

3. Нормы времени и нормативы численности на текущий ремонт и межремонтные испытания оборудования тяговых и трансформаторных подстанций железных дорог для ОАО «РЖД». – М.: – 2007.

4. Корякин Р.Н. Нормы устройства сетей заземления – М.: ЗАО «Энергосервис», 2002. – 242 с.

5. Корякин Р.Н., Солнцев В.И. Заземление устройства промышленных электроустановок // Справочник электромонтажника. Под ред. А.Д. Смирнова и др. – М.: Издательство Энергоиздат, 1989. – 191 с.

ВЛИЯНИЕ АСИММЕТРИИ ОБРАТНОГО ТЯГОВОГО ТОКА НА РАБОТУ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ

В.С. Урцева, Н.В. Стадухина, К.В. Менакер

*Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал
ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения»
672040, Забайкальский край, г. Чита, ул. Магистральная, д.11,
кафедра электроснабжения*

В рельсовых цепях (РЦ) слабым звеном передачи обратного тягового тока является дроссель-трансформатор, используемый для пропуