69 научно-методическая
и научно-исследовательская
конференция

МОСКОВСКИЙ
АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)

Зенченко В.А., Ширяев А.В.

ФОРМИРОВАНИЕ ГИБКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И РЕМОНТА СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ГАЗОБАЛЛОННЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

The formation of flexible technologies of diagnostics and repairing the fuel supply systems of LPG vehicles

1. Актуальность исследования

Использование газового топлива на автомобильном транспорте

Парк газобаллонных автомобилей, работающих на газе сжиженном нефтяном (ГСН), во всём мире устойчиво растёт

Ежегодный рост парка составляет 12-15%, а в некоторых странах более 30%

Аналогичными темпами увеличивается парк ГБА ГСН и в РФ

=

В 2010 году парк ГБА ГСН составил 17,4 млн. автомобилей

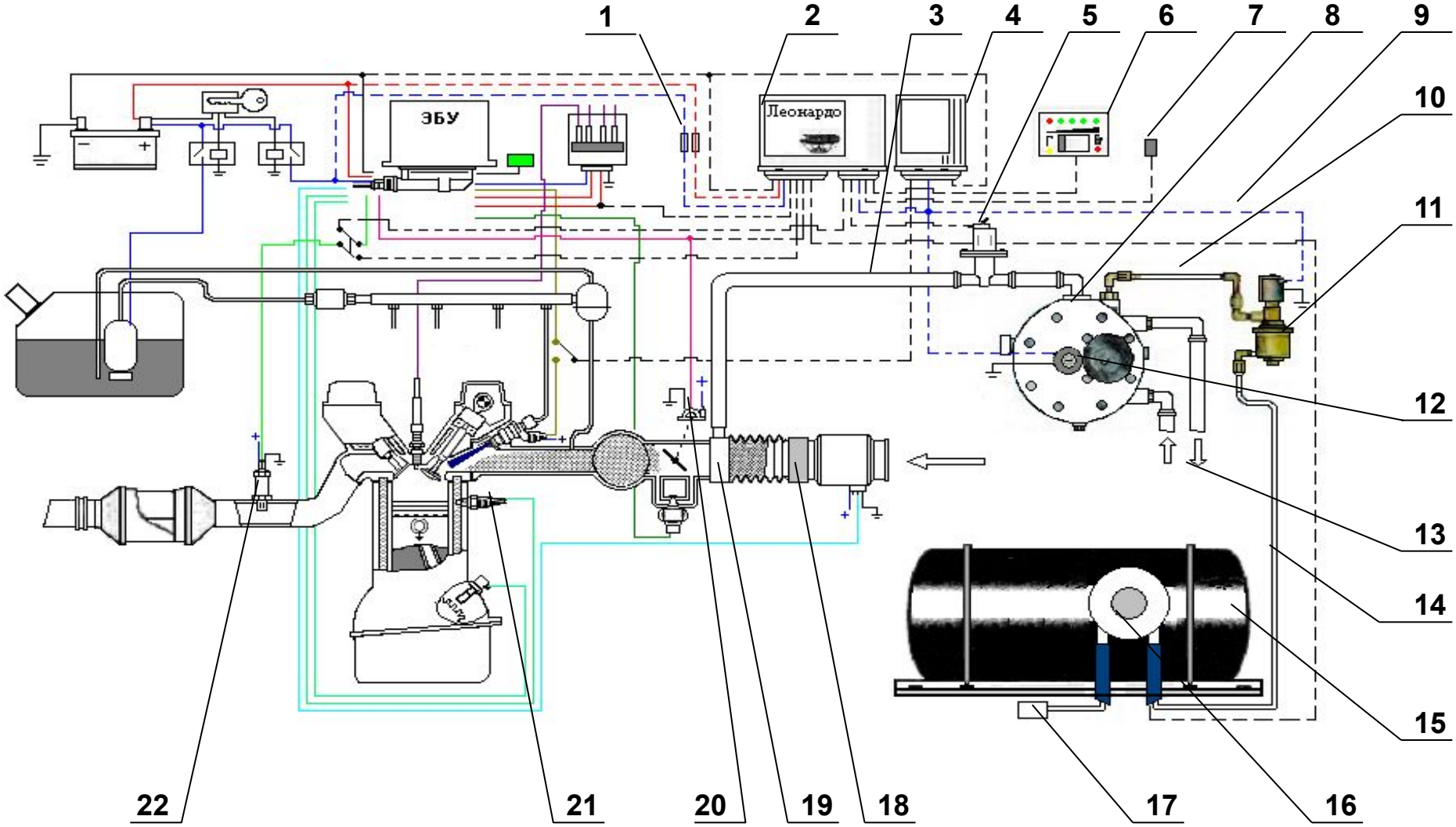
Основной рост происходит за счёт переоборудования находящихся в эксплуатации автомобилей

Газовые системы питания с электронным управлением двух видов

С распределённым впрыском газа

Эжекционные

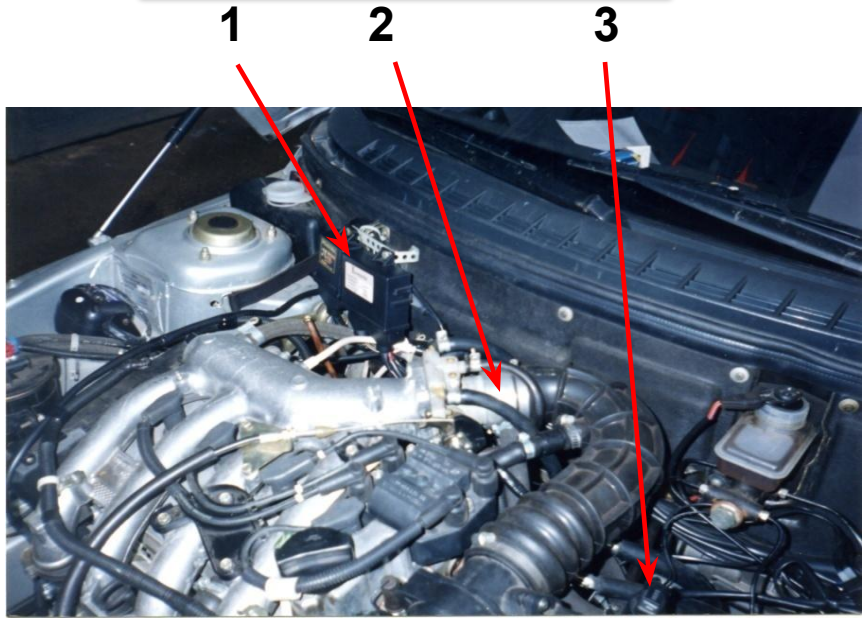
Газовая система питания эжекционного типа с обратной связью и ЭСУД Bosch M1.5.4N



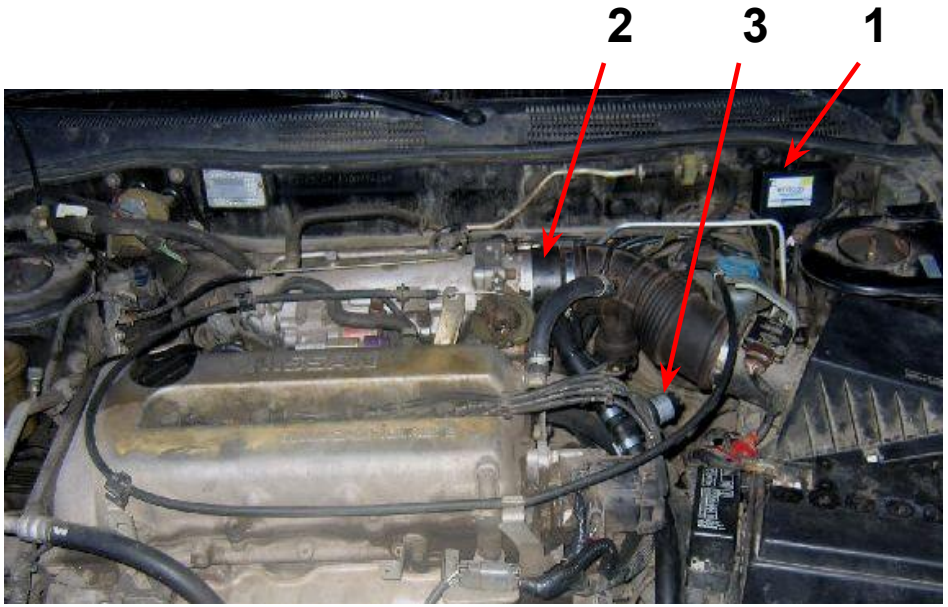
1 – предохранители ГСП; 2 – ЭБУ подачей газа; 3 – газопровод низкого давления (от электрического дозатора до смесителя); 4 – эмулятор форсунок; 5 – электрический дозатор газа; 6 – переключатель вида топлива с индикацией; 7 – колодка диагностики ЭБУ подачей газа; 8 – редуктор-испаритель; 9 – электропроводка ГСП; 10 – газопровод высокого давления от ЭМК газа до редуктора-испарителя; 11 – электромагнитный клапан газа (ЭМК); 12 – электромагнитный клапан холостого хода; 13 – подогрев редуктора-испарителя; 14 – газопровод высокого давления; 15 – баллон с запорно-предохранительной арматурой; 16 – вентиляционная камера; 17 – выносное заправочное устройство; 18 – обратный клапан (хлопушка); 19 – смеситель; 20 – датчик положения дроссельной заслонки; 21 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 22 – датчик концентрации кислорода (лямбда-зонд).

Пример установки газовой системы питания с обратной связью и её элементы

ВАЗ 2110



Nissan Almera



1- электронный блок управления газовой системы питания

2- смеситель с обратным клапаном

3- электронный дозатор газа

4- редуктор-испаритель

Причины неисправностей в эжекционных газовых системах питания и их влияние на состав ОГ

Внутренняя не герметичность

1. Засорение клапана 1-ой ступени редуктора (обогащение ТВС)
2. Выход из строя мембраны 1-ой ступени (обогащение ТВС)
3. Зависание якоря электромагнитного клапана газа (обогащение ТВС)
4. Залипание поршня электронного дозатора газа (обеднение или обогащение ТВС)
5. Износ сальника системы холостого хода редуктора (обогащение ТВС)

Внешняя не герметичность

1. Не герметичность трубопроводов и их соединений с элементами ГСП (обеднение ТВС)
2. Крепление между собой корпусных деталей редуктора (обеднение ТВС)
3. Крепление между собой корпусных деталей ЭМК газа (обеднение ТВС)
4. Крепление смесителя и дроссельного патрубка (обеднение ТВС)
5. Крепление мультиклапана к баллону (обеднение ТВС)
6. Выход из строя диафрагмы 2-ой ступени (обеднение ТВС)
7. Засорение клапана 2-ой ступени (обогащение ТВС)

Отсутствие или задержка подачи топлива, задержка воздуха, неисправности датчиков и подсистем ЭСУД, неисправности ГРМ

1. Отсутствие ГСН в баллоне (обеднение ТВС)
2. Закрытый расходный вентиль мультиклапана (обеднение ТВС)
3. Засорение магистрали подачи газа (обеднение ТВС)
4. Неисправность ЭМК газа и состояние его фильтрующего элемента (обеднение ТВС)
5. Состояние мембран редуктора (обеднение или обогащение ТВС)
6. Загрязнение фильтра винта регулировки ХХ редуктора (обеднение ТВС)
7. **Положение регулировочных винтов редуктора** (обеднение или обогащение ТВС)
8. Засорение газового провода от редуктора к смесителю (обеднение ТВС)
9. Загрязнение отверстий в смесителе (обеднение ТВС)
10. Положение регулировочного винта привода дроссельной заслонки (обеднение или обогащение ТВС)
11. Не герметичность ЭМК бензина (обогащение ТВС)
12. Неисправность эмулятора форсунок (обогащение ТВС)
13. **Неисправность электронного дозатора** (обеднение или обогащение ТВС)
14. Неисправность ЭБУ ГСП (не работает)
15. Состояние предохранителей (не работает)
16. Обрыв электропроводки (в зависимости от места может привести к выключению системы)
17. Засорение воздушного фильтра (обогащение ТВС)
18. Неисправность датчика ДПДЗ (обеднение или обогащение ТВС)
19. Неисправность датчика кислорода (ДК) (обеднение или обогащение ТВС)
20. Неисправность датчика массового расхода воздуха (ДМРВ)
21. Неисправности модуля зажигания (МЗ)
22. Неисправности клапанов газораспределительного механизма (ГРМ)
23. Неисправность нейтрализатора отработавших газов (обогащение ТВС)

Факторы, определяющие токсичность ОГ ГБА

1. Техническое состояние и настройка элементов газовой системы питания
2. Техническое состояние элементов системы зажигания
3. Техническое состояние элементов электронной системы управления двигателя (ЭСУД)
4. Общее техническое состояние двигателя и его механизмов (КШМ , ГРМ и др.)
5. Режимы и условия эксплуатации ГБА

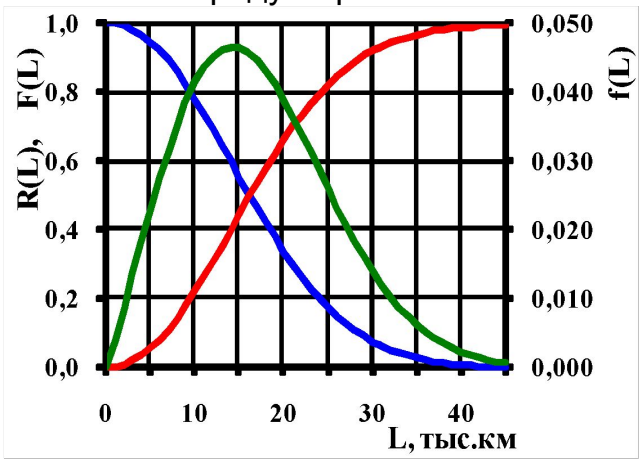
→ **Токсичность ОГ ГБА**

Оценка показателей надёжности элементов ГСП с ЭБУ «Leonardo» и ЭСУД Bosch M1.5.4N ГБА ВАЗ

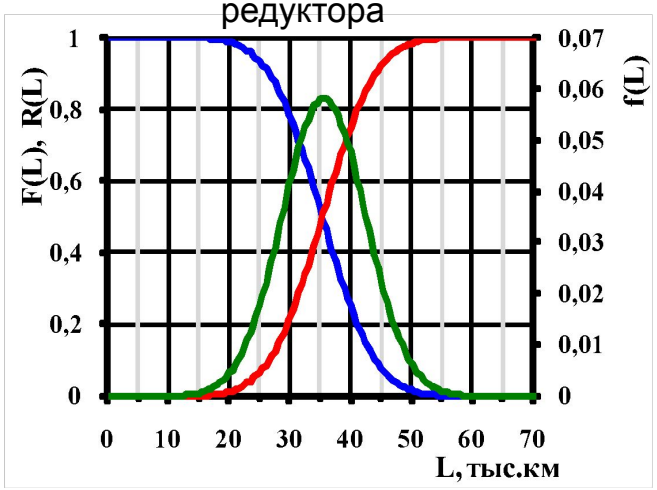
Обозначение элемента / вида работы	Код работы, j	Средняя наработка $\overline{L}$, т.км.	Средне-квадратичное отклонение $\sigma(L)$	Коэфф. вариации $\nu(\mathrm{L})$	Гамма-процентная наработка L_γ, т.км. $\gamma = 0{,}90$ / $\gamma = 0{,}95$	Вид закона распре-деления	Общие затраты на обслужи-вание и ремонт, S_j руб.	Значения ведущих функций потока отказов на гарантийном пробеге, $L_г$ $\Omega_j(L_г)$	Удельные затраты на обслуживание и ремонт, руб. $S_{уд j}$
ГСП в целом		6,03	3,2	0,531	2,24 / 1,567	В			
Воздушный фильтр/замена	1	17,95	6,641	0,37	9,45 / 7,06	Н	160	2,911	7,763
Винт холостого хода редуктора/ регулировка	2	17,03	8,432	0,495	6,66 / 4,75	В	350	3,146	18,35
Фильтр клапана холостого хода/ очистка	3	35,57	10,766	0,303	21,9 / 17,91	Н	90	1,233	1,849
Фильтр электромагнитного клапана газа/замена	4	28,34	5,35	0,189	21,49 / 19,57	Н	570	1,635	15,533
Мембраны и клапаны редуктора/ проверка замена	5	35,61	6,87	0,193	27,02 / 24,34	Н	4610	1,204	92,472
Электронный дозатор газа/проверка, замена	6	130,58	127,9	0,98	15,18 / 7,6	В	2100	0,440	15,389
Датчик кислорода/ проверка, замена	7	68,39	16,193	0,237	47,68 / 41,83	Н	1300	0,405	8,784
Датчик положения дроссельной заслонки /проверка, замена	8	24,3	24,4	1,0	2,62 / 1,28	В	900	2,469	37,037
Датчик массового расхода воздуха/ проверка, замена	9	50,95	49,9	0,98	5,92 / 2,96	В	2750	1,158	53,067
Нейтрализатор ОГ / проверка, замена	10	73,99	72,47	0,98	8,6 / 4,3	В	3600	0,791	47,467
Винт клапана второй ступени редуктора / регулировка	11	22,524	9,636	0,38	10,3 / 7,7	В	350	2,236	13,044
Клапаны ГРМ /замена , притирка, регулировка	12	91,27	37,1	0,36	44,2 / 33,78	В	5640	0,222	20,886
Модуль зажигания / проверка, замена	13	27	6,423	0,237	18,78 / 16,47	Н	1700	1,750	49,592

Закономерности распределения наработок на отказы и неисправности элементов газовой системы питания и ЭСУД

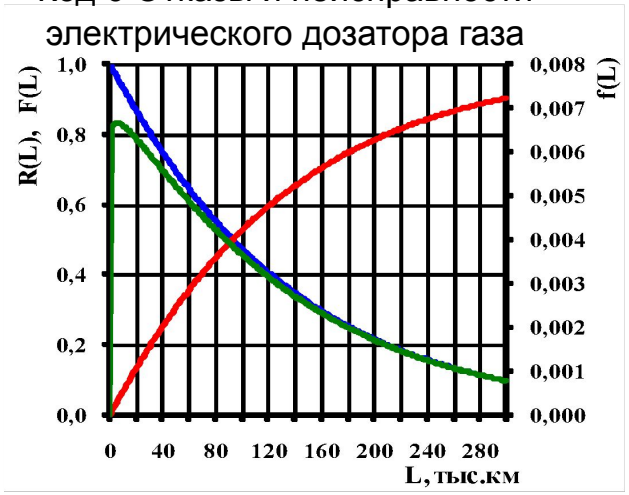
Код 2 Регулировка винта ХХ редуктора



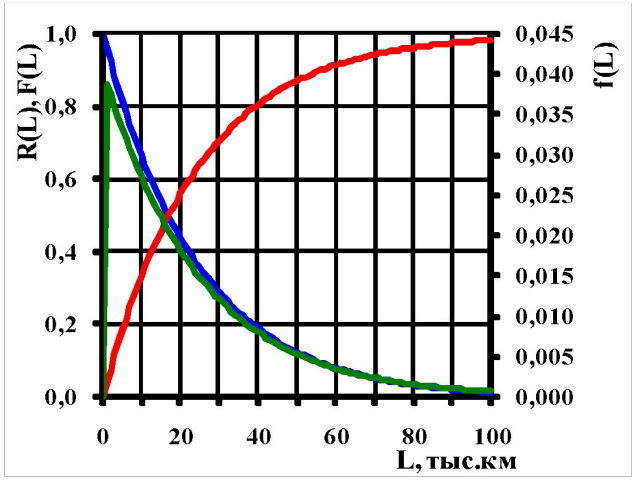
Код 5 Замена мембран и клапанов редуктора



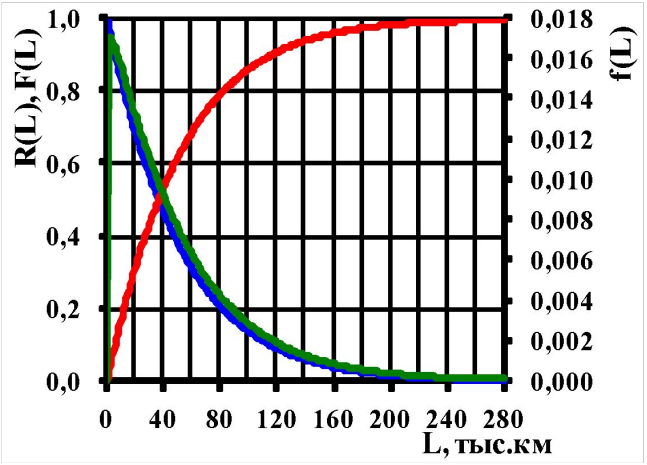
Код 6 Отказы и неисправности электрического дозатора газа



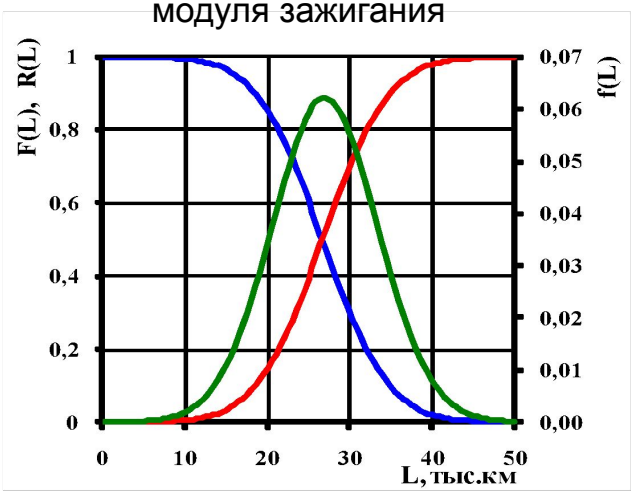
Код 8 Отказы и неисправности датчика положения дроссельной заслонки



Код 9 Отказы и неисправности датчика массового расхода воздуха



Код 13 Отказы и неисправности модуля зажигания



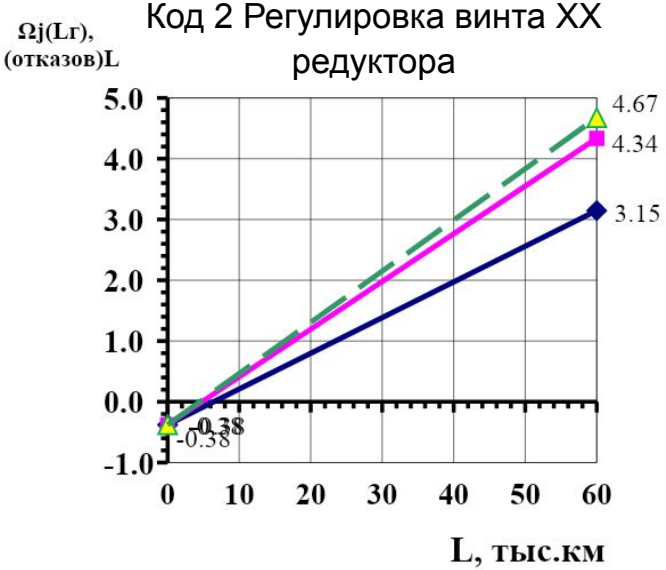
-f(L) плотность распределения вероятности возникновения отказов

- F(L) вероятность возникновения отказа;

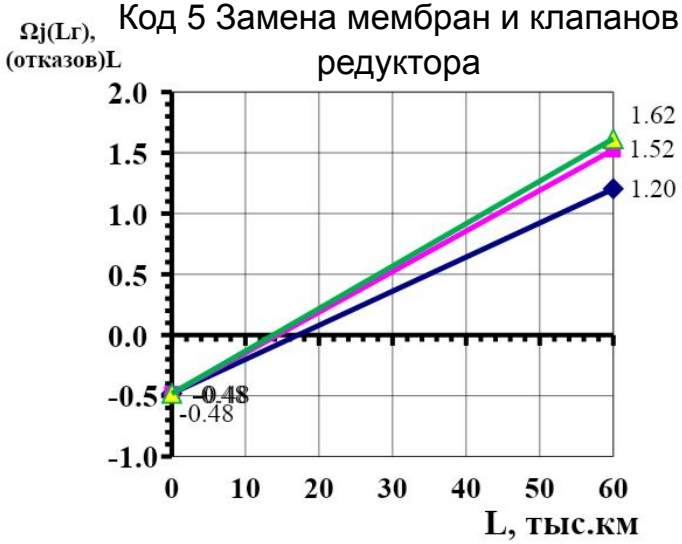
R(L) вероятность безотказной работы.

Асимптотические зависимости для ведущей функции потока отказов и ее доверительных границ

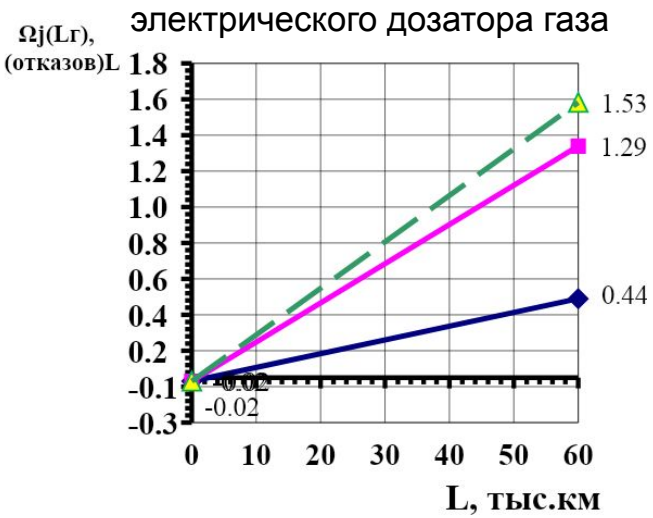
Код 2 Регулировка винта ХХ редуктора



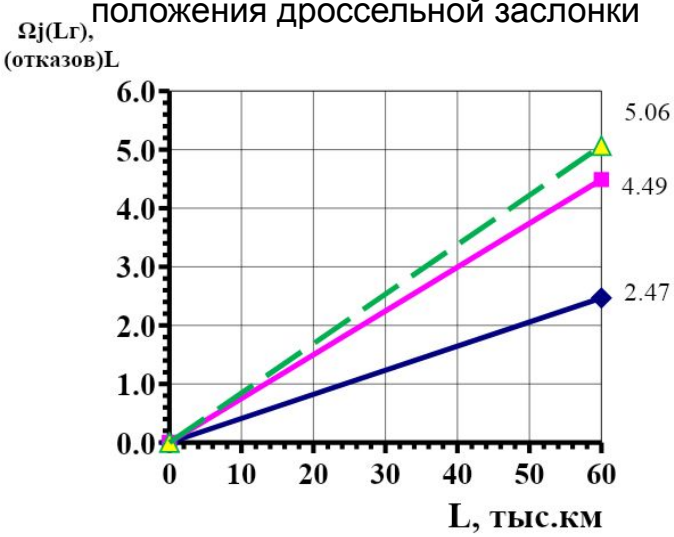
Код 5 Замена мембран и клапанов редуктора



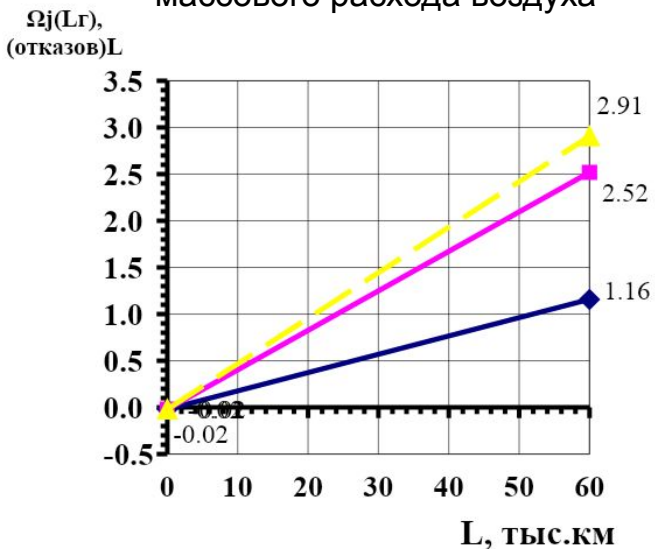
Код 6 Отказы и неисправности электрического дозатора газа



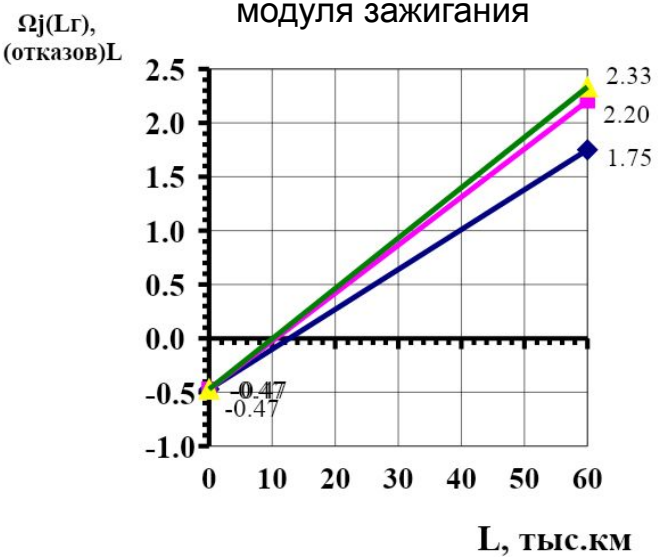
Код 8 Отказы и неисправности датчика положения дроссельной заслонки



Код 9 Отказы и неисправности датчика массового расхода воздуха



Код 13 Отказы и неисправности модуля зажигания

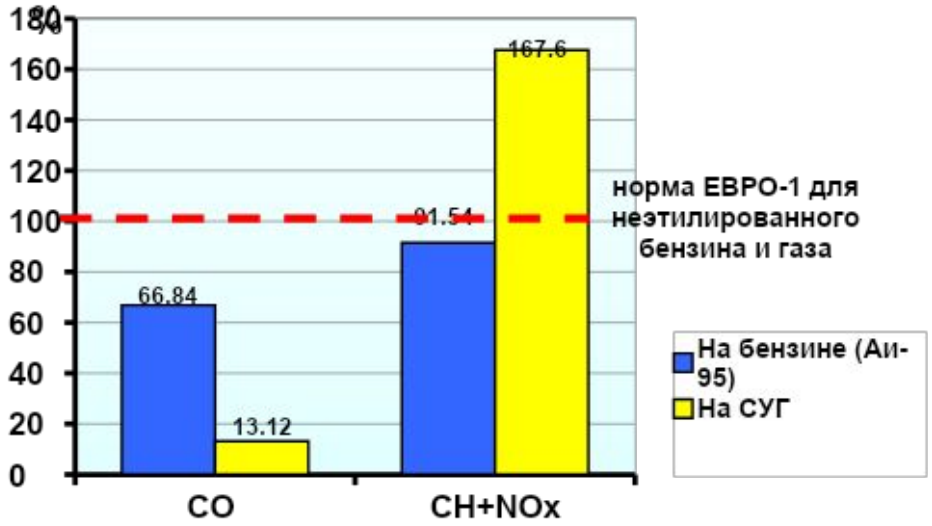


Ωj(Lг) – ведущая функция потока отказов на пробеге Lг

$\Omega_j^{в}(L_г)$ – верхняя граница для заданной вероятности γ=0,9

– верхняя граница для заданной вероятности γ=0,95

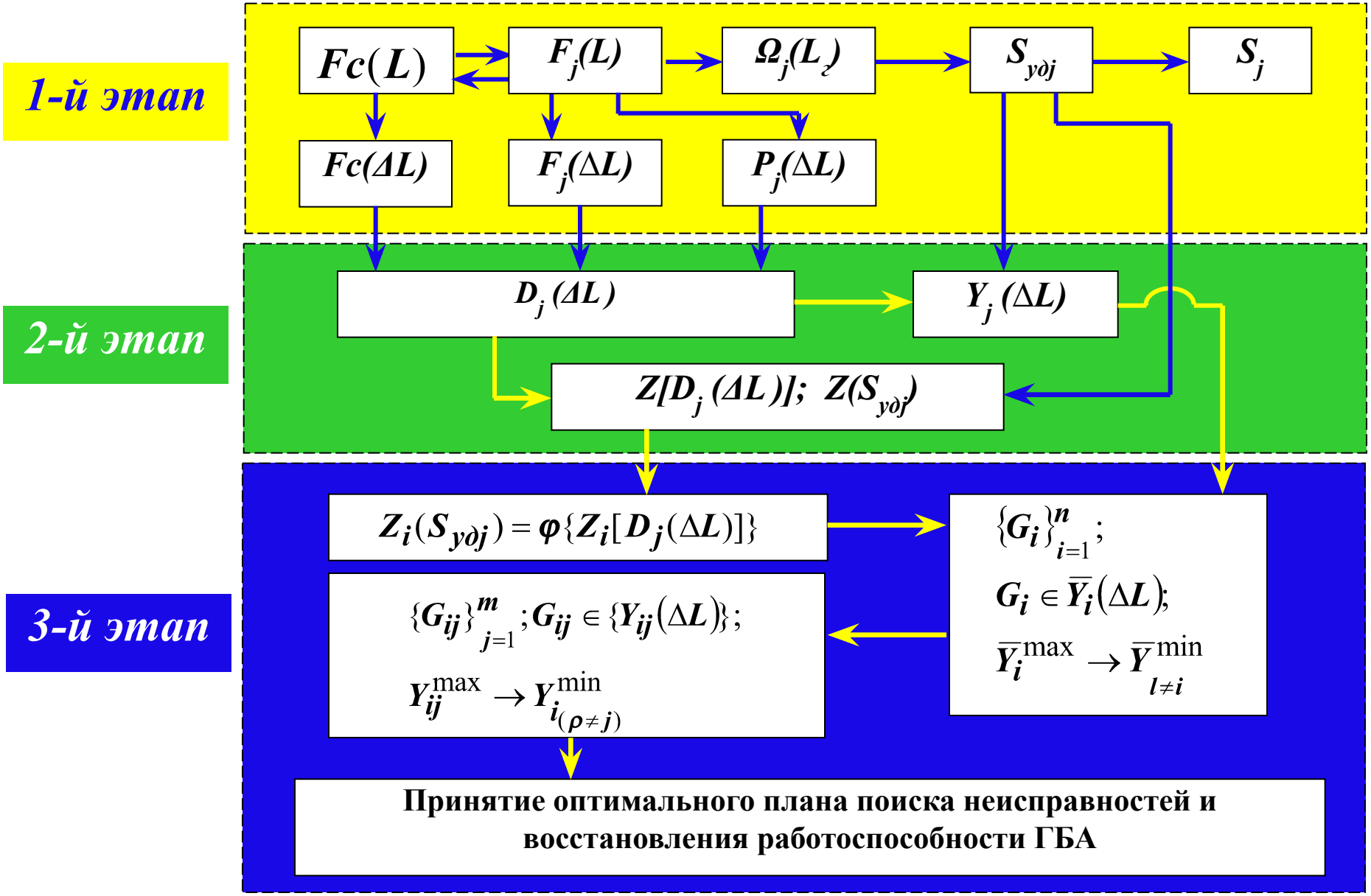
4. Токсичность ОГ ВАЗ-21113 при испытании по ездовому циклу ГОСТ Р 41.83 -1999



Автомобиль соответствует требованиям ГОСТа на бензине и <u>не соответствует на газе</u>.

По сравнению с бензином выбросы CO на газе меньше в 5 раз, а по сумме CH и NO_X больше в 2 раза, а не наоборот, как принято считать.

Схема процесса формирования *оптимальных* планов поиска и устранения отказов и неисправностей



Аналитические зависимости формирования оптимальных планов поиска и устранения отказов и неисправностей

1-й этап

Вероятности возникновения неисправностей и отказов на интервале пробега (ΔL)

$$F_j(\Delta L) = F_j(L_{r+1}) - F_j(L_r)$$

где *r* – индекс очередного обращения ГБА на обслуживание или ремонт

Пороговое значение для выявления наиболее значимых работ с заданной вероятностью α (нижняя доверительная граница) на интервале пробега (ΔL)

$$\overline{F}^{н}_{\alpha j}(\Delta L) = M[F(\Delta L)] - Z_\alpha \frac{\sigma[F(\Delta L)]}{\sqrt{m}}$$

где $M[F(\Delta L)]$ - оценка математического ожидания множества значений $\{F_j(\Delta L)\}$

$\sigma[F(\Delta L)]$ - оценка среднеквадратичного отклонения $F_j(\Delta L)$

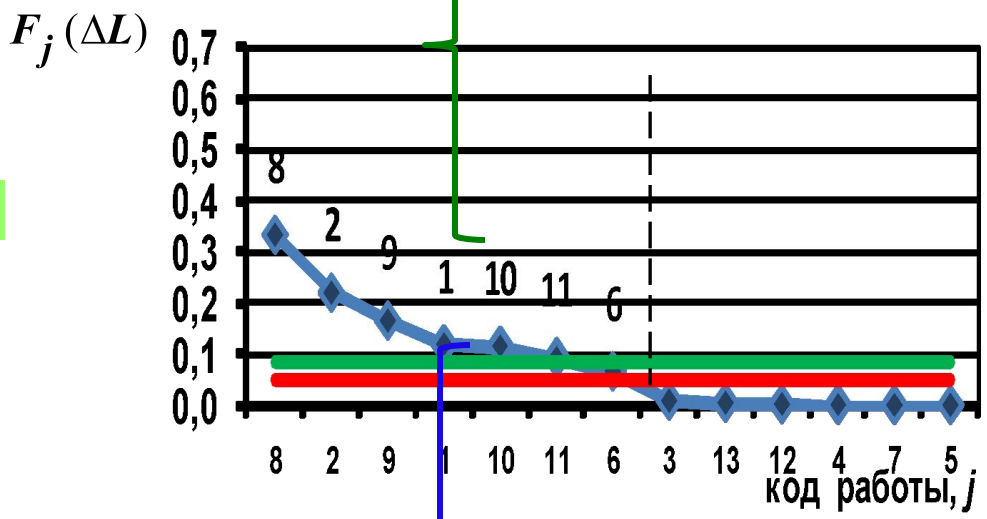
Z_α - нормированная случайная величина для заданной доверительной вероятности α;

m – общее число кодов работ

Изменения вероятностей возникновения отказов $F_j(\Delta L)$ на интервале пробега ΔL

Интервал межсервисного пробега

L= 0-10 т.км.

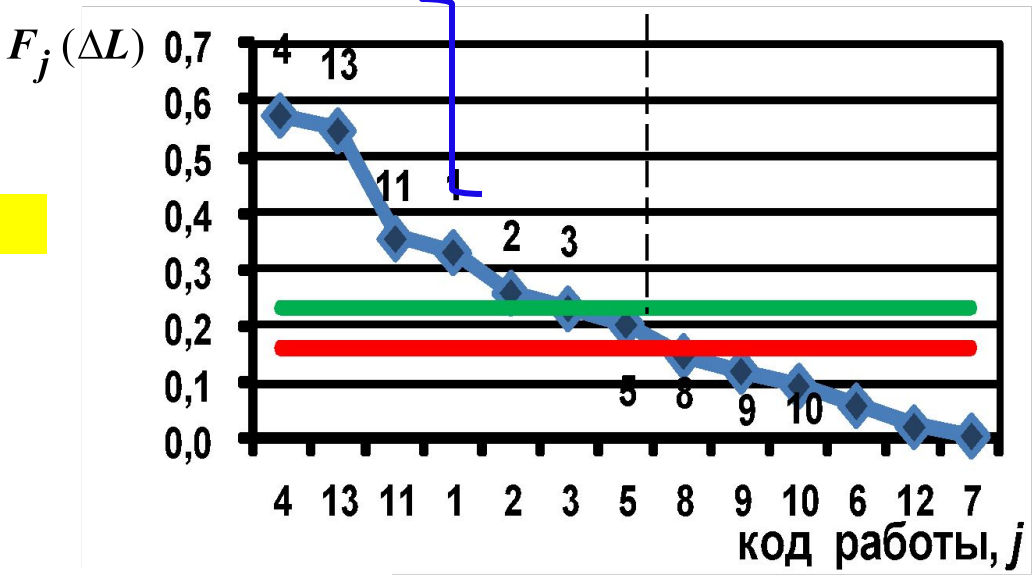


Группа приоритетных кодов по *Fj* (ΔL) на интервале L = 0-10 т.км

8, 2, 9, 1, 10, 11, 6

Интервал межсервисного пробега

L= 20-30 т.км.



Группа приоритетных кодов по *Fj* (ΔL) на интервале L = 20-30 т.км

4, 13, 11, 1, 2, 3, 5

F (ΔL) — среднее F (ΔL) — нижняя доверительная граница $\overline{F}^{\text{н}}_{\alpha j}(\Delta L)$

Аналитические зависимости формирования оптимальных планов поиска и устранения отказов и неисправностей

2-й этап

Диагностическая ценность обследования

$$D_j(\Delta L) = -[F_j(\Delta L)\log_2 \frac{F_j(\Delta L)}{F_c(\Delta L)} + P_j(\Delta L)\log_2 \frac{P_j(\Delta L)}{F_c(\Delta L)}]$$

$F_c(\Delta L)$ - вероятность возникновения отказов для всей совокупности объектов по газовой системе питания и элементам ЭСУД на интервале пробега ΔL;

$P_j(\Delta L)$ - вероятностей безотказной работы элементов газовой системы питания и элементов ЭСУД с *j*-ми кодами на интервале пробега ΔL;

Интегральная оценка учета диагностической ценности и удельных затрат

$$Y_j(\Delta L) = \begin{cases} \overline{Y}_j(\Delta L) = D_j(\Delta L)\cdot \overline{S}_{уdj}, \\ Y_j^{в}(\Delta L) = D_j(\Delta L)\cdot S_{уdj}^{в}, \end{cases}$$

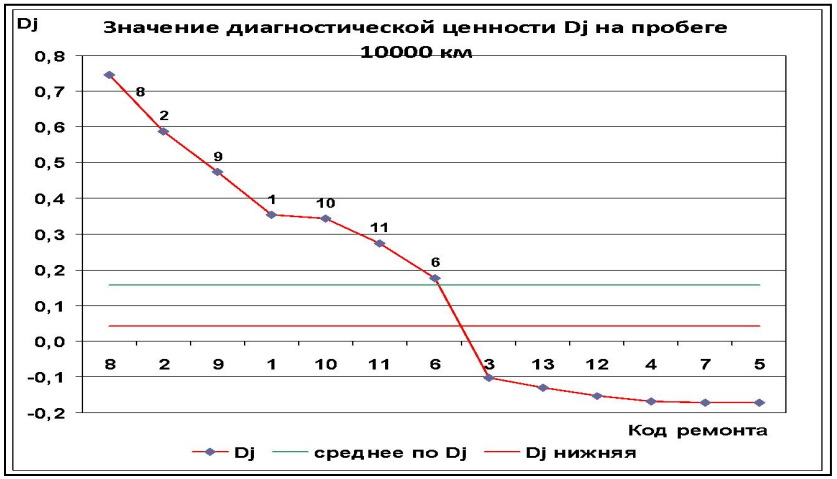
- для средних значений удельных затрат,

- для верхних толерантных границ удельных затрат

$\overline{S}_{уdj}$ - средние удельные затраты

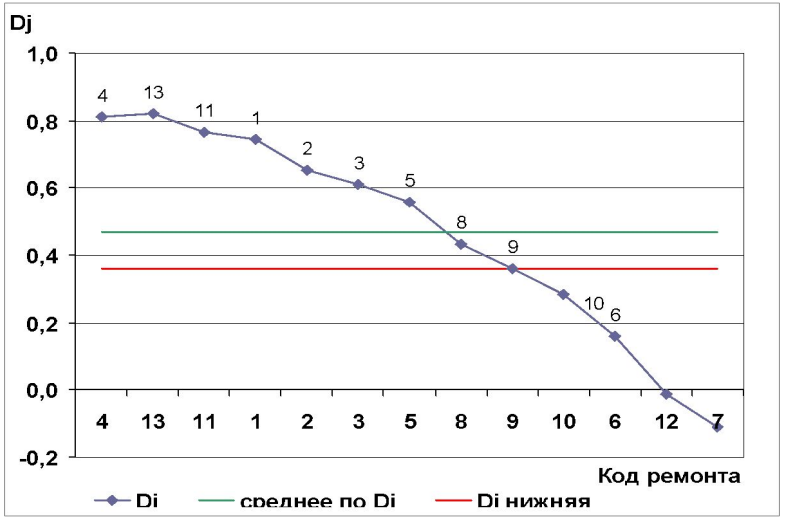
Диагностическая ценность обследования технического состояния ГСП и ЭСУД на разных пробегах ГБА

L= 0-10 т.км.

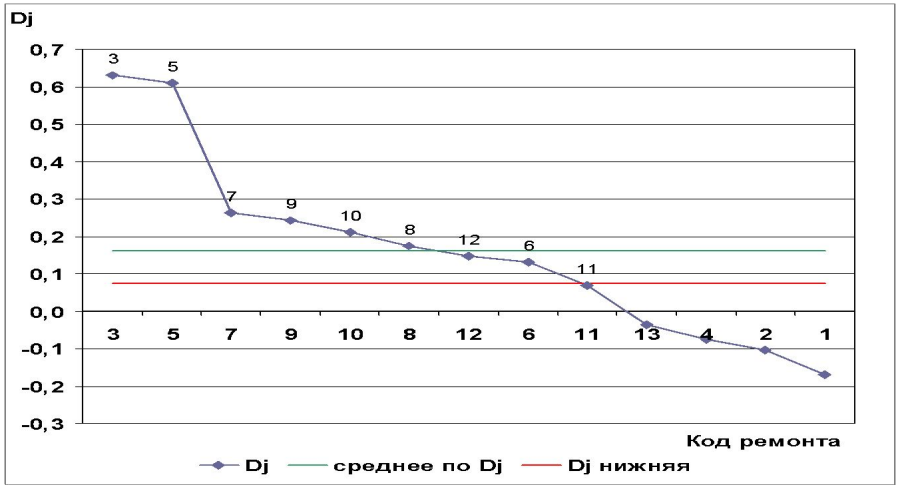


L= 20-30 т.км.

