа данных методик предназначена для расчета эколого-экономических показателей. Вторая группа позволяет сравнивать технические системы с большим набором различных экологических показателей с целью выбора наиболее предпочтительного технического решения, а также соотнесения их к различным категориям по уровню экологической опасности.

Описанные выше методики имеют два существенных недостатка. Во-первых, все они не позволяют оценить экологичность технической системы на всех стадиях жизненного цикла. Во-вторых, все они рассматривают техническую систему, как «чёрный ящик» с выходящими вредными потоками вещества и энергии, т.е. абсолютно не соотносят экологические показатели с качеством выполнения технической системой своих функций (с полезными потоками), экономичностью и т.д.

1.2. Требования стандартов ГОСТ Р ИСО 14000

«Управление окружающей средой».

Воздействие технической системы на окружающую среду не ограничивается выходными вредными потоками вещества и энергии на этапе её эксплуатации: выбросами вредных веществ в атмосферу, загрязнением воды шумами, загрязнением, уплотнением и порчей почвы. Невозможно дать комплексную оценку экологической безопасности технической системы и наметить меры по её совершенствованию, не учитывая все стадии жизненного цикла – от добычи сырья до захоронения остатков.

Поэтому в мировой практике получили широкое распространение CALS-технологии (Continuous Acquisition and Life Support – сопровождение и поддержка жизненного цикла изделий).

Жизненный цикл технической системы (ЖЦ ТС) принято выражать в последовательности хронологических этапов: создания (добыча и переработка сырья, производство конструкционных, эксплуатационных материалов, транспортировка, хранение), производства (изготовление объектов), использования, восстановления работоспособности и утилизации (рис.1.1)¹¹.

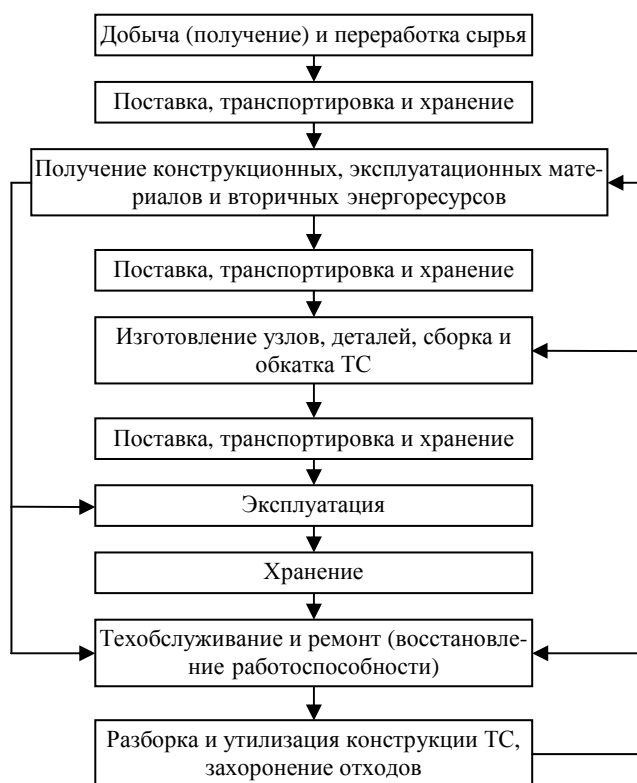


Рис.1.1. Схема ЖЦ ТС

На каждом из этапов жизненного цикла технической системы происходит потребление энергоресурсов, конструкционных и эксплуатационных материалов (входные потоки); технологические процессы сопровождаются выбросами вредных веществ в атмосферу, почву, сбросами в воду, энергетическими загрязнениями, появлением твёрдых отходов (выходные потоки).

Приведенные этапы жизненного цикла регламентируются международными стандартами ГОСТ Р ИСО 14040-14043, которые утверждают, что решение

о том, чтобы не учитывать стадии жизненного цикла, процессы или входные/выходные потоки, должно быть чётко сформулировано и обосновано. Критерии установления границы системы определяют степень доверия к результатам исследования.

Рекомендуется учитывать следующие стадии жизненного цикла, единичные процессы и потоки:

- входные и выходные потоки основной последовательности процесса изготовления/обработки;

¹¹ Луканин В.Н. Промышленно-транспортная экология [Текст] / В.Н. Луканин, Ю.В. Трофименко. – М.: Высшая школа, 2003. – С.10.

- распределение/транспортирование;
- производство и использование топлива, электричества и тепла;
- использование и техническое обслуживание продукции;
- удаление продукции и отходов производства;
- утилизация использованной продукции (включая повторное использование, рециклинг и получение энергии за счёт утилизации отходов);
- производство дополнительных материалов;
- производство, техническое обслуживание и вывод из эксплуатации основного оборудования;
- дополнительные работы, такие как освещение, отопление;
- другие факторы, относящиеся к оценке воздействия (если таковые имеются)¹².

На данных принципах построена система стратегий экологических приоритетов для проектирования продуктов (*Environmental Priority Strategies*), в которой для получения общего индекса материала, выраженного в единицах экологического воздействия (*environmental load units, ELU*) на килограмм используемого материала, суммируют все стадии жизненного цикла. При вычислении индекса учитывают следующие факторы: масштаб (общее воздействие на среду), распределение (размер и состав), частоту и интенсивность (степень воздействия на подвергающуюся воздействию территории), длительность (постоянство воздействия), вклад (отношения эффекта от 1 кг материала к общему эффекту), восстанавливаемость (стоимость ликвидации воздействия от 1 кг материала). Отдельные значения индексов приводятся в таблице 1.2¹³.

Например, выбирая между композитом GMT и гальванизированной сталью, как материалом для передней панели автомобиля, можно обнаружить, что стальные продукты во время производства оказывают большое воздействие, но так как легко повторно используются, ELU стадии утилизации ниже, чем у композита. Но сталь тяжелее композита, поэтому использование стали приводит к большим воздействиям на окружающую среду во время эксплуатации. Итоговый выбор конструктивно не очевиден. Полимерный материал предпочтителен на стадиях производства и эксплуатации,

¹² Пашков Е.В. Международные стандарты ИСО 14000. Основы экологического управления [Текст] / Е.В. Пашков, Г.С. Фомин, Д.В. Красный. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. – С.145.

¹³ Гридэл Т.Е., Промышленная экология [Текст] / Т.Е. Гридэл, Б.Р. Алленби; пер. с англ. Э. В. Гирусова – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. – С.294.

сталь – на этапе утилизации. Общий ELU для стальной панели – 40,65, для полимерной – 25,76. Следовательно, использование композита в данном случае предпочтительнее с точки зрения экологии¹⁴.

Таблица 1.2

Некоторые экологические индексы

Сырьё	Экологический индекс, ELU/кг
Железо (Fe)	0,96
Марганец (Mn)	5,64
Свинец (Pb)	175
Платина (Pt)	7430000
Родий (Rh)	4950000
Селен (Sn)	1190
Вольфрам (V)	56
Никель (Ni)	160

Весьма показательный сравнительный анализ полного жизненного цикла различных видов топлива с точки зрения выбросов вредных веществ в атмосферу на примере автомобиля ВАЗ-2108 провели специалисты НАМИ¹⁵.

Полный жизненный цикл бензина состоит из трёх последовательных процессов: добыча нефти, нефтепереработка и получение энергии на автомобиле. Добыча и переработка нефти сопровождается загрязнением атмосферы углеводородами, водоёмов и почвы вредными отходами. Технология добычи нефти связана со значительным водопотреблением – на каждую тонну нефти затрачивается 1,9 кубометров воды¹⁶. Потери топлива на этапах транспортировки и переработки, хранения и реализации ведут к существенным экологическим последствиям. По данным министерства энергетики России в 2000 году потери нефти при транспортировке и переработке составили 3,16% от общего количества добытой нефти (379,6 млн. т), а при хранении и реализации – 0,42%. Затраты на ликвидацию последствий загрязнения по оценкам экспертов составили 20,4 млрд. долларов США¹⁷.

¹⁴ Там же, С.298.

¹⁵ Звонов В.А. Экология: альтернативные топлива с учетом их полного жизненного цикла [Текст] / В.А. Звонов, А.В. Козлов, А.С. Теренченко // Автомобильная промышленность. – 2001. – №4. – С.10-12.

¹⁶ Ксеневиц И.П. Современные проблемы прикладной механики наземных тягово-транспортных систем (Часть 1) [Текст] / И.П. Ксеневиц // Приводная техника. – 2002. – №1. – С.7.

¹⁷ Силаков А.В. Объекты системы нефтепродуктообеспечения России [Текст] / А.В. Силаков, А.Г. Стремоухов, А.А. Каждан // Экология производства. – 2004. – №1. – С.45.

В таблице 1.3 приведено среднее суммарное количество выбросов семи видов топлива на стадии производства топлива и на стадии эксплуатации транспортного средства¹⁸.

Таблица 1.3

Суммарные выбросы и ущерб от выбросов вредных веществ при производстве топлив и при эксплуатации мобильного средства

	Бензин из нефти	Сжиженный нефтяной газ	Сжатый природный газ	Бензин из угля	Метанол из угля	Метанол из сжатого природного газа	Метанол из биомассы	Электромобиль, Электроэнергия, производимая на угольных электростанциях	Электромобиль, Электроэнергия, производимая электростанциями на жидком топливе
Суммарный выброс при производстве топлива, г/км	4,60	0,136	0,143	9,09	12,0	0,58	1,394	13,16	6,96
Суммарный выброс при эксплуатации, г/км	27,51	19,49	21,65	27,29	20,68		0,0		
Ущерб от выбросов вредных веществ на стадии производства топлива, коп./км	15,59	0,91	0,99	55,34	38,74	5,11	16,48	65,59	50,86
Ущерб от выбросов вредных веществ на стадии эксплуатации, коп./км	48,44	35,57	73,52	44,50	22,98		0,0		
Суммарный ущерб от выбросов вредных веществ на всех стадиях, коп./км	64,03	36,48	74,51	99,84	61,72	28,09	39,45	65,59	50,86

Анализ приведённых данных даёт интересный результат. Он позволяет обратить внимание на заблуждение общественного мнения относительно

¹⁸ Звонов В.А. Экология: альтернативные топлива с учетом их полного жизненного цикла [Текст] / В.А. Звонов, А.В. Козлов, А.С. Теренченко // Автомобильная промышленность. – 2001. – №4. – С.12.

