

УДК 614.846.63

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ МОДЕРНИЗАЦИИ ПОЖАРНЫХ АВТОЦИСТЕРН

Кулаковский Б.Л., к.т.н., доцент

Предложены методы повышения эксплуатационных свойств и свойств надежности пожарных автоцистерн, направления и варианты их модернизации. Рассмотрены этапы и методика оценки экономической эффективности вариантов модернизации.

Анализ сроков пожарной аварийно-спасательной техники (ПАСТ) показывает, что в связи с недостаточным обновлением средний возраст ее неуклонно увеличивается. При этом надежность, эксплуатационные свойства, а следовательно, и боеготовность техники, и в особенности пожарных автоцистерн (АЦ), соответственно снижается. Средний срок службы АЦ в настоящее время превышает 18 лет, вследствие чего появляется большое количество отказов цилиндрической группы двигателя внутреннего сгорания, тормозной системы, кузова, цистерны, вакуумной системы и других агрегатов и систем. Сравнительный анализ показывает, что надежность базового шасси АЦ в целом значительно выше пожарной надстройки. Это объясняется тем, что пробег шасси АЦ за нормативный срок эксплуатации (10 лет) в несколько раз меньше грузопассажирского транспорта, а надежность специальных агрегатов сравнительно низкая.

В связи с этим весьма актуально выполнение оценки параметров надежности, эксплуатационных свойств АЦ с учетом длительности сроков эксплуатации, а также разработка направлений модернизации.

С учетом целей модернизации обосновываются наиболее рациональные направления их проведения, формируются задачи и требования, определяются свойства надежности, эксплуатационные свойства, которые должны быть у АЦ после модернизации.

Можно выделить 7 направлений модернизации АЦ, которые объединены в две группы совокупности свойств — до и после модернизации:

1-я группа — включающая четыре направления, которые обеспечивают повышение эксплуатационных свойств АЦ: максимальной и средней скорости движения, удельной мощности автомобиля и др.

2-я группа — включающая три направления, которые обеспечивают повышение свойств надежности АЦ: безотказности, долговечности и ремонтпригодности.

Определение указанных свойств после модернизации может состоять из 4 этапов:

1-й этап — формирование целей модернизации;

2-й этап — постановка задач;

3-й этап — выработка требований;

4-й этап — определение совокупности свойств.

На рисунке 1 показана структура определения эксплуатационных свойств после модернизации АЦ.

На рисунке 2 показана структура определения свойств надежности АЦ после модернизации.

На рисунке 3 представлена динамика изменения комплексного показателя эксплуатационных свойств в АЦ от времени начала модернизации t_n до ее окончания t_k .

Таким показателем будет средняя скорость движения АЦ, а следовательно, и среднее время прибытия ее к месту ЧС.

1-й этап

Формирование целей модернизации АЦ

- Увеличение надежности вакуумной системы
- Увеличение надежности кузова цистерны, пенобака и боковых отсеков
- Введение, конструкции блочного типа пожарной надстройки

2-й этап

Направления модернизации АЦ

5

6

7

Совершенствование конструкции вакуумной системы пожарного насоса

Улучшение характеристик кузова, цистерны, пенобака и боковых отсеков

Введение конструкции блочного типа пожарной надстройки

3-й этап

Выработка требований для решения поставленных задач

Замена газоструйного вакуум-аппарата на вакуумную систему от дополнительно установленного компрессора и системы датчиков и предохранительных клапанов

Изготовление деталей из армированного стеклопластика

Установка цистерны, пенобака, боковых отсеков, дополнительной трансмиссии с пожарным насосом и централизованным пультом управления в едином блоке на съемном подрамнике

4-й этап

Определение совокупности свойств АЦ

Сокращение времени забора воды из водоисточника, повышение надежности вакуумной системы и двигателя внутреннего сгорания, экономия ГСМ

Повышение надежности, долговечности кузова, цистерны, пенобака, боковых отсеков, снижение полной массы АЦ

Увеличение ремонтпригодности, экономичности монтажных работ с внедрением агрегатного метода ремонта

Рисунок 2 — Структура процесса определения свойств надежности пожарных автоцистерн после модернизации