$D_j(\Delta L)$



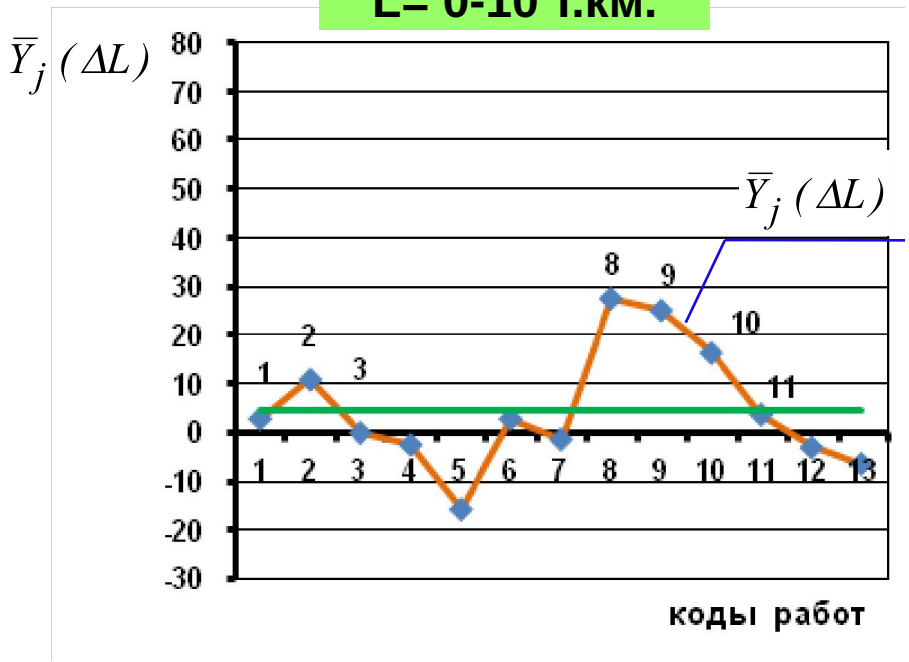
L= 40-50 т.км.



Интегральная оценка диагностической ценности обследования технического состояния $Y_j(\Delta L)$ и удельных затраты $Syд_j$ на разных пробегах ГБА

Интервалы межсервесного пробега

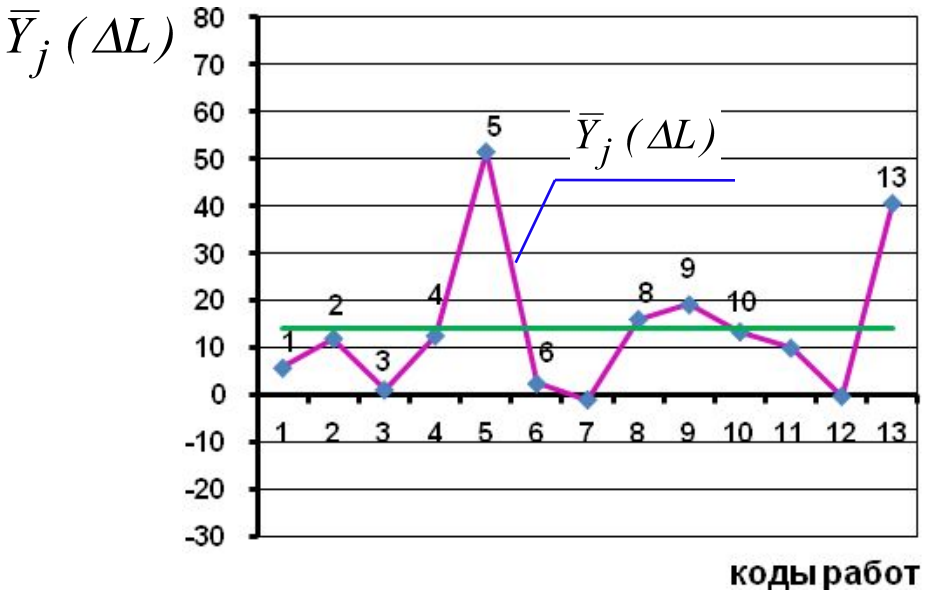
L= 0-10 т.км.



Группа приоритетных кодов по $\bar{Y}_j(\Delta L)$ на интервале L = 0-10 т.км

2, 8, 9, 10

L= 20-30 т.км.



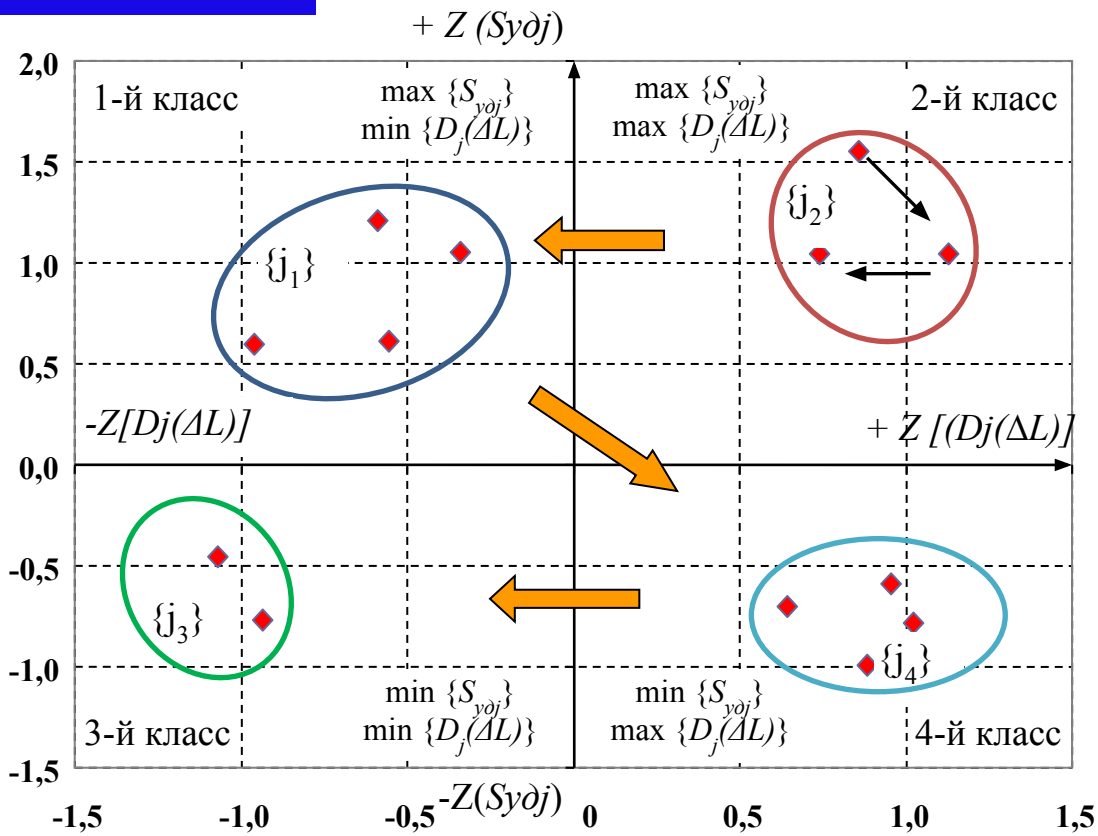
Группа приоритетных кодов по $\bar{Y}_j(\Delta L)$ на интервале L = 20-30 т.км

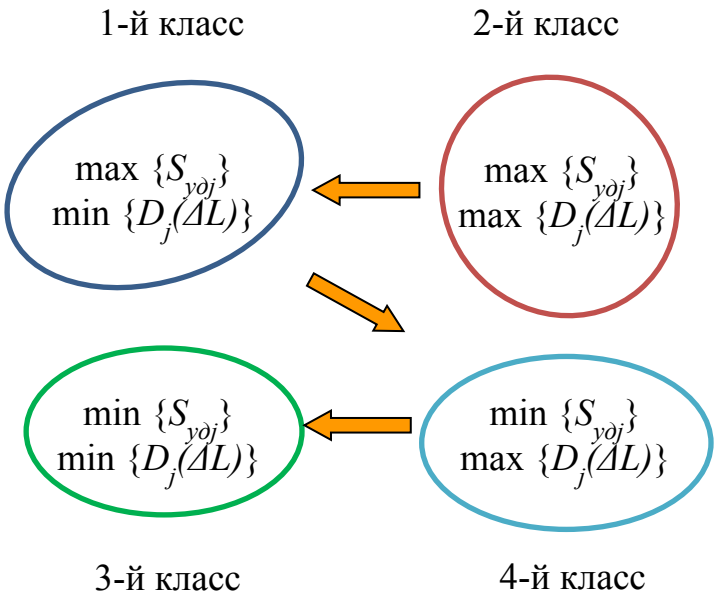
5, 8, 9, 13

$M[Y(\Delta L)]$ - математическая оценка диагностической ценности обследования

Классификация кодов работ на основе нормировки удельных затрат $Syд_j$ и диагностической ценности $D_j(\Delta L)$