электромобилей и усомниться в адекватности маркировки «Экологичный вид транспорта» на поездах метро или троллейбусах.

ГОСТ Р ИСО 14041-2000 особое внимание обращает на то, что при определении области оценки жизненного цикла должны быть сформулированы чёткие требования к функциям продукции, для чего вводятся понятия функциональной единицы и базового потока.

Функциональная единица – это база, на которую математически нормализуют количественные оценки входных и выходных потоков. Для определения функциональной единицы необходимо определить количество ресурсов, требуемых для выполнения функции. Результатом такого количественного измерения является базовый поток.

Базовый поток используют для расчёта входных и выходных потоков технической системы. Сравнения систем проводят на основе одной и той же функции, количественно оцениваемой одной и той же функциональной единицей в виде их базовых потоков¹⁹.

Изложенные выше примеры показывают необходимость учитывать все этапы жизненного цикла технической системы при определении интегрального показателя её экологической безопасности. На практике это оказывается достаточно тяжело, так как, например, конструктору автомобиля сложно оценивать вклад в общий экологический ущерб добычи и переработки сырья, тем более у разных поставщиков он может оказаться разным. Решением проблем могла бы стать экологическая сертификация производств с тем, чтобы выходящая с них продукция имела не только цену, но и экологический индекс, отражающий удельный ущерб (на единицу продукции), нанесённый окружающей среде на всех предыдущих стадиях жизненного цикла.

Кроме того, положения экологических стандартов ГОСТ Р ИСО 14000 требуют оценивать не только выходные вредные потоки технических систем, но и качество выполнения системой своих функций. В будущем это приведёт к тому, что экологическое проектирование наконец-то перестанут определять, как некое дополнительное исследование, что позволит синтезировать его с общим процессом создания новых технических систем.

¹⁹ ГОСТ Р ИСО 14041-2000. Управление окружающей средой. Оценка жизненного цикла. Определение цели, области исследования и инвентаризационный анализ [Текст]. – Введ. 2001-07-01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2000. – С.5.

Глава 2. Методология функционально-экологического проектирования технических систем.

2.1. Основы структурно-функционального подхода к анализу и проектированию систем.

В настоящее время известны эффективные методы проектирования и прогноза развития технических систем, базирующиеся на стоимостном, системном и функциональном подходах (например, методология функционально-стоимостного анализа – ФСА). Системный подход опирается на то, что системность, как всеобщее свойство материи, позволяет рассматривать мир как бесконечную иерархическую систему систем²⁰, поэтому правомерно говорить о любом техническом объекте как о совокупности подсистем и как о компоненте надсистемы. Главная идея функционального анализа состоит в том, что для пользователя ценна не сама система (технологии, конструкции, организации, структуры, их отношения) по себе, а те функции, которые она выполняет. При таком подходе система описывается не только структурой частей, но и содержанием выполняемых ею функций. Универсальность функционального подхода объясняется функциональной природой всех изучаемых явлений²¹. Функциональное описание технической системы обеспечивает не только количественное, но и качественное описание технической системы, позволяя тем самым соединить две области теоретического знания – математическую и концептуальную²². Таким образом, новые эффективные решения находят с учётом выполнения требуемых потребителю функций, имеющих минимальную стоимость.

Функция, реализуемая технической системой, или техническая функция, отражает и описывает её назначение. Описание технической функции должно отвечать на вопросы:

1. Какое действие производит техническая система?
2. На какой объект (предмет труда) направлено это действие?
3. Какой результат получается в результате произведённого действия?
4. При каких особых условиях и ограничениях выполняется это действие?

²⁰ Антонов А.В. Системный анализ [Текст] / А.В. Антонов. – М.: Высшая школа, 2004. – С.8.

²¹ Моисеева Н.К. Функционально-стоимостный анализ в машиностроении [Текст] / Н.К. Моисеева. – М.: Машиностроение, 1987. – С.29.

²² Там же, 37.

Исходя из этих требований, техническую функцию можно описать следующей формулой

$$\Phi = (D, G, R, H) \quad (2.1)$$

где D – описание действия, производимого технической системой и приводящего к желаемому результату, т.е. к удовлетворению (реализации) определённой потребности; G – описание объекта (предмета труда), на который направлено действие D ; R – результат произведённого действия; H – описание особых условий и ограничений (если такие существуют), при которых выполняется действие²³.

Системный и функциональный подходы тесно взаимосвязаны. Их взаимосвязь особенно ярко проявляется в законе соответствия между функциями и структурой. Начиная с древнейших времён, многие философы высказывали одинаковые или сходные мысли о существовании удивительного соответствия между функциями (назначением) органов живого организма или элементов (узлов и деталей) технического объекта и их структурой (конструкцией, формой). Так, было замечено, что живые организмы или технические системы, работающие в одинаковых условиях, имеют одинаковую форму и структуру.

Если подытожить примерно двухтысячелетнюю историю развития и разработки проблемы соответствия между функцией и структурой, то она, можно сказать, привела к формулированию закона строения техники на качественном уровне. Главная суть этого закона заключается в том, что в материальной структуре правильно спроектированной и нормально работающей технической системы каждый элемент (блок, узел, деталь) и его конструктивный признак имеют вполне определённую функцию по обеспечению работы технической системы. И если лишить техническую систему любого элемента или конструктивного признака, то он либо перестанет работать (выполнять свою функцию), либо ухудшит показатели своей работы. В связи с этим у правильно спроектированных технических систем обычно не бывает "лишних деталей"²⁴.

Кроме того, в технической системе, в которой достигнуто достаточно полное соответствие между функциями и структурой, имеет место оптимальное соотношение параметров, которые характеризуют структуру технической

²³ Половинкин А.И. Теория проектирования новой техники: закономерности техники и их применение [Текст] / А.И. Половинкин. – М.: Информэлектро, 1991. – С.8.

²⁴ Там же, С.33.

системы и её элементов и обеспечивают конкурентоспособные значения критериев эффективности при действующих ограничениях по характеристикам выполняемых функций и внешних факторов. При этом отклонение от оптимальных параметров приводит либо к неконкурентоспособным значениям критериев эффективности, либо техническая система становится неработоспособной – не выполняет одну или несколько своих функций²⁵.

Для четырёх широких классов технических систем: обрабатывающие машины, источники энергии, информационные приборы и системы, сооружения, были сформулированы закономерности функционального строения технических систем. К обрабатывающим машинам относятся металлорежущие станки, мельницы и камнедробилки, нагревательные печи, наземные, водные и транспортные средства, насосы и сепараторы, холодильники и термостаты, грузоподъемное оборудование и другие технические системы, осуществляющие обработку материального предмета труда. Закономерность функционального строения обрабатывающих машин имеет следующую формулировку:

Технические системы или человеко-машинные технические комплекты, предназначенные для обработки материального предмета труда, состоят из четырёх подсистем S_1, S_2, S_3, S_4 , реализующих соответственно четыре фундаментальные функции:

Φ_1 – технологическая функция, обеспечивающая превращение исходного состояния предмета труда A_0 в конечную продукцию A_k ;

Φ_2 – энергетическая функция, превращающая вещество или извне полученную энергию W_0 в конечный вид энергии W_k , необходимый для реализации функции Φ_1 ;

Φ_3 – функция управления, осуществляющая управляющие воздействия U_1, U_2 на подсистемы S_1, S_2 в соответствии с заданной программой Q и полученной информацией U_1^0, U_2^0 о количестве и качестве выработанных конечной продукции A_k и конечной энергии W_k ;

Φ_4 – функция планирования, собирающая (получающая) информацию о произведённой продукции A_k и определяющая потребные качественные характеристики конечной продукции A_k ²⁶.

К источникам энергии относятся водяные колёса и ветряные мельницы, паровые машины и двигатели внутреннего сгорания, гидравлические и паро-

²⁵ Там же, С.40.

²⁶ Там же, С.36.

вые турбины, электрические генераторы и двигатели, аккумуляторы, ядерные реакторы и т.п. Закономерность функционального строения источников энергии формулируется следующим образом:

Технические системы или человеко-машинные технические комплекты, предназначенные для получения энергии, состоят из четырёх подсистем S_1, S_2, S_3, S_4 , реализующих соответственно четыре функции:

Φ_1 – функция получения первичной энергии, превращающая вещество или извне полученную энергию W_e в исходный (первичный) вид энергии W_0 , удобный для дальнейшей обработки (преобразования);

Φ_2 – функция преобразования, превращающая исходный вид энергии W_0 в конечный вид W_k , необходимый для использования;

Φ_3 – функция управления, осуществляющая управляющие воздействия U_1, U_2 на подсистемы S_1, S_2 в соответствии с заданной программой Q и полученной информацией U_2^0 о количестве и качестве произведённого конечного вида энергии W_k ;

Φ_4 – функция планирования, собирающая (получающая) информацию Q^0 о выработанной энергии W_k и определяющая потребные Q количественные и качественные характеристики конечной энергии Q_k .

К информационным приборам и системам относятся первичные преобразователи (датчики), шкальные приборы для измерения различных физических величин, аналоговая и цифровая вычислительная техника, системы автоматического управления (без приводов и исполнительных органов), автоматизированные системы научных исследований, системы автоматического проектирования и т.п. Закономерность функционального строения информационных приборов и систем имеет, можно сказать, полный изоморфизм с приведённой закономерностью функционального строения источников энергии, в которой вместо обрабатываемой энергии следует иметь в виду обрабатываемые сигналы (информацию)²⁷.

Машины, приборы, аппараты и другие сложные технические системы состоят из функциональных элементов в виде блоков, узлов и т.п., которые осуществляют качественное и количественное преобразование свойств потоков вещества, энергии или информационных сигналов. То есть каждый элемент имеет входы, выходы, реализует определённую функцию преобразования и обособлен конструктивно.

²⁷ Там же, С.38.

В технических системах среди всех подсистем (элементов), как правило, можно выделить главную подсистему, работа которой непосредственно обеспечивает выполнение функции технической системы, а остальные подсистемы (элементы) обеспечивают работу главной подсистемы. При этом функции главной подсистемы и всей технической системы часто совпадают. Главная подсистема обычно является ядром, вокруг которой группируются остальные подсистемы.