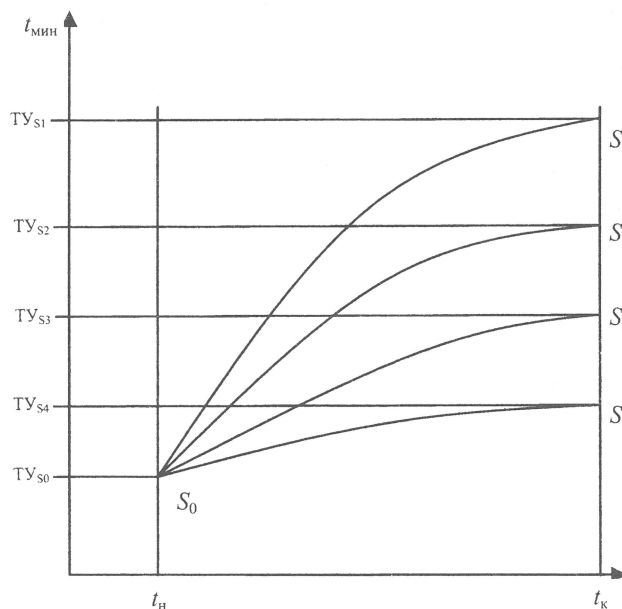


Рисунок 3 — Динамика изменения комплексного показателя эксплуатационных свойств пожарной автоцистерны

На графике принято:

S_0 — состояние АЦ до модернизации;

S_1 — значение комплексного показателя — средней скорости движения после модернизации за счет увеличения максимальной скорости движения, что достигается установкой более мощного двигателя, обеспечение согласования показателей двигателя и трансмиссии автомобиля (мощности, частоты вращения коленчатого вала двигателя, передаточного числа трансмиссии);

S_2 — значение оперативности выезда из гаража после модернизации;

S_3 и S_4 — значения увеличения средней скорости движения АЦ за счет повышения устойчивости против опрокидывания и заноса соответственно.

Как видно из графика, наиболее эффективными мерами повышения средней скорости движения являются увеличение максимальной скорости движения и повышение оперативности выезда АЦ из гаража. После модернизации увеличение средней скорости движения обеспечивает существенное снижение гибели людей и ущерба от пожара за счет более оперативного пребывания АЦ к месту ЧС.

Мероприятия по повышению устойчивости АЦ против опрокидывания и заноса увеличивают среднюю скорость движения после модернизации S_3 и S_4 незначительно.

Однако при этом обеспечивается безопасность движения автомобиля, снижается вероятность потери его устойчивости.

На рисунке 4 представлена динамика изменения комплексного показателя свойств надежности АЦ до и после модернизации. Линии S_5 , S_6 и S_7 показывают возможную динамику изменения состояния надежности АЦ после модернизации агрегатов и конструкций согласно 5—7-х направлений.

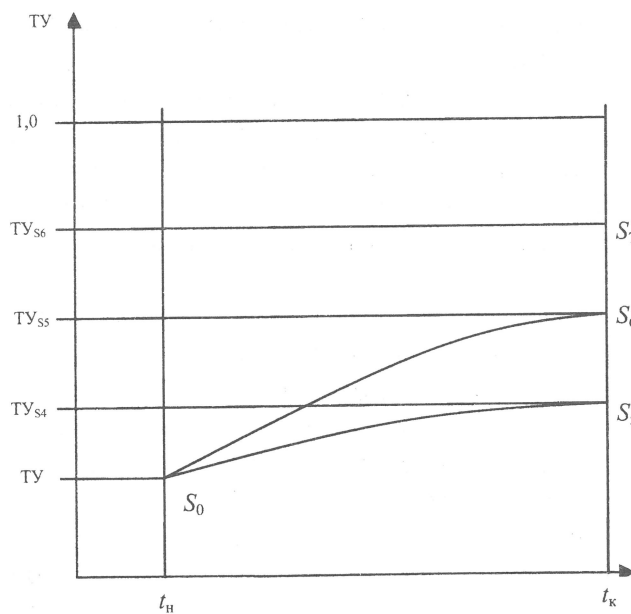


Рисунок 4 — Динамика изменения комплексного показателя свойств надежности

Обобщенным параметром является коэффициент технического использования $K_{ТИ}$, который определяется по формуле

$$K_{ТИ} = \sum_{1}^N (t_3 - t_в) / \sum_{1}^N t_3, \quad (1)$$

где t_0 — общее время эксплуатации определения надежности АЦ в количестве N ;

t_b — суммарное время ожидания ремонта, выполнения ремонта и технического обслуживания.