3-й этап





Классификация кодов работ $\{j\}_1^m$

на основе нормировки затрат $S_{yдj} \in (\bar{S}_{yдj}, \cap S^{в}_{yдj})$

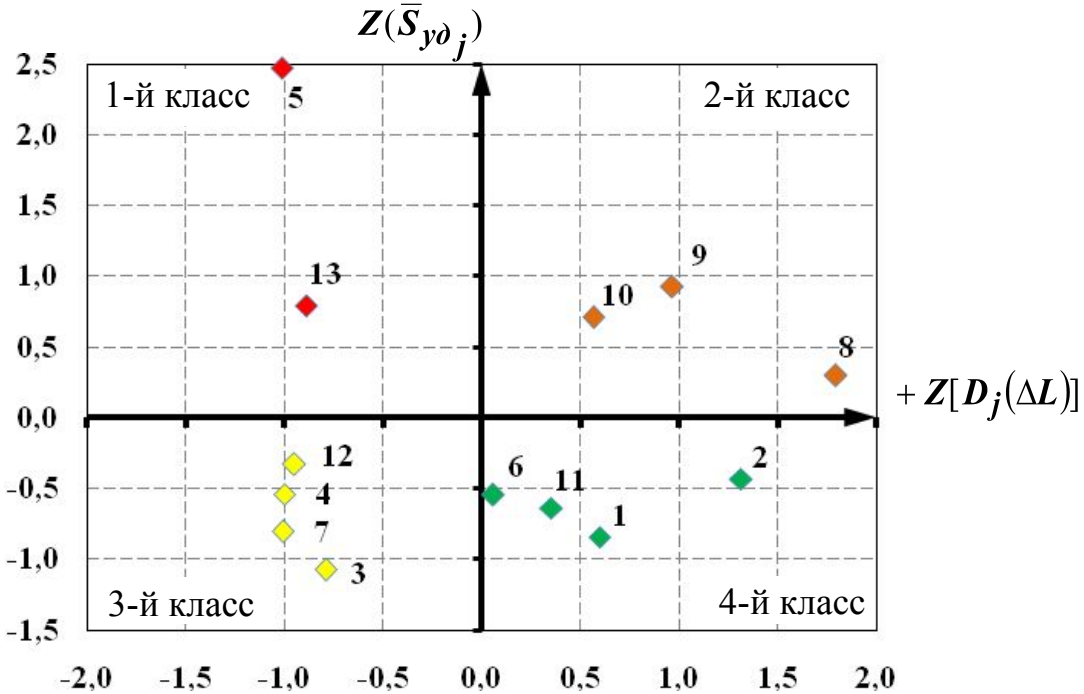
и диагностической ценности $D_j(\Delta L)$

Схема приоритетности выполнения групп работ по обслуживанию и ремонту ГСП и ЭСУД

Классификация исходного множества кодов работ на основе нормировки значений затрат Sydj и диагностической ценности Dj(ΔL) на разных пробегах ГБА

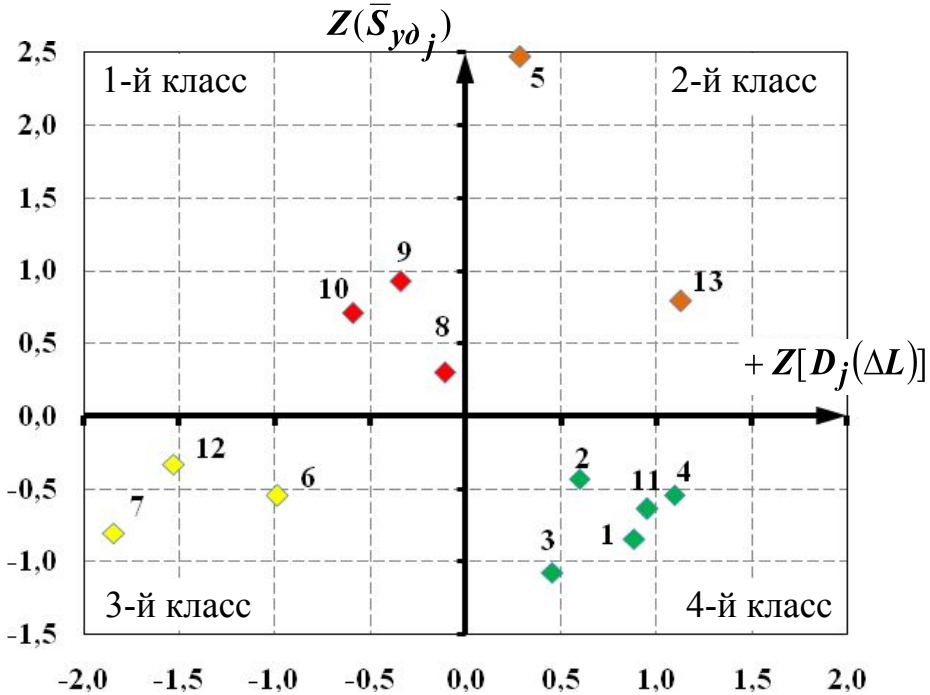
Интервалы межсервесного пробега

L = 0-10 т.км.



1-й класс	2-й класс	3-й класс	4-й класс
5, 13	8, 9, 10	3, 4, 7, 12	1, 2, 6, 11

L = 20-30 т.км.



1-й класс	2-й класс	3-й класс	4-й класс
8, 9, 10	5, 13	6, 7, 12	1, 2, 3, 4, 11

Формирование оптимальных планов поиска и устранения отказов и неисправностей элементов ГСП и ЭСУД ГБА

Сформированные классы	Обозначение кодов работ	Коды работы	Интегральная оценка ценности и удельных затрат $\overline{Y}_j(\Delta L)$	Порядок диагностирования по $\overline{Y}_j(\Delta L)$	Математическое ожидание для классов кодов работ $M[\overline{Y}_j(\Delta L)]$	Приоритетность классов выполнения работ по $M[\overline{Y}_j(\Delta L)]$
L= 0-10 т.км.						
1	Зам. Мемб. и Кл. Р	5	-15,953	2	-11,2575	4
	Зам.М.З.	13	-6,562	1		
2	Зам. ДПДЗ	8	27,598	1	23,0191	1
	Зам. ДМРВ	9	25,165	2		
	Зам. НОГ	10	16,295	3		
3	ОЧФКл ХХР	3	-0,187	1	-1,8837	3
	Зам. ФЭМКГ	4	-2,633	3		
	Зам. ДК	7	-1,511	2		
	Зам. клапанов ГРМ с регул.	12	-3,204	4		
4	Зам. ВФ	1	2,741	3	4,9514	2
	Рег.ВХХР	2	10,781	1		
	Зам. ЭДГ	6	2,719	4		
	Рег.ВК2Р	11	3,564	2		

Формирование оптимальных планов поиска и устранения отказов и неисправностей элементов ГСП и ЭСУД ГБА

Сформированные классы	Обозначение кодов работ	Коды работы	Интегральная оценка ценности и удельных затрат $\overline{Y}_j(\Delta L)$	Порядок диагностирования по $\overline{Y}_j(\Delta L)$	Математическое ожидание для классов кодов работ $M[\overline{Y}_j(\Delta L)]$	Приоритетность классов выполнения работ по $M[\overline{Y}_j(\Delta L)]$
L= 20-30 т.км.						
1	Зам. ДПДЗ	8	16,073	2	16,229	2
	Зам. ДМРВ	9	19,174	1		
	Зам. НОГ	10	13,440	3		
2	Зам. Мемб. и Кл. Р	5	51,555	1	46,0975	1
	Зам.М.З.	13	40,640	2		
3	Зам. ЭДГ	6	2,453	1	0,4300	4
	Зам. ДК	7	-0,953	3		
	Зам. клапанов ГРМ с регул.	12	-0,210	2		
4	Зам. ВФ	1	5,771	4	8,292	3
	Рег.ВХХР	2	11,997	2		
	ОЧФКл ХХР	3	1,127	5		
	Зам. ФЭМКГ	4	12,579	1		
	Рег.ВК2Р	11	9,986	3		

Формирование оптимальных планов поиска и устранения отказов и неисправностей элементов ГСП и ЭСУД ГБА