В технической системе подсистемы обычно имеют определённое взаимное расположение (жёсткие связи), соединены между собой каналами передачи вещества, энергии или сигналов (обычно гибкие связи) и имеют необходимую защиту от действия неблагоприятных факторов, что в итоге гарантирует целостность и работоспособность всех подсистем. Для обеспечения указанных связей между подсистемами и их защиты требуются дополнительные затраты, поскольку они прямо зависят от компоновки (взаимного расположения) подсистем. В связи с этим экологический ущерб от технической системы условно складывается из двух частей: первая – суммарный ущерб от отдельных подсистем, второй – компоновочный ущерб²⁸.

Практика показывает, что наиболее совершенные функционально организованные системы в реализации требуют соблюдения четырёх основных принципов:

1. Принцип совместимости функций. Совместное функционирование элементов системы как единого целого возможно лишь тогда, когда они обладают свойством совместимости по наиболее существенным видам связей и отношений. Учёт принципа совместимости должен иметь место при объединении элементов. Несовместимость по каким-либо видам связи должна компенсироваться введением звеньев-посредников, выполняющих функции согласования этих элементов. Затраты на обеспечение совместимости должны быть минимальными. Степень удовлетворения принципу совместимости характеризуют коэффициенты структурной k_{CN} и функциональной k_{CF} совместимости:

$$k_{CN} = 1 - \frac{N_c}{N_{об}} \quad \text{и} \quad k_{CF} = 1 - \frac{F_c}{F_n}, \quad (2.2)$$

²⁸ Там же, С.40.

где N_C, F_C – число элементов (посредников) и функций соответственно, выполняющих только функцию согласования (компенсации);

$N_{об}, F_n$ – общее число полезных (вредных) функций и материальных элементов (носителей функций) в системе.

Другой разновидностью показателя совместимости является коэффициент контактных связей $k_{кс}$ между элементами системы:

$$k_{кс} = \frac{C_{кс}}{C_{об}}, \quad (2.3)$$

где $C_{кс}$ - число контактных связей элементов,

$C_{об}$ - общее число связей (контактных, корреляции) между элементами системы.

Чем больше $k_{кс}$, тем большая сложность изготовления и вероятность отказа системы в эксплуатации. По аналогии определяются коэффициенты для связей корреляции.

2. Принцип актуализации функций. В идеальной системе все функции должны быть полезными. Однако, в реальных системах присутствуют не только ненужные и бесполезные функции, но и вредные как для системы, так и для окружающей среды и человека. При проектировании систем принцип актуализации выступает как условие прогрессивности создаваемых устройств, технологий путём использования всех свойств элементов в соответствии с их функциональным характером и предотвращения вредных, ненужных и бесполезных для системы функций и элементов. Учёт этого принципа способствует повышению экологичности систем и экономии ресурсов при их изготовлении и эксплуатации. Степень удовлетворения систем принципу актуализации функций определяется коэффициентами полезных $K_{нф}$, вредных $K_{вф}$ функций, а также коэффициентами полезных $K_{нс}$ и вредных $K_{вс}$ связей:

$$K_{нф} = \frac{F_n}{F_{об}}; \quad K_{вф} = \frac{F_в}{F_{об}}; \quad K_{нс} = \frac{C_{нс}}{C_{об}}; \quad K_{вс} = \frac{C_{вс}}{C_{об}}, \quad (2.4)$$

где $F_n, F_в$ - число соответственно полезных и вредных функций системы (её компонентов);

$C_{нс}, C_{вс}$ - число соответственно полезных и вредных связей в системе;

$F_{об}, C_{об}$ - общее число соответственно выполняемых функций (полезных, вредных, бесполезных) и связей в системе.

3. Принцип сосредоточения функций. Такой принцип предполагает сосредоточение усилий отдельных функций и элементов на реализацию основных функций системы. Степень удовлетворения такому принципу определяется коэффициентом $K_{фв}$ функционального воплощения

$$K_{фв} = \frac{F_{осн}}{F_{всп}}, \quad (2.5)$$

где $F_{осн}, F_{всп}$ - число соответственно основных полезных и вспомогательных (обеспечивающих выполнение основных функций) функций системы.

4. Принцип гибкости (управляемости) функций. Такой принцип определяет степень удовлетворения заданным функциям, который обеспечивается с помощью управляющих устройств (например, автоматических) либо самонастройки системы. Коэффициент функциональной широты $K_{фш}$ является показателем, отражающим степень удовлетворения принципу гибкости функций.

$$K_{фш} = \frac{F_p}{F_n}, \quad (2.6)$$

где F_p - потенциально полезные функции (регулируемые и нерегулируемые)²⁹.

Таким образом, основным методологическим стержнем функционально-экологического проектирования (ФЭП) технических систем может служить функционально-структурный подход, который учитывает:

- взаимосвязь функций и структуры технической системы при определяющей роли функции по отношению к структуре;
- целостный подход к анализу и синтезу многоуровневых систем;
- материальные, энергетические и информационные связи между элементами системы;
- взаимосвязи технической системы с внешней средой;
- рассмотрение системы в развитии;

²⁹ Моисеева Н.К. Функционально-стоимостный анализ в машиностроении [Текст] / Н.К. Моисеева. – М.: Машиностроение, 1987. – С.52.

- использование общих законов материального мира и закономерности развития систем определенного класса³⁰.

2.2. Алгоритм проведения функционально-экологического проектирования технических систем.

Алгоритм ФЭП разделяется на четыре этапа: информационно-подготовительный, аналитический, поисково-исследовательский, этап разработки и внедрения.

На **информационно-подготовительном** этапе происходит определение конкретных задач по ведению ФЭП, составление рабочего плана проведения ФЭП, утверждение состава рабочей группы, сбор и систематизация информации об объекте исследования, изучение аналогов, исследование условий эксплуатации и т.д. Решения, принятые на данном этапе, во многом определяют дальнейший алгоритм проектирования. Наиболее важным представляется определение цели проектирования с точки зрения новизны изделия. По степени новизны изделия цели проектирования принято подразделять на пять групп³¹:

- группа А. Текущая модернизация. Повышение экологического и технического уровней серийно выпускаемой техники без значительных конструктивных изменений.

- группа Б. Модификация. Введение в базовую техническую систему изменений, обеспечивающих её использование для специальных работ.

- группа В. Коренная модернизация. Введение значительных конструктивных изменений, приводящих к качественным изменениям экологических и технических характеристик.

- группа Г. Новая конструкция. Создание новой базовой конструкции взамен существующей.

- группа Д. Принципиально новая конструкция. Создание новой экологически безопасной технической системы на основе нетрадиционных и неизвестных ранее технических решений.

В зависимости от цели исследования на **аналитическом** этапе проектирование начинается с построения либо структурной (группы А, Б и В), либо функциональной (группы В, Г и Д) модели.

³⁰ Там же, С.50.

³¹ Яловенко Ф.И. Применение теории решения изобретательских задач (ТРИЗ) в системе ФСА отрасли (методические рекомендации) [Текст] / Ф.И. Яловенко. – М.: [б.и.], 1990 – С.54.

Очевидно, что при модернизации или модификации технической системы мы можем проанализировать её структуру, так как она уже существует (по этой причине в данном случае вместо термина ФЭП чаще используют более корректный для групп А и Б: функционально-экологический анализ – ФЭА). Структурная модель включает в себя элементы объекта анализа, а также описание направленных потоков между элементами и направленных потоков между элементами технической системы и элементами надсистемы.

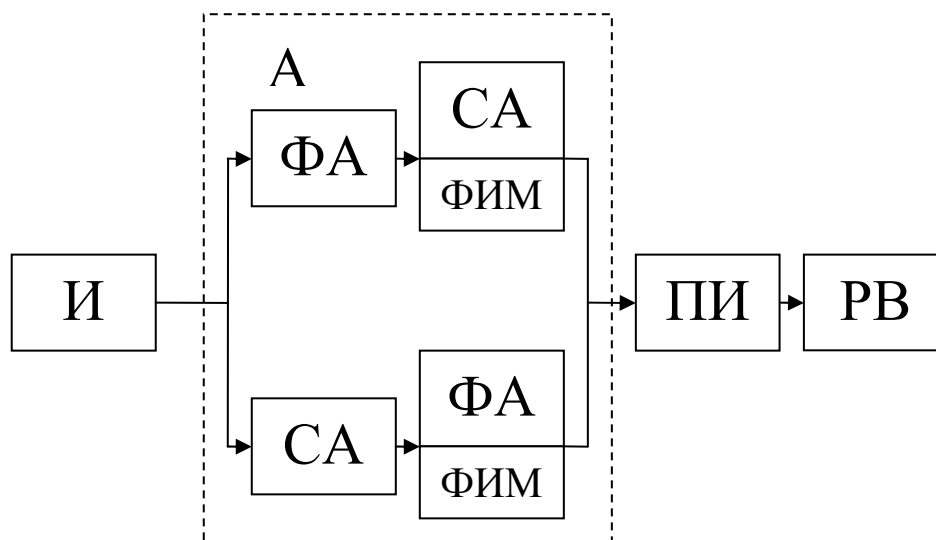


Рис. 2.1. Структура функционально-экологического проектирования:

- И – информационно-подготовительный этап;
- А – аналитический этап;
- ФА – функциональный анализ;
- СА – структурный анализ;
- ФИМ – функционально-идеальное моделирование;
- ПИ – поисково-исследовательский этап;
- РВ – этап разработки и внедрения.

При создании новой конструкции начинают с построения функциональной модели в виде графа, для чего определяются главная и второстепенные функции технической системы (I уровень), основные функции (II уровень) и, при более детальной проработке, вспомогательные функции (III и IV уровень).

Следующим шагом является построение совместной структурно-функциональной модели объекта. Если мы уже имеем структурную модель, для создания функциональной модели технической системы необходимо сформулировать главные функции по каждому анализируемому элементу, а

также произвести ранжирование функций с определением главной функции системы. Для второго варианта по функциональной модели строятся варианты структурной модели.

Каждый элемент структурно-функциональной системы может быть увязан с соответствующими материальными носителями, что даёт возможность оценить экологический ущерб от реализации каждой функции и затраты на их реализацию. Сопоставительный анализ значимости функции, экологического ущерба и затрат с последующим построением функционально-экологической диаграммы позволяет сформулировать задачи совершенствования объекта на последующих этапах ФЭП.