Анализируя указанные направления (5—7), оценку необходимо делать по экономическому эффекту, который достигается при модернизации агрегата. Например, пятое направление модернизации газоструйного вакуум-аппарата обеспечивает сокращение времени забора воды из водоисточника, времени подачи огнетушащих веществ в очаг пожара, что в свою очередь снижает ущерб от пожаров и гибели людей. С другой стороны, повышается надежность новой вакуумной системы и двигателя внутреннего сгорания. Существующий газоструйный вакуум-аппарат, работающий в крайне неблагоприятных условиях (при температуре отработавших газов $t_{отр} = 600—700$ °С), имеет низкие показатели надежности: сравнительно быстро прогорают выхлопные трубы от коллектора двигателя до струйного насоса, его заслонки, оси, прокладки крышек, возникают трещины в корпусе и крышках. При проверке эффективности вакуумной системы, герметичности пожарного насоса и водопенных коммуникаций, а также при заборе воды из открытого водоисточника двигатель внутреннего сгорания, и в частности, цилиндро-поршневая группа с механизмом газораспределения (система выпуска), работают интенсивно, их износ в 6—9 раз больше, чем при работе двигателя в транспортном режиме. Таким образом, пятое направление обеспечивает экономический эффект за счет снижения расхода ГСМ, а также повышения надежности новой вакуумной системы и двигателя внутреннего сгорания в виде показателя $K_{ти}$, который имеет величину S_5 .

Значительное повышение величины $K_{ти}$ будет достигнуто за счет изготовления кузова, цистерны, пенобака, боковых отсеков из стеклопластика. В настоящее время все эти узлы, выполненные из стали, имеют низкую надежность из-за их коррозии. Выполняемые в большом объеме сварочные работы значительно снижают коэффициент технического использования АЦ. Это в большей степени относится к постоянному восстановлению цистерны и пенобака, панелей насосного отсека.

Седьмое направление модернизации обеспечивает введение агрегатного метода ремонта АЦ, являющегося перспективным и обеспечивающего сокращение времени ремонта, повышение производительности труда и качества ремонта. При этом изготовленные из стеклопластика цистерна, пенобак, боковые отсеки устанавливаются в едином блоке на съемном подрамнике вместе с дополнительной трансмиссией, пожарным насосом и водопенными коммуникациями.

В насосном отсеке должна быть полностью автоматизированная система забора воды диафрагменного типа по подобию пожарных насосов, выпускаемых фирмой «Магирус» (Германия). Введение этих новшеств при модернизации обеспечит сравнительно максимальное повышение величины $K_{ти}$, показанное на рисунке 4 как параметр S_7 .

Исходя из анализа направлений модернизации (рисунки 1, 2), динамики изменения показателей эксплуатационных свойств и свойств надежности (рисунки 3, 4), выбираются возможные комплексные варианты модернизации АЦ.

Предлагаются три варианта, объединяющих 7 направлений модернизации:

1-й вариант — базовое шасси после ремонта и пожарная надстройка после модернизации (5—7-е направления);

2-й вариант — базовое шасси после модернизации (1—4-е направления) и пожарная надстройка после модернизации (5—7-е направления);

3-й вариант — разработка и изготовление специального базового шасси (1—4-е направления) и пожарная надстройка после модернизации (5—7-е направления).

Рассмотрев эти варианты, выбрать наиболее предпочтительную стратегию модернизации АЦ весьма трудно. Для решения данной проблемы в работе [1] предлагается применить аппарат оптимизации нечисловых функций с помощью симплексных методов. При этом, для того чтобы минимизировать целевую функцию $f(x)$ (например, снизить ущерб от пожаров за

счет увеличения средней скорости движения АЦ к месту вызова S_1), постановку задачи можно представить в виде:

$$f_{\min} = f(x^*) = \min f(x), \quad (2)$$

где $f(x) = f(f_1(x), f_2(x), \dots, f_q(x))^{x \in X}$,

$$f(x) = f(f_1(x), f_2(x), \dots, f_q(x)), i = \overline{1, q},$$

$f_i(x)$ — функции, характеризующие свойства АЦ: максимальная скорость движения, удельная мощность автомобиля, время разгона на мерном участке дороги 400 м и др.;

x^* — обозначение предпочтительного состояния АЦ;

X — многообразие возможных вариантов состояния АЦ.