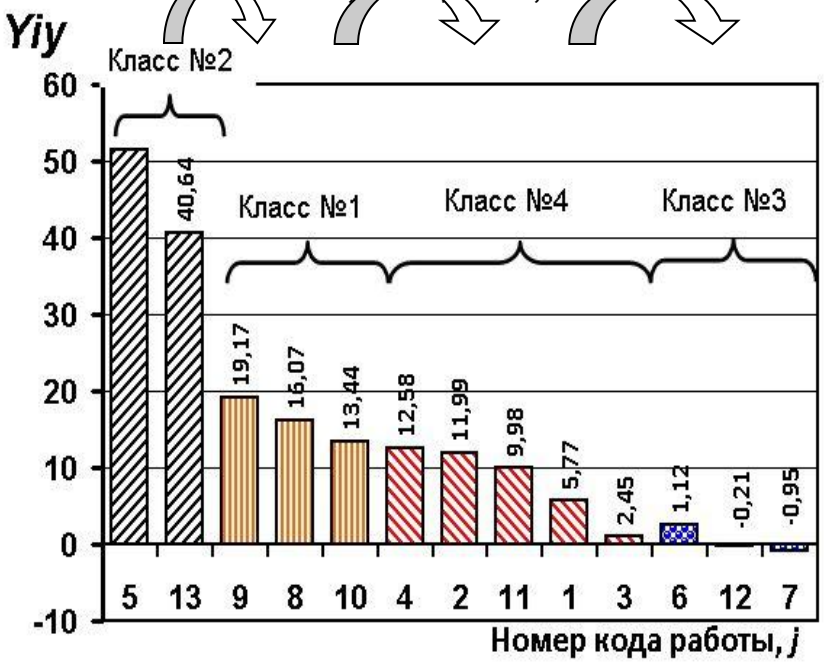
Сформированные классы	Обозначение кодов работ	Коды работы	Интегральная оценка ценности и удельных затрат $\overline{Y}_j(\Delta L)$	Порядок диагностирования по $\overline{Y}_j(\Delta L)$	Математическое ожидание для классов кодов работ $M[\overline{Y}_j(\Delta L)]$	Приоритетность классов выполнения работ по $M[\overline{Y}_j(\Delta L)]$
L= 40-50 т.км.						
1	Зам.М.З.	13	-1,792	1	-1,7920	4
2	Зам. Мемб. и Кл. Р	5	56,344	1	21,4333	1
	Зам. ДПДЗ	8	6,475	4		
	Зам. ДМРВ	9	12,872	2		
	Зам. НОГ	10	10,041	3		
3	Зам. ВФ	1	-1,313	1	0,2675	3
	Рег.ВХХР	2	-1,925	6		
	Зам. ФЭМКГ	4	-1,155	5		
	Зам. ЭДГ	6	2,002	3		
	Рег.ВК2Р	11	0,905	4		
	Зам. клапанов ГРМ с регул.	12	3,092	2		
4	ОЧФКл ХХР	3	1,165	2	1,7370	2
	Зам. ДК	7	2,309	1		

Формирование оптимальных *планов поиска и устранения отказов и неисправностей элементов ГСП и ЭСУД ГБА*

Интервалы межсервесного пробега

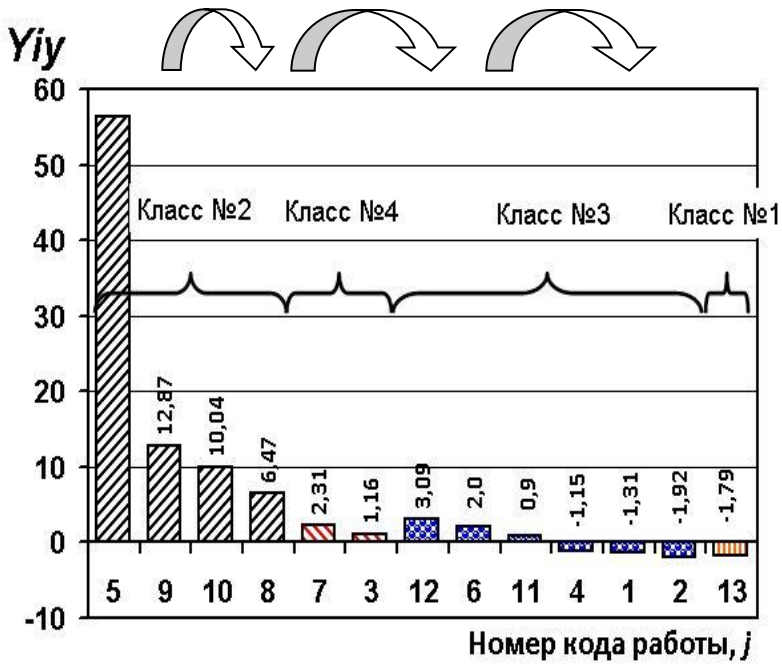
L = 20-30 т.км.

Порядок диагностирования классов:
№2, №1, №4, №3



L = 40-50 т.км.

Порядок диагностирования классов:
№2, №4, №3, №1



Порядок выполнения работ внутри классов

Направление диагностирования

Направление диагностирования

Технология диагностирования и ремонта системы питания и ЭСУД ГБА

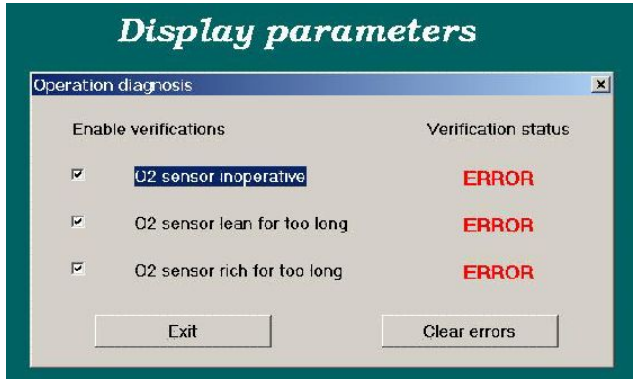
Предварительный этап

1. Проверка герметичности газовой системы питания с помощью:

Течеискателя

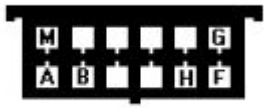
Мыльного раствора

2. Считывание кодов ошибок с газового ЭБУ

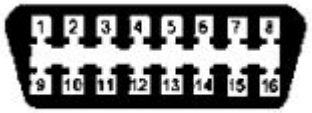


Предварительный этап технологии диагностирования

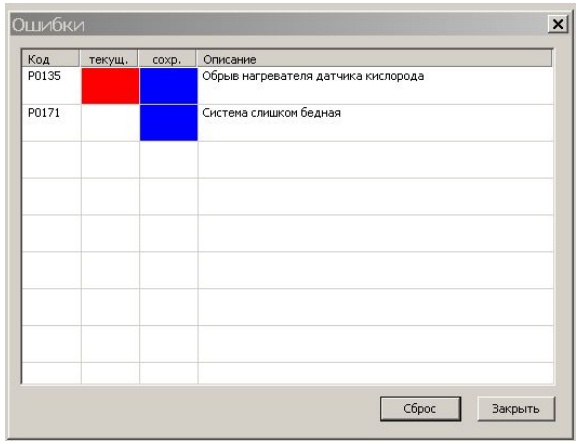
3. Считывание ошибки с бензинового ЭБУ



12-контактный ВАЗ



16-контактный OBD-II



4. Определение содержания CO, CH, CO2, O2 и λ после нейтрализатора и сделать предварительный вывод о качестве топливно-воздушной смеси

$\lambda < 1$	$\lambda = 1$	$\lambda > 1$	$\lambda > 1$
CO – высокое CO_2 – низкое CH – высокое O_2 – низкое	CO – низкое CO_2 – высокое CH – низкое O_2 – низкое	CO – низкое CO_2 – высокое CH – высокое O_2 – высокое	CO – низкое CO_2 – высокое CH – низкое O_2 – высокое
«Богатая» смесь	Стехиометрическая	«Бедная» смесь / пропуски зажигания	Утечка в системе выпуска ОГ

Технология диагностирования

5. Определить направление дальнейших контрольно-диагностических работ

Проверить газовую систему питания и систему ЭСУД по кодам работ вызывающих **«богатую»** смесь: **1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11**

Система отрегулирована

Проверить газовую систему питания, системы ЭСУД и зажигания по кодам работ вызывающих **«бедную»** смесь: **2, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13**

Поверить систему выпуска ОГ

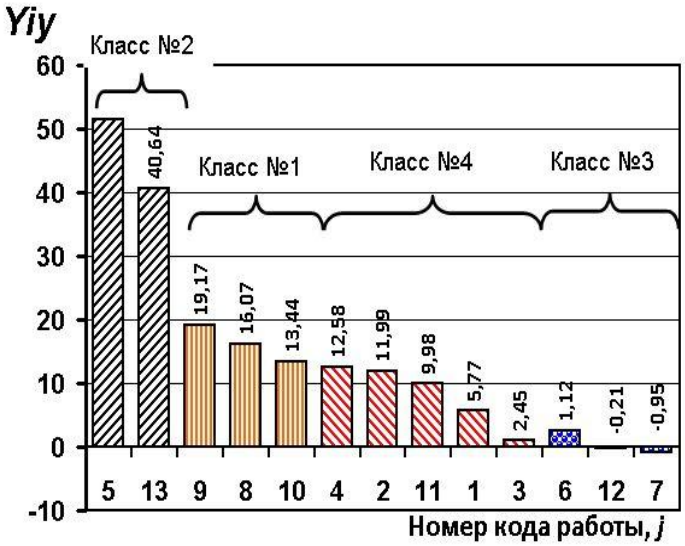
6. Определить приоритетность выполнения контрольно-диагностических работ в соответствии с накопленным ГБА пробегом по *оптимальным* планом поиска для этого межсервисного пробега

По критерию интегральной оценки учета диагностической ценности и удельных затрат $Y_j(\Delta L)$

Интервал межсервисного пробега **L= 20-30 т.км.**

2-й класс	1-й класс	4-й класс	3-й класс
5	9, 8, 10	2, 11, 1, 3	6 , 7

2-й класс	1-й класс	4-й класс	3-й класс
-	8	4, 2, 11	6 , 12, 7



Заключительный этап технологии диагностирования

7. Устранить неисправности

8. Определение содержания CO, CH, CO2, O2 и λ после нейтрализатора

9. Повторно прочитать ошибки с ЭБУ ГСП и ЭБУ Bosch и сделать вывод о качестве топливно-воздушной смеси и работоспособности системы питания и управления

Да! Норма.

Завершение работы

Нет. Не норма.

Продолжить выполнение поиска и устранения неисправностей