Таблица 2.1

Классы экологического ущерба в зависимости от превышения в дБ уровней шума, локальной и общей вибрации, инфра- и ультразвука на рабочем месте

Название фактора, показатель, единица измерений	Класс экологического ущерба						
	Оптимальный	Допустимый	Вредный				Опасный
	0	1	2	3	4	5	6
<i>Превышение ПДУ</i>							
ШУМ Эквивалентный уровень звука, дБА	Фоновый	≤ПДУ	5	15	25	35	>35
ВИБРАЦИЯ ЛОКАЛЬНАЯ Эквивалентный скорректированный уровень виброскорости/виброускорения дБ/раз	-	≤ПДУ	3/1,4	6/2	9/2,8	12/4	>12/4
ВИБРАЦИЯ ОБЩАЯ Эквивалентный скорректированный уровень виброскорости/виброускорения, дБ/раз	-	≤ПДУ	6/2	12/4	18/6	24/8	>24/8
ИНФРАЗВУК Общий уровень звукового давления, дБ Лин	Фоновый	≤ПДУ	5	10	15	20	>20
УЛЬТРАЗВУК ВОЗДУШНЫЙ Уровни звукового давления в 1/3 октавных полосах частот, дБ	Фоновый	≤ПДУ	10	20	30	40	>40
УЛЬТРАЗВУК КОНТАКТНЫЙ Уровень виброскорости, дБ	-	≤ПДУ	5	10	15	20	>20

Для построения функционально-экологической диаграммы необходимо чётко определить показатель экологической значимости для количественной оценки технической системы, то есть определить *экологическую единицу* для данной системы. За экологическую единицу может быть принят экономический показатель (например, на основе штрафных санкций), технический показатель (выраженный в виде физической величины) или специально разра-

ботанный для данной системы интегральный показатель. При невозможности выявления количественного показателя для экологической единицы, целесообразно использовать вместо неё оценки экспертов.

В третьей главе для определения экологического ущерба была использована методика экспертных оценок при поддержке специально разработанного алгоритма определения класса экологического ущерба технической системы.

Таблица 2.2

Классы экологического ущерба в зависимости от концентраций и выбросов вредных веществ

Вредные вещества	Класс экологического ущерба						
	Оптимальный	Допустимый	Вредный				Опасный
	0	1	2	3	4	5	6
<i>Превышение ПДК (ПДВ), раз</i>							
Вредные вещества 1-4 классов опасности, за исключением перечисленных ниже	Фоновый	\leq ПДК (ПДВ)	1,1-3,0	3,1-10,0	10,1-15,0	15,1-20,0	>20,0
Вещества опасные для развития острого отравления с остронаправленным механизмом действия, хлор, аммиак	0	\leq ПДК (ПДВ)	1,1-2,0	2,1-4,0	4,1-6,0	6,1-10,0	>10,0
Вещества опасные для развития острого отравления раздражающего действия	0	\leq ПДК (ПДВ)	1,1-2,0	2,1-5,0	5,1-10,0	10,1-50,0	>50,0
Канцерогены; вещества, опасные для репродуктивного здоровья человека	0	\leq ПДК (ПДВ)	1,1-2,0	2,1-4,0	4,1-10,0	10,1-20,0	>20,0
Аллергены высоко опасные	0	\leq ПДК (ПДВ)	-	1,1-3,0	3,1-15,0	15,1-20,0	>20,0
Аллергены умеренно опасные	0	\leq ПДК (ПДВ)	1,1-2,0	2,1-5,0	5,1-15,0	15,1-20,0	>20,0

По данной методике каждому виду вредного воздействия, исходя из числовых параметров, был присвоен один из 6 классов: оптимальный (нулевой класс), допустимый (первый), 1-й вредный (второй), 2-й вредный (третий), 3-й вредный (четвёртый), 4-й вредный (пятый), опасный (шестой). В таблице 2.1. приведены классы в зависимости от превышения в дБ уровней шума, локальной и общей вибрации, инфра- и ультразвука. В таблице 2.2 приведены классы экологического ущерба в зависимости от содержания в воздухе вредных веществ и в зависимости от выбросов вредных веществ в

атмосферу. Классификация была разработана по аналогии с «Руководством по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса»³².

После определения классов экологического ущерба отдельных потоков определяется общая оценка по наиболее высокому классу. В случае сочетания трёх и более факторов, относящихся к классу 2, общая оценка соответствует классу 3, а при сочетании двух и более факторов классов 3, 4, 5 общая оценка выставляется на одну степень выше.

Значимость каждой функции определяется экспертным путём, в простейшем случае путём проставления оценок. В третьей главе для функционально-экологического анализа трактора К-700АТ был использован метод расстановки приоритетов (метод попарных сравнений), основанный на особых формах экспертизы и матричной записи. Эксперты высказывали свои суждения путём парных сравнений вариантов по каждому из частных критериев с использованием шкалы словесных определений уровня значимости (табл.2.3)³³.

Таблица 2.3.

Шкала относительной значимости.

№№ п/п	Уровень значимости	Количественное значение
1	Равная значимость	1
2	Умеренное превосходство	3
3	Существенное или сильное превосходство	5
4	Значительно (большое) превосходство	7
5	Очень большое превосходство	9

Коэффициенты значимости вычисляются по формуле:

$$K_i = \sqrt[n]{a_{1j} \times \dots \times a_{ij} \times \dots \times a_{nj}} \quad (2.7)$$

где

n – размер матрицы сравнений;

a_{ij} – количественное значение уровня значимости i -ой функции по отношению к j -ой.

Стоимость реализации каждой функции рассчитывается исходя из стоимости материального носителя данной функции. Различные методики

³² Р 2.2.2006–05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда [Текст]. – Взамен Р 2.2.755-99, введ. 2005-11-01. – М.: [б.и.], 2005. – с.16.

³³ Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений [Текст] / О.И. Ларичев – М.: Университетская книга, Логос, 2006. – С.116.

определения затрат на реализацию функции разработаны в рамках алгоритма функционально-стоимостного анализа (ФСА)³⁴.

Одним из ключевых моментов ФЭП является построение функционально-идеальной модели (ФИМ) и определение идеального конечного результата (ИКР) для функции. Под ИКР понимают требуемое или желаемое состояние объекта. Понятие ФИМ несколько шире. Это образ, гипотеза, метафора, содержащие представление о том, как должен функционировать объект, чтобы достичь ИКР. Поэтому чаще формулируют ФИМ, в которой неявно задан ИКР³⁵.

ИКР является ситуация, когда функция элемента технической системы выполняется, а сам элемент отсутствует. Существует три основных варианта достижения этой цели: повышение многофункциональности элементов технической системы; сворачивание частей системы в рабочий орган; передача функции элементу надсистемы (в конечном случае надсистемой будет окружающая природная среда)³⁶.

На **поисково-исследовательском** этапе современными методами инженерного творчества вырабатываются идеи и предложения по реализации функций и совершенствованию технической системы.

К методам инженерного творчества, использование которых может обеспечить наилучший результат при проектировании экологически безопасных систем, относят следующие группы:

1. Алгоритмические методы, например, теория решений изобретательских задач (ТРИЗ), опирающаяся на следующие фундаментальные принципы:

- ключ к решению проблем – выявление и устранение системного противоречия;

- изобретательских задач – бесчисленное множество, а *типов системных противоречий* сравнительно немного;

- существуют *типичные системные противоречия* и существуют *типовые приёмы их устранения*³⁷.

³⁴ Моисеева Н.К. Функционально-стоимостный анализ в машиностроении [Текст] / Н.К. Моисеева. – М.: Машиностроение, 1987. – С.65.

³⁵ Орлов М.А. Основы классической ТРИЗ. Практическое руководство для изобретательского мышления [Текст] / А.И. Орлов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – С.134.

³⁶ Там же, С.42.

³⁷ Там же, С.56.

2. Методы повышения эффективности творческой деятельности. Самым известным из них является мозговой штурм, суть которого заключается в запрете любой критики на этапе генерации идей, что позволяет преодолеть часто мешающий принятию оптимального решения вектор психологической инерции. Приведём несколько менее известных методов:

- синектический метод, активаторами творческого процесса в котором являются четыре механизма: личная, прямая, символическая и фантастическая аналогии;

- метод фокальных объектов, сущность которого состоит в перенесении признаков случайных объектов на исследуемую техническую систему.

Выдвинутые идеи оцениваются на практическую реализуемость. На основе экспертных оценок выбираются 2-3 варианта исполнения основных функций и уточняются формулировки вспомогательных функций. Отобранные варианты реализации основных и вспомогательных функций подлежат исследовательской и конструкторской проработке для определения наиболее экологически и экономически целесообразных, то есть обеспечивающих эффективное выполнение полезных функций технической системы с минимальным числом компонентов, а также минимальными экологическим ущербом и стоимостью.

Результаты исследований оформляются по каждому варианту пояснительной запиской с указанием условий их внедрения, с соответствующими эскизами и чертежами, диаграммами, расчётами.

На этапе **разработки и внедрения** происходит окончательный выбор варианта исполнения технической системы, и оформляются рекомендации ФЭП для дальнейшей разработки технической системы.

Глава 3. Использование методологии функционально-экологического проектирования для анализа трактора сельскохозяйственного К-700АТ

3.1. Поисково-исследовательский этап функционально-экологического анализа трактора К-700АТ.

Для апробации разработанной методологии функционально-экологического проектирования был проведён анализ трактора сельскохозяйственного К-700АТ, выпускаемого ЗАО «Производственное объединение «Кировец».

Таблица 3.1

Основные компоненты отработавших газов ДВС

Компонент	Хим. Формула	Содержание в ОГ, %			Класс опасн.	ПДК раб. зоны, мг/м ³	ПДК атмосферы мг/м ³	
		Карб.дв.	Дизели	ДВС на сж.газе			Мах разовая	Средне суточная
Азот	N ₂	74...77	74...78	75...77	-	-	-	-
Кислород	O ₂	0,3...8	2...18	0,2...5	-	-	-	-
Пары воды	H ₂ O	3...5,5	0,5...9	2...4	-	-	-	-
Двуокись углерода	CO ₂	5...12	1...12	3...10	-	-	-	-
Углеводороды	C _n H _m	0,2...3	0,01...0,3	0,1...1,5	2...4	5...300	1,5...200	1...25
Альдегиды	R _x CHO	до 0,2	(1...10)×10 ⁻³	до 0,1	2...3	0,5...0,7	0,03...0,035	0,012...0,03
Бенз(а)пирен, мкг/м ³	C ₂₀ H ₁₂	10-20	до 1	до 2	1	1,5×10 ⁻⁶	-	1×10 ⁻⁶
Окись углерода	CO	0,5...12	0,005...0,4	0,5...3	4	20	3	1
Окислы азота	NO _x	до 0,8	0,004...0,5	до 0,4	2	5...30	0,085	0,085
Водород	H ₂	-	0,01...0,5	-	-	-	-	-
Окислы серы	SO ₂	до 0,008	до 0,05	до 0,02	3	10	-	-
сероводород	H ₂ S	-	до 0,015	до 0,02	-	10	0,5	0,05
Сажа, г/м ³	C	до 0,04	0,01...1,1	-	3	3,5...4	0,15	0,05

На информационно-подготовительном этапе было проведено широкое исследование вопросов воздействия мобильных сельскохозяйственных агрегатов (МСА) на атмосферу, воду и почву.