Однако для более полной и точной оценки предпочтительного направления модернизации необходимо выполнить прогнозирование затрат на всех этапах жизненного цикла АЦ в процессе модернизации и дальнейшей ее эксплуатации.

На основе общепринятых положений можно выделить следующие этапы жизненного цикла модернизированных АЦ:

1. Исследование проблемы, анализ данных по эксплуатации АЦ, постановка задачи.
2. Разработка и подготовка технического задания на модернизацию АЦ.
3. Выполнение НИОКР на модернизацию устаревших АЦ.
4. Изготовление, производство модернизированных АЦ.
5. Эксплуатация модернизированных АЦ.

На каждом этапе выполняется соответствующий комплекс мероприятий и работ.

На первом этапе делаются запросы в подразделения по ЧС о предоставлении в областные (г. Минска) управления МЧС и дальше, в Управление техники и материального обеспечения МЧС Республики Беларусь данных по установленным низким параметрам эксплуатационных свойств, конструктивным недоработкам, заводскому браку отдельных агрегатов, узлов АЦ. Происходит процесс накопления этих данных и формирование исходных требований, разработка более уточненных заявок для установления причин. Формируется решение о модернизации АЦ с более высокими показателями эксплуатационных свойств и свойств надежности.

На втором этапе заказчиком готовится техническое задание на модернизацию АЦ.

При этом заказчик в техническом задании должен заложить десятки параметров, которые должны соответствовать назначению и таким показателям, как надежность, технологичность, техническая эстетика, эргономика, стандартизация, унификация и др.

Заказчик выполняет предварительные расчеты и определяет основные параметры тактико-технических характеристик эксплуатационных свойств и свойств надежности.

В техническом задании необходимо указать технико-экономическое обоснование устаревшего автомобиля, назначение, технические характеристики, показатели качества, а также дополнительные требования в соответствии с ГОСТ 51 709-2001 и НПБ 101-2005. При этом должны учитываться требования раздела IV НПБ 1001-2005 (главы 1—18).

Третий этап опытно-конструкторских работ по АЦ включает в себя:

- разработку эскизного проекта ОКР;
- разработку технического проекта ОКР;
- разработку рабочей конструкторской документации (РКД) для изготовления составной части АЦ (опытного образца);
- изготовление опытных составных частей, отдельных элементов и модернизированной АЦ в целом;
- проведение предварительных испытаний, устранение конструкторских ошибок, недостатков;

- проведение приемочных испытаний опытного образца АЦ;
- корректировку РДК и доработку опытного образца АЦ;
- утверждение РДК.

Четвертый этап изготовления, производства модернизированных АЦ включает в себя:

- постановку АЦ на производство в соответствии с РДК, разработку технологического процесса, подготовку оборудования, комплектующих материалов, агрегатов;
- изготовление и приемку АЦ серийного производства, устранение обнаруженных недостатков;
- испытания и приемку серийных АЦ, устранение обнаруженных недостатков.

Пятый этап эксплуатации включает в себя использование модернизированных АЦ по назначению, техническое обслуживание, ремонт, хранение и тщательный анализ надежности основных агрегатов, систем и узлов.

Главной задачей эксплуатации АЦ является постоянное обеспечение ее боеготовности при использовании по назначению, выполнение своевременного, качественного и в полном объеме технического обслуживания и ремонта, учета работы техники. При этом должны применяться передовые методы и средства технической диагностики агрегатов и систем, обеспечивающих безопасность движения, а также безотказную подачу огнетушащих веществ для тушения.

Очень важно в процессе эксплуатации АЦ выполнять тщательный анализ надежности агрегатов и систем, которые подлежат модернизации.

На всех этапах жизненного цикла модернизированных АЦ специалисты технической службы МЧС должны оказывать активное влияние и выполнять строгий контроль в процессе:

- проектирования модернизированных АЦ;
- производства;
- эксплуатации.