Серьёзный вред наносят окружающей среде и здоровью человека продукты сгорания топлива. Выброс в атмосферу продуктов сгорания только от дизелей работающих тракторов достигает 5 млн. т в год³⁸. В таблице 3.1 приведены основные компоненты отработавших газов двигателей внутреннего сгорания.

³⁸ Ксенович И.П. Внедорожные тягово-транспортные системы: проблемы защиты окружающей среды [Текст] / И.П. Ксенович // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1996. – №6. – С.18.

В таблицах 3.2-3.3 приведены удельные и усредненные выбросы тракторных и комбайновых дизелей, принятые по результатам многочисленных исследований³⁹.

Таблица 3.2

Удельные выбросы вредных веществ с дизелей на единицу
сожженного топлива

Компоненты	Оксиды азота	Оксид углерода	Угледороды	Оксиды серы	Твёрдые частицы
Удельный выброс ВВ, кг/ кг топлива	5×10^{-2}	$2,7 \times 10^{-2}$	5×10^{-3}	$3,3 \times 10^{-3}$	2×10^{-3}

Значительное негативное влияние загрязняющие вещества оказывают на растительность. Так, они могут вызывать у растений видимые острые и хронические (некроз тканей), и невидимые заболевания. При наличии последних у растений накапливаются токсины, которые небезопасны при употреблении в пищу. Растения обладают гораздо большей чувствительностью, чем человек, к оксидам серы (в 25 раз), азота (в 4 раза), и практически не чувствительны к оксидам углерода. Многие из вредных примесей выхлопных газов, попадая в почву, атмосферу, образуют соединения, обладающие канцерогенными свойствами.

Для достижения существенного снижения загрязнения окружающей среды продуктами сгорания предлагается использовать двигатели с усовершенствованным рабочим процессом, применять топливную аппаратуру высоких давлений впрыска, турбонаддув и охлаждение наддувочного воздуха, системы автоматического отключения привода вентилятора, насосы высокого давления для работы двигателя на двух уровнях мощности, новые нейтрализаторы, новые пусковые приспособления, электронные системы управления моторной установкой, топливные присадки⁴⁰.

На выбросы продуктов сгорания существенно влияет расход топлива.

Экономия топлива возможна за счёт⁴¹:

- усовершенствования трансмиссионно-силовых установок;

³⁹ Обеспечение экологической безопасности и нормативной топливной экономичности тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин при эксплуатации: рекомендации [Текст] / Рос. акад. с.-х. наук. – М.: [б.и.], 2003. – С.30.

⁴⁰ Ксенович И.П. Сельскохозяйственные тракторы и экология: проблемы и решения [Текст] / И.П. Ксенович // Экология и промышленность России. – 2000. – №4. – С..37.

⁴¹ Там же, С.38.

- повышения эффективности сгорания топлива;
- снижения потерь мощности на трение;
- повышения эффективности передачи мощности;
- снижения сопротивления качению;
- уменьшение массы МСА;
- совершенствование систем управления МСА.

Таблица 3.3

Расчётное годовое количество вредных выбросов с ОГ
тракторных дизелей

Марка		Вредные выбросы, т/год				
трактора	дизеля	NO _x	CO	CH	SO ₂	N(сажа)
К-701	ЯМЗ-240Б	1,6	0,86	0,16	0,105	0,064
	ЯМЗ-240БМ					
К-700	ЯМЗ-238НБ	1,2	0,65	0,12	0,079	0,048
К-700А	ЯМЗ-238НД					
Т-150К	СМД-62	0,95	0,51	0,09	0,063	0,038
МТЗ-80 (82)	Д-240	0,43	0,23	0,04	0,028	0,017
	Д-240Л					
МТЗ-50 (52)	Д-40	0,34	0,18	0,03	0,022	0,014
	Д-50(Л)					
ЮМЗ-6	Д65Н	0,36	0,19	0,04	0,023	0,014
	Д-65М					
Т-40М	Д-144	0,38	0,20	0,04	0,025	0,015
Т-4А	А-01М	0,74	0,40	0,07	0,048	0,029
ДТ-75М	А-41(М)	0,51	0,27	0,05	0,033	0,020

Ограниченность запасов нефти, а так же поиск экологически безопасных видов топлива стимулируют разработку альтернативных источников энергии. Среди альтернативных топлив – природный и сжиженный газ, спирт. В качестве основного в альтернативном топливе может служить компонент, получаемый из органических отходов. В России растительные остатки от выращивания только зерновых культур составляют ежегодно 120-130 млн. т, из них используется в хозяйственной деятельности не более 80 млн. т. В сумме растениеводство может служить источником получения 60-80 млн. т продукта для переработки в жидкий компонент топлива⁴².

⁴² Ксеневич И.П. Внедорожные тягово-транспортные системы: проблемы защиты окружающей среды [Текст] / И.П. Ксеневич // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1996. – №6. – С.18.

К снижению роста и урожайности сельскохозяйственных культур ведёт уплотнение почвы. Практически все основные МСА имеют удельное давление на почву 343 кПа и выше при допустимом удельном давлении 59...98 кПа⁴³. Трактор массой 5 т вызывает уплотнение сухой почвы на глубину 0,72 м, на почвах с низкой влажностью – до 0,9 м, на переувлажненных – до 1,02 м⁴⁴. В процессе подготовки почвы, посева, ухода за растениями, уборки урожая и остатков различные машины проходят по полю 5...15 раз, что приводит к тому, что суммарная площадь следов этих машин в 2 раза превышает площадь полевого участка. Причём 10...12% площади подвергается воздействию от 6 до 20 раз, 65...80% - от 1 до 6 раз, 10...15% - не подвергаются их воздействию⁴⁵. Параллельно с уплотнением почв происходит разрушение поверхностного слоя за счёт буксования движителей.

Уплотнение почвы ведёт к необходимости проведения дополнительных почвообработок, увеличению (до 2 раз) сопротивления обработке почвы и связанного с этим дополнительным расходом топлива. Возникает необходимость внесения повышенных доз удобрения, увеличивающих уровень содержания нитратов в пище человека. Недобор урожая по этим причинам в России составляет 13...15х10⁶ кг в год по зерновым, 2х10⁶ кг по сахарной свёкле, 5х10⁶ по зерну кукурузы⁴⁶.

Для снижения негативного влияния ходовых систем МСА на почву в первую очередь необходимо принимать комплекс мер по снижению массы МСА, совершенствование движителей, совершенствование систем управления движения МСА.

Совершенствование движителей базируется на совершенствовании существующих движителей и создании альтернативных. Первое направление использует традиционные методы: увеличение площади контакта движителей и снижение нагрузки на них⁴⁷.

⁴³ Орстик Л.С. Экология и сельскохозяйственная техника [Текст] / Л.С. Орстик // Экология и сельскохозяйственная техника. Т.1. Общие экологические аспекты при разработке технологий и технических средств, используемых в сельскохозяйственном производстве (пленарное заседание): тез. докл. науч.-практ. конф. / СЗНИИМЭСХ. – СПб, 2002. – С.14.

⁴⁴ Ксенович И.П. Экологическая безопасность сельскохозяйственной техники в полном жизненном цикле [Текст] / И.П. Ксенович // Приводная техника. – 2000. – №2. – С.14.

⁴⁵ Ксенович И.П. Современные проблемы прикладной механики наземных тягово-транспортных систем (Часть 1) [Текст] / И.П. Ксенович // Приводная техника. – 2002. – №1. – С.4.

⁴⁶ Ксенович И.П. Экологическая безопасность сельскохозяйственной техники в полном жизненном цикле [Текст] / И.П. Ксенович // Приводная техника. – 2000. – №2. – С.8.

⁴⁷ Там же, С.8.

Альтернативным движителем является шагающий движитель. По сравнению с колёсными и гусеничными движителями шагающие движители обеспечивают: дискретность следа; увеличенную в 1,6...1,8 раза силу тяги при равной вертикальной нагрузке; повышенную проходимость по поверхности с низкой несущей способностью и коэффициентом трения (сцепления), способность преодолевать препятствия высотой, равной 0,5 диаметра "эквивалентного" колеса⁴⁸.

Важной проблемой является разлив рабочих жидкостей и масел в результате аварийных нарушений герметичности гидропроводов МСА. От разрыва рукавов и трубопроводов гидроприводов МСА ежегодно выбрасывается 500 тыс. т (из которых доля тракторов – 200 тыс.т) рабочих жидкостей, что выводит из севооборота до 6 тыс. га плодородных земель⁴⁹. Потери масел на всех технологических операциях составляют 0,5...6,5% для моторных и 1,2...17,5% для трансмиссионных масел. Потери дизельного топлива в сельскохозяйственном производстве – более 10%, в т.ч. при эксплуатации машин – 7,7%. Потери пластических смазок достигают 40%⁵⁰.

Одним из эффективных способов снижения негативного воздействия МСА на окружающую среду является модернизация и внедрение новых средств автоматизации. Так снижение уплотняющего воздействия движителей на почву может достигаться за счёт автоматического регулирования давления в шинах. Для улучшения показателей работы МСА на рыхлых и переувлажнённых почвах необходимо регулировать тяговое сопротивление МСА, что в ручном режиме управления практически невозможно. Во избежание залповых выбросов масел при аварийных нарушениях герметичности трубопроводов наряду с повышением надёжности гидравлических систем целесообразно оборудовать машины автоматическими системами защиты гидравлических напорных линий с высоким быстродействием⁵¹.

На этапе утилизации МСА целесообразно придерживаться специальной технологии, состоящей из 5 этапов. На *первом этапе* происходит демонтаж МСА. Часть узлов и агрегатов могут повторно устанавливаться на новых

⁴⁸ Там же, С.9.

⁴⁹ Ксеневич И.П. Концепция непрерывной информационной поддержки жизненного цикла (CALStехнологии) сельскохозяйственных мобильных энергетических средств [Текст] / И.П. Ксеневич, Л.С. Орси́к, В.Г. Шевцов – М.: ФГНУ "Росинформагротех", 2004. – С.54.

⁵⁰ Ксеневич И.П. Современные проблемы прикладной механики наземных тягово-транспортных систем (Часть 1) [Текст] / И.П. Ксеневич // Приводная техника. – 2002. – №1. – С.4.

⁵¹ Ксеневич И.П. Внедорожные тягово-транспортные системы: проблемы защиты окружающей среды [Текст] / И.П. Ксеневич // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1996. – №6. – С.18.

МСА без каких-либо ремонтных воздействий или при осуществлении ремонта. На *втором этапе* детали сортируются по материалам (чёрные и цветные металлы, пластмассы). На *третьем этапе* происходит пиролиз органических соединений (пластмасс или композитов) и получение кокса, нефти, газа, используемых в качестве энергоресурсов, а также некой доли чёрных и цветных металлов, содержащихся в композитах, которые отправляются на переплавку. На *четвёртом этапе* сжигают остатки шин, пластмасс с получением тепловой энергии и выделением шлаков и отработавших газов. На *пятом заключительном этапе* происходит захоронение отходов, образующиеся на каждом из предыдущих этапов утилизации. При реализации данной технологии захоронению подлежат отходы, масса которых составляет не более 30% от массы МСА⁵².

3.2. Функционально-экологический анализ трактора сельскохозяйственного К-700АТ.

На аналитическом этапе для основных компонентов МСА были описаны функции, значимость функций, экологический ущерб от реализации функций, идеальный конечный результат. С помощью метода расстановки приоритетов (попарных сравнений) была составлена матрица сравнений (табл.3.4) и определены значимости функций.

Таблица 3.4

Матрица сравнений для определения значимости функции

№№ п/п	Функция	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	Коэффициент значимости К	Значимость функции W
1	Ф1 «Выполнять технологическую операцию»	1	1/3	5	5	1,70	0,32
2	Ф2 «Вырабатывать энергию»	3	1	3	5	2,59	0,48
3	Ф3 «Обеспечивать движение за счет сцепления с почвой»	1/5	1/3	1	5	0,76	0,14
4	Ф4 «Защищать оператора от внешних воздействий»	1/5	1/5	1/5	1	0,30	0,06

⁵² Луканин В.Н. Промышленно-транспортная экология [Текст] / В.Н. Луканин, Ю.В. Трофименко. – М.: Высшая школа, 2003. – С.161.

Для определения экологического ущерба от реализации отдельных функций на основе структурно-функциональной схемы МСА были определены входящий и выходящие потоки трактора сельскохозяйственного К-700АТ «Кировец» на этапе эксплуатации (рис. 3.1).

С помощью методики определения класса экологического ущерба были определены классы экологического ущерба каждой функции (табл. 3.5). Экспертами была внесена существенная корректировка при определении класса экологического ущерба от отработанных газов, так как количество вредных компонентов существенно зависит от режимов работы, что не было учтено при стендовых испытаниях. Так, для дизеля ЯМЗ-238НБ на холостом ходу при $n=1870$ об/мин, концентрации $C_{CO} = 0,02\%$, $C_{NOx} = 0,037\%$, а при нагрузке на тормозе и $n = 1790$ об/мин. $C_{CO} = 0,05\%$, $C_{NOx} = 0,087\%$ ⁵³.

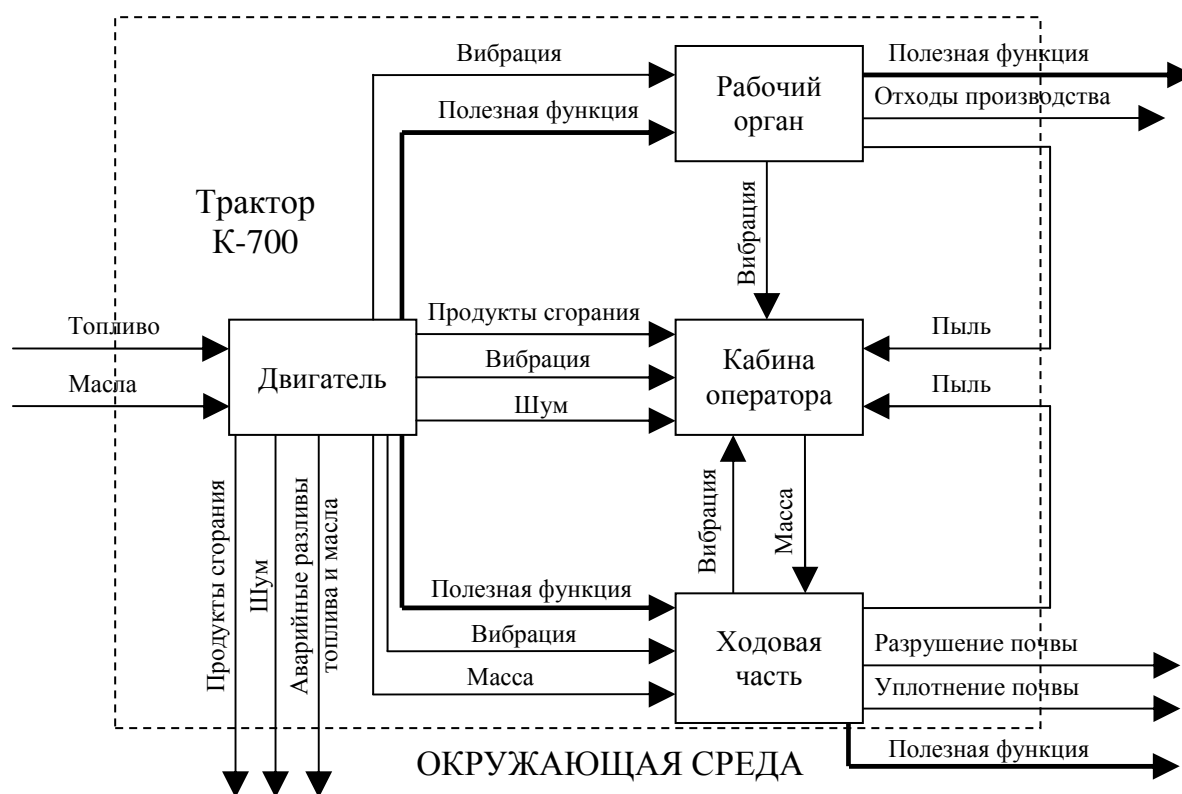


рис.3.1. Схема входящих и выходящих потоков МСА на этапе эксплуатации.

⁵³ Ждановский Н.С. Режимы работы двигателей энергонасыщенных тракторов [Текст] / Н.С. Ждановский, А.В. Николаенко, В.С. Шкрабак. – Л.: Машиностроение, 1981. – С.203.

Таблица 3.5.

Определение классов экологического ущерба основных функций МСА

Элемент	Функция	Значимость функции	Поток	Направленность потока	Описание потока	Нормы	Класс потока	Класс элемента
Рабочий орган	Выполнять технологическую операцию	0,32	Вибрация	Кабина оператора	Согласно исследованиям превышение в 3-4 раза, доля рабочего органа незначительна	ГОСТ 12.2.019-86	2	2
			Пыль		Согласно исследованиям превышение в 3 раза	<10 мг/м ³ при содержании SiO ₂ < 2%	2	
			Отходы производства	Окружающая среда	Возможно вторичное использование		1	
Двигатель	Вырабатывать энергию	0,48	Продукты сгорания	Кабина оператора	Согласно исследованиям превышение в 3 раза	< 20 мг/м ³ - CO < 5 мг/м ³ - NO _x < 300 мг/м ³ - C _n H _m <100 мг/м ³ - пары бензина	2	5
			Вибрация		Согласно исследованиям превышение в 3-4 раза	ГОСТ 12.2.019-86	4	
			Шум		Согласно исследованиям 92-115 дБ	<80 дБА	4	
			Вибрация	Ходовая часть	Существенного негативного воздействия на окружающую среду не оказывает	-	0	
			Масса		Общий вес трактора 13 100 кг Масса двигателя 2 600 кг	-	2	
			Продукты сгорания	Окружающая среда	6 г/кВт·ч 11 г/кВт·ч 1,1 г/кВт·ч	< 4 г/кВт·ч - CO ₂ < 9 г/кВт·ч - NO _x <1,5 г/кВт·ч - C _n H _m	4	
			Шум		87 дБ на 50-100 Гц 110 дБ на 300 Гц	85 дБА	3	
Аварийные разливы топлива и масла	Параметр зависит от качества эксплуатации и ТО		2					
Ходовая часть	Обеспечивать движение за счет сцепления с почвой	0,14	Вибрация	Кабина оператора	Согласно исследованиям превышение в 3-4 раза, доля рабочего органа незначительна	ГОСТ 12.2.019-86	2	4
			Пыль		Согласно исследованиям превышение в 3 раза	<10 мг/м ³ при содержании SiO ₂ < 2%	2	
			Разрушение почвы	Окружающая среда	Общий вес трактора 13 100 кг, движители несовершенны	-	4	
			Уплотнение почвы					
Кабина оператора	Защищать оператора от внешних воздействий	0,06	Масса	Ходовая часть	Общий вес трактора 13 100 кг	-	2	2

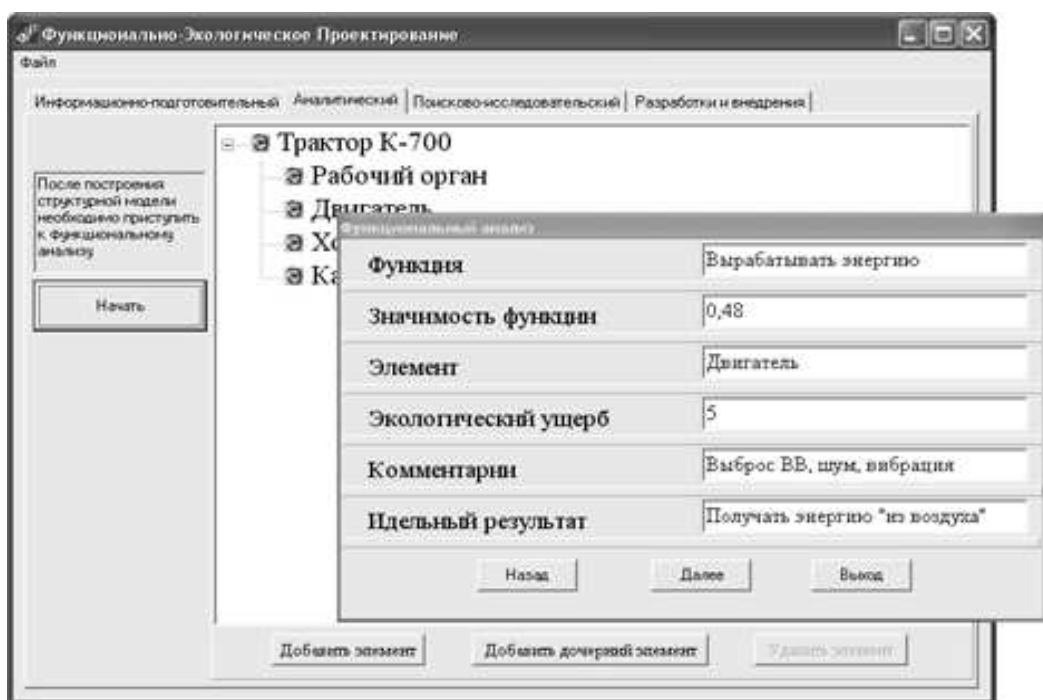


рис. 3.2. Функциональный анализ и идеальное моделирование.