Контроль и своевременная корректировка отдельных технических решений конструкторов специалистами МЧС обеспечат экономию средств, исключат дальнейшую доработку, исправление допущенных ошибок. Контроль качества изготовления опытного образца, опытной партии модернизированных АЦ на предприятии также будет способствовать повышению качества и надежности техники, исключит до минимума допущенный брак в процессе производства.

Для определения общих затрат на указанных этапах модернизации АЦ можно использовать следующие зависимости:

$$C_m = C_{ио} + C_{тз} + C_{окр} + C_{п} + C_{э}, \quad (3)$$

- где C_m — общие затраты на модернизацию;
 $C_{ио}$ — затраты на сбор данных, формирование решения на модернизацию АЦ;
 $C_{тз}$ — затраты на технико-экономическое обоснование модернизации АЦ, разработку технического задания;
 $C_{окр}$ — затраты на проведение опытно-конструкторских работ по модернизации АЦ;
 $C_{п}$ — затраты на производство модернизированных АЦ;
 $C_{э}$ — затраты на эксплуатацию модернизированных АЦ.

$$C_{окр} = C_{пр} + C_{из} + C_{ис} + C_{чо}, \quad (4)$$

- где $C_{пр}$ — затраты на проектные работы;
 $C_{из}$ — затраты на изготовление опытного образца;
 $C_{ис}$ — затраты на испытание опытного образца;

Счо — затраты на исправление обнаруженных ошибок проектирования, технологического процесса.

$$C_{\text{п}} = C_{\text{оп}} + C_{\text{еп}} + C_{\text{ип}} + C_{\text{укп}}, \quad (5)$$

где $C_{\text{оп}}$ — затраты на организацию производства;
 $C_{\text{еп}}$ — затраты на серийное производство;
 $C_{\text{ип}}$ — затраты на испытание и приемку серийных модернизированных АЦ;
 $C_{\text{укп}}$ — затраты на устранение ошибок при конструировании и производстве.

$$C_{\text{э}} = C_{\text{д}} + C_{\text{то}} + C_{\text{р}} + C_{\text{хр}} + C_{\text{тр}} + C_{\text{сб}}, \quad (6)$$

где $C_{\text{д}}$ — затраты на диагностику;
 $C_{\text{то}}$ — затраты на техническое обслуживание;
 $C_{\text{р}}$ — затраты на ремонт;
 $C_{\text{хр}}$ — затраты хранение;
 $C_{\text{тр}}$ — затраты на транспортирование;
 $C_{\text{сб}}$ — затраты на сбор данных, анализ надежности модернизированных агрегатов, систем.

С помощью зависимостей (3)—(6) можно определить затраты на проведение работ по модернизации и дальнейшей эксплуатации АЦ. Общим параметром оценки эффективности модернизации является экономический эффект, который зависит от снижения ущерба от пожаров и гибели людей и затрат на модернизацию АЦ.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

- Модернизация АЦ наиболее целесообразна по смешанному 1—2-му вариантам, т. е. частичная модернизация базового шасси с выполнением его капитального ремонта, разработка и изготовление пожарной надстройки.
- С целью повышения боеготовности АЦ, надежности специальных агрегатов необходимо выполнить их модернизацию. Для этого необходимо заменить общепринятый газоструйный вакуум-аппарат на вакуумную систему с ее работой от дополнительно установленного компрессора. Для обеспечения долговечности деталей кузова, цистерны, пенобака и боковых отсеков предлагается выполнять их из стеклопластика.
- В процессе ремонта АЦ выполняется большой объем монтажных работ по разборке и сборке агрегатов пожарной надстройки. С целью увеличения ремонтпригодности, с применением перспективного агрегатного метода ремонта предлагается пожарную надстройку: цистерну, пенобак, боковые отсеки, дополнительную трансмиссию, пожарный насос и систему управления — выполнять в едином блоке на съемном подрамнике. Единый блок пожарной надстройки можно изготавливать централизованно на специализированном предприятии, что обеспечит большой экономический эффект.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бычкова, А.П. Модели и методы управления развитием технических систем / А.П. Бычкова, Д.П. Гасюк, А.Е. Филлюстик. — СПб.: Союз, 2003. — 277 с.
2. Кулаковский, Б.Л. Эксплуатационные свойства пожарных автоцистерн / Б.Л. Кулаковский. — Минск: Минскпроект, 2006. — 210 с.

Поступила в редакцию 14 декабря 2006 г.