Исследование показало, что наибольший экологический ущерб наносит функция «Вырабатывать энергию», реализуемая элементом «Двигатель» (рис.3.3). Ключевым негативным фактором этой функции является выброс вредных веществ в атмосферу. Удельные выбросы вредных веществ при производстве дизельного топлива⁵⁴ и при его сгорании в двигателе⁵⁵ приведены в таблице 3.6, наглядно показывающей необходимость рассмотрения полного жизненного цикла МСА при оценке его экологичности. Затем прогрессивными методами инженерного творчества были выработаны идеи и предложения по реализации функции «вырабатывать энергию» и совершенствованию МСА.

Согласно матрице выбора приёма устранения технических противоречий ТРИЗ для улучшения параметра «Вредные факторы самого объекта» дизельного двигателя были предложены следующие приёмы:

⁵⁴ Луканин В.Н. Промышленно-транспортная экология [Текст] / В.Н. Луканин, Ю.В. Трофименко. – М.: Высшая школа, 2003. – С.100.

⁵⁵ Обеспечение экологической безопасности и нормативной топливной экономичности тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин при эксплуатации: рекомендации [Текст] / Рос. акад. с.-х. наук. – М.: [б.и.], 2003. – С.30.

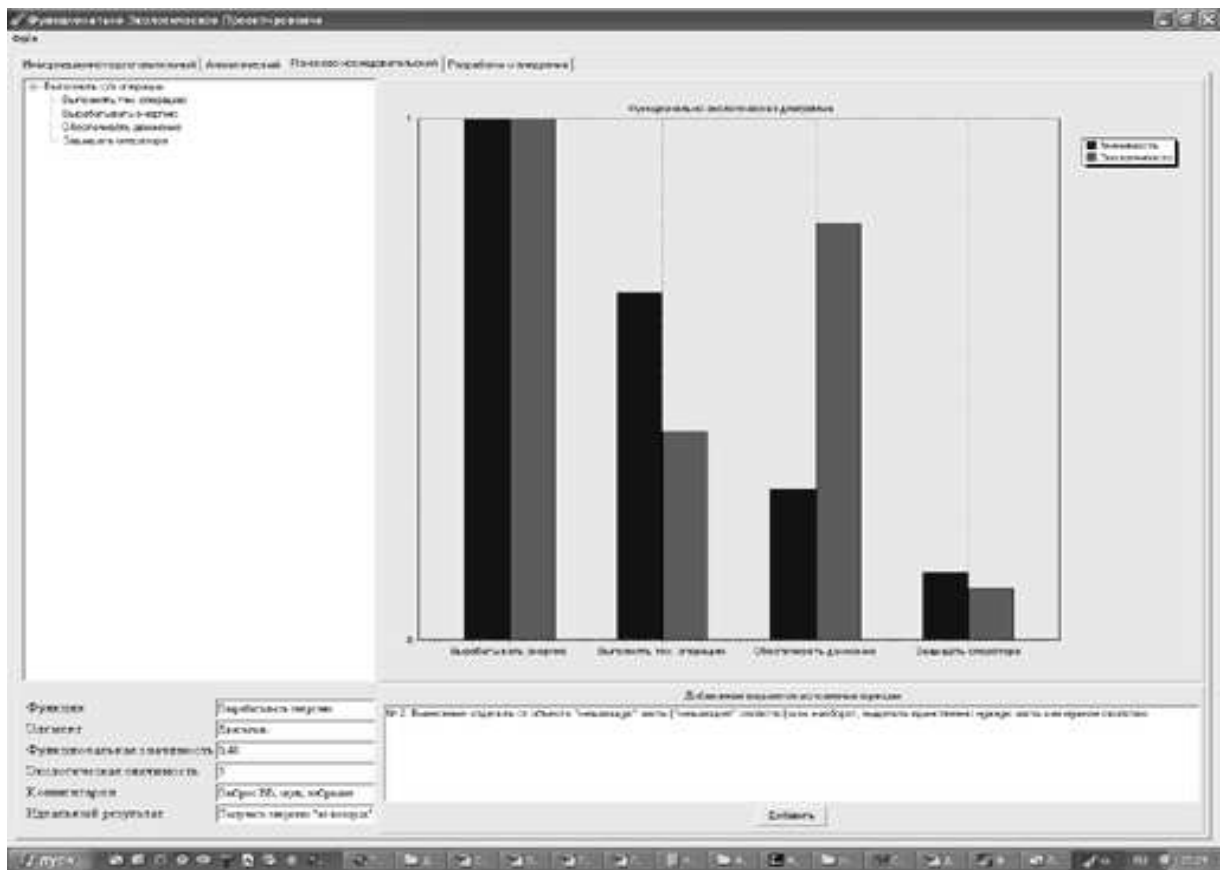


Рис. 3.3. Поисково-исследовательский этап.

№ 2. Вынесение: отделить от объекта «мешающую» часть («мешающее» свойство) или, наоборот, выделить единственно нужную часть или нужное свойство.

№ 15. Динамичность: характеристики объёма (или внешней среды) должны меняться так, чтобы быть оптимальными на каждом этапе работы.

№ 33. «Обратить вред в пользу»: использовать вредные факторы (в частности, вредное воздействие среды) для получения положительного эффекта.

Таблица 3.6

Удельные выбросы вредных веществ при производстве дизельного топлива и при сгорании дизельного топлива в двигателе.

	Удельные выбросы вредных веществ, г/кг топлива				
	NO _x	CO ₂	C _x H _y	SO ₂	Твёрдые частицы
При производстве	1,34	489,6	6,28	15,36	-
При использовании	50	27	5	3,3	2

Данные приёмы были преобразованы в следующие конкретные предложения:

- *Вынесение*: использовать электрические и механические аккумуляторы энергии с вынесением источника энергии в промышленные зоны на безопасное расстояние от сельхозугодий;

- *Динамичность*: с помощью средств автоматизации поддерживать внешнюю для двигателя характеристику «расход топлива» такой, чтобы обеспечивать наиболее экологичный режим сгорания топлива;

- *«Обратить вред в пользу»*: использовать поток «отходы производства» в качестве топлива для двигателя МСА.

При более детальном анализе на этапе разработке и внедрения на основе выводов научных трудов⁵⁶ был обоснован выбор автоматизации режимов работы дизельного двигателя МСА, как самое перспективное на данный момент направление модернизации МСА.

Хотя можно с достаточной степенью уверенности утверждать, что самый кардинальный путь уменьшения выбросов в атмосферу при реализации энергетической функции МСА – это использование биотоплива (биометанол, биоэтанол, биодиметилэфир), получаемого из биомассы (в первую очередь – из отходов сельскохозяйственного производства), очевидно, что на данный момент этот способ нельзя считать идеальным с точки зрения экономического и технологического параметров, так как биотопливо не производится в достаточных количествах, и внедрение его использования потребует больших первоначальных экономических вложений и разработки новых технологий. Использование электродвигателей, работающих на аккумуляторах, при оценке полного жизненного цикла топлива за счёт стадии производства электроэнергии на ТЭС является не менее вредным для окружающей среды, чем использование обычных дизельных двигателей.

Дизельный двигатель с точки зрения экономики и технологии имеет преимущество, так как налажено его серийное производство, а топливо к нему легко доступно и производится в достаточном количестве для обеспечения нужд экономики. Поэтому целесообразнее решить задачу снижения вы-

⁵⁶ Звонов В.А. Экологическая безопасность автомобиля с учетом его полного жизненного цикла [Текст] / В.А. Звонов, А.В. Козлов, В.Ф. Кутенев // Автомобильная промышленность. – 2000. – №11. – С. 7-12.

бросов дизельного двигателя, для чего необходимо обеспечить такие режимы его работы, при которых концентрации вредных веществ в отработавших газах будет минимальным.

Токсичность отработанных газов дизельных двигателей определяется в основном 0,1-1% их объёма. К токсичным относятся вещества, которые образуются в результате термического синтеза воздуха при высоких температурах (оксиды азота NO_x) и продукты неполного сгорания топлива (оксид углерода CO , углеводороды C_nH_x , твёрдые частицы), а также оксиды серы, альдегиды, продукты конденсации и полимеризации.

Оксиды азота занимают первое место среди вредных веществ отработанных газов вне зависимости от типа, класса, размерности и конструктивных особенностей дизельных двигателей. Образование оксида азота происходит в первой фазе сгорания до момента достижения максимальной температуры сгорания. Доля оксидов азота в суммарных токсичных выбросах составляет 30-80%, а по массе – 60-90%.

Результаты токсикологических испытаний дизелей в зависимости от изменения нагрузки и частоты вращения коленчатого вала показали следующее⁵⁷:

- концентрация оксидов азота незначительно зависит от частоты вращения коленчатого вала и повышается с увеличением нагрузки;

- с увеличением нагрузки оксид углерода снижается из-за уменьшения количества альдегидов, являющихся исходными компонентами реакций образования оксида углерода в стадии распространения голубого пламени; при дальнейшем возрастании нагрузки на двигатель, на образование оксида углерода начинает действовать образование сажи и диссоциация двуокиси углерода, что приводит к увеличению концентрации оксида углерода, при этом максимальная концентрация соответствует максимальной мощности двигателя.

Таким образом, было доказано, что с точки зрения экологичности оптимальной программой управления режимами работы дизельного двигателя является удержание его мощности в интервале 0,92...0,95 от номинального значения⁵⁸.

⁵⁷ Федоров П.В. Мониторинг загрузки дизеля при управлении землеройно-транспортной машиной [Текст] / П.В. Федоров, С.В. Трофимов, П.И. Шерешов. – М.: ВТУ, 2003. – С.105.

⁵⁸ Там же, С.115.

На этапе разработки и внедрения был проведён синтез системы управления режимами работы двигателя ЯМ2-3-238НБ, обеспечивающей снижение негативного воздействия МСА на окружающую среду и здоровье людей за счёт удержания мощности в указанном диапазоне, а также разработаны технические средства автоматизации.

Заключение.

Проведённый ФЭА МСА выявил наиболее перспективные направления модернизации сельскохозяйственных тракторов и продемонстрировал эффективность предлагаемой методологии функционально-экологического проектирования. Перспективность её широкого внедрения очевидна, так как она направлена на улучшение не только экологических характеристик технических систем, но и всех остальных показателей: технических, экономических и пр.

Особым достоинством ФЭП является то, что методология позволяет проектировщику видеть систему изнутри и решать экологические проблемы в наиболее экологически опасных узлах технической системы, позволяя отойти от типовых приёмов снижения количественных характеристик вредных потоков и снизить затраты на проведение природоохранных мероприятий.

Дальнейшее развитие ФЭП предполагает накопление опыта и информации по созданию структурно-функциональных моделей технических систем различного типа и по применению типовых приёмов устранения экологических системных противоречий.

Основы ФЭП можно рекомендовать для включения в курсы промышленной экологии, читаемые студентам технических вузов, в качестве раздела. ФЭП технических систем может стать предметом исследования в научно-исследовательской работе аспирантов и студентов.

Список литературы.

1. Антонов А.В. Системный анализ [Текст] / А.В. Антонов. – М.: Высшая школа, 2004. – 454 с.
2. Бондаренко Е.В. Критериальная характеристика экологической безопасности и технического совершенства автотранспортных средств [Текст] / Е.В. Бондаренко, М.В. Коротков // Вестник ОГУ. – 2002. – №3. – С. 25-28.
3. Временная методика определения предотвращённого экологического ущерба [Текст]. – М.: [б.и.], 1999 – 41 с.
4. ГОСТ 17.0.0.01-76 (2000). Система стандартов в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов. Основные положения (СТ СЭВ 1364-78) [Текст]. – Введ. 1977-01-01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1976. – 3 С.
5. ГОСТ Р 51750-2001. Энергосбережение. Методика определения энергоёмкости при производстве продукции и оказании услуг в технологических энергетических системах. Общие положения [Текст]. – Введ. 2002-01-01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. – 27 С.
6. ГОСТ Р ИСО 14041-2000. Управление окружающей средой. Оценка жизненного цикла. Определение цели, области исследования и инвентаризационный анализ [Текст]. – Введ. 2001-07-01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2000. – 19 С.
7. Гридэл Т.Е., Промышленная экология [Текст] / Т.Е. Гридэл, Б.Р. Алленби; пер. с англ. Э. В. Гирусова – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. – 527 С.
8. Давыденков Олег, иерей. Догматическое богословие [Текст] / иерей О. Давыденков. – М.: Изд-во ПСТГУ, 2005. – 415 с.
9. Дьяконов К.Н. Экологическое проектирование и экспертиза [Текст] / К.Н. Дьяконов, А.В. Дончева. – М.: Аспект Пресс, 2002. – 384 с.
10. Ждановский Н.С. Режимы работы двигателей энергонасыщенных тракторов [Текст] / Н.С. Ждановский, А.В. Николаенко, В.С. Шкрабак. – Л.: Машиностроение, 1981. – 240 с.
11. Звонов В.А. Экологическая безопасность автомобиля с учетом его полного жизненного цикла [Текст] / В.А. Звонов, А.В. Козлов, В.Ф. Кутенев // Автомобильная промышленность. – 2000. – №11. – С. 7-12.
12. Звонов В.А. Экология: альтернативные топлива с учетом их полного жизненного цикла [Текст] / В.А. Звонов, А.В. Козлов, А.С. Теренченко // Автомобильная промышленность. – 2001. – №4. – С. 10-12.

13. Ксенович И.П. Внедорожные тягово-транспортные системы: проблемы защиты окружающей среды [Текст] / И.П. Ксенович // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1996. – №6. – С. 18-22.

14. Ксенович И.П. Концепция непрерывной информационной поддержки жизненного цикла (CALS-технологии) сельскохозяйственных мобильных энергетических средств [Текст] / И.П. Ксенович, Л.С. Орлик, В.Г. Шевцов – М.: ФГНУ "Росинформагротех", 2004. – 142 с.

15. Ксенович И.П. Сельскохозяйственные тракторы и экология: проблемы и решения [Текст] / И.П. Ксенович // Экология и промышленность России. – 2000. – №4. – С. 36-38.

16. Ксенович И.П. Современные проблемы прикладной механики наземных тягово-транспортных систем (Часть 1) [Текст] / И.П. Ксенович // Приводная техника. – 2002. – №1. – С. 2-9.

17. Ксенович И.П. Экологическая безопасность сельскохозяйственной техники в полном жизненном цикле [Текст] / И.П. Ксенович // Приводная техника. – 2000. – №2. – С. 5-14.

18. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений [Текст] / О.И. Ларичев – М.: Университетская книга, Логос, 2006. – 392 с.

19. Луканин В.Н. Промышленно-транспортная экология [Текст] / В.Н. Луканин, Ю.В. Трофименко. – М.: Высшая школа, 2003. – 273 с.

20. Моисеева Н.К. Функционально-стоимостный анализ в машиностроении [Текст] / Н.К. Моисеева. – М.: Машиностроение, 1987. – 319 с.

21. Обеспечение экологической безопасности и нормативной топливной экономичности тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин при эксплуатации: рекомендации [Текст] / Рос. акад. с.-х. наук. – М.: [б.и.], 2003. – 135 с.

22. Орлов М.А. Основы классической ТРИЗ. Практическое руководство для изобретательного мышления [Текст] / А.И. Орлов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 416 с.

23. Орлик Л.С. Экология и сельскохозяйственная техника [Текст] / Л.С. Орлик // Экология и сельскохозяйственная техника. Т.1. Общие экологические аспекты при разработке технологий и технических средств, используемых в сельскохозяйственном производстве (пленарное заседание): тез. докл. науч.-практ. конф. / СЗНИИМЭСХ. – СПб, 2002. – С. 12-18.

24. Пашков Е.В. Международные стандарты ИСО 14000. Основы экологического управления [Текст] / Е.В. Пашков, Г.С. Фомин, Д.В. Красный. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. – 464 с.

25. Половинкин А.И. Теория проектирования новой техники: закономерности техники и их применение [Текст] / А.И. Половинкин. – М.: Информэлектро, 1991. – 104 с.

26. Р 2.2.2006–05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда [Текст]. – Взамен Р 2.2.755-99, введ. 2005-11-01. – М.: [б.и.], 2002. – 27 С.

27. Силаков А.В. Объекты системы нефтепродуктообеспечения России [Текст] / А.В. Силаков, А.Г. Стремоухов, А.А. Каждан // Экология производства. – 2004. – №1. – С. 44-46.

28. Судник Ю.А. Компьютерное проектирование безопасных технических систем в сельском хозяйстве [Текст] / Ю.А. Судник // Экология и сельскохозяйственная техника: тез. докл. науч.-практ. конф. / СЗНИИМЭСХ. – СПб., 2002. – Т.3. – С.21-23.

29. Федоров П.В. Мониторинг загрузки дизеля при управлении землеройно-транспортной машиной [Текст] / П.В. Федоров, С.В. Трофимов, П.И. Шерешов. – М.: ВТУ, 2003. – 119 С.

30. Яловенко Ф.И. Применение теории решения изобретательских задач (ТРИЗ) в системе ФСА отрасли (методические рекомендации) [Текст] / Ф.И. Яловенко. – М.: [б.и.], 1990 – 88 С.



Уважаемые читатели!
Издательство «Издательство «Спутник +»
и редакция журналов

«Актуальные проблемы современной науки», «Аспирант и соискатель», «Вопросы гуманитарных наук», «Вопросы филологических наук», «Вопросы экономических наук», «Современные гуманитарные исследования», «Проблемы экономики», «Исторические науки», «Педагогические науки», «Юридические науки», «Естественные и технические науки», «Медицинские науки» и «Техника и технология»

предлагают Вам опубликовать:

- 📖 монографии, книги, прозу, поэзию любыми тиражами (от 50 экз.).
Срок — от 3-х дней. В обложке или переплете.
- 📖 научные статьи для защиты диссертаций в научных журналах.
- ✦ Печать авторефератов, переплет диссертаций (от 1 часа).
- ➔ Все издания регистрируются в Книжной палате РФ и рассылаются по библиотекам России и СНГ.
- ➔ Оказываем помощь в реализации книжной продукции.

- Набор, верстка, корректура.
- Переплетные работы, тиснение.
- Полноцветная цифровая печать.

Тел. (495) 730-47-74, 778-45-60 (с 9 до 18)

<http://www.sputnikplus.ru> E-mail: sputnikplus2000@mail.ru

Научное издание

Гаврилин П.А.

**ФУНКЦИОНАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Издательство «Издательство «Спутник +»

109428, Москва, Рязанский проспект, д. 8а

Тел.: (495) 730-47-74, 778-45-60 (с 9 до 18)

Налоговые льготы в соответствии с ОК 005-93

Том 2 95 3000 – Книги и брошюры

Санитарно-эпидемиологическое заключение

№ 77.99.02.953.Д.009143.12.05 от 29.12.2005 г.

Подписано в печать 01.11.2008. Формат 60x90/16.

Бумага офсетная. Усл. печ. л. 2,93. Тираж 50 экз. Заказ 479.

Отпечатано в ООО «Издательство «Спутник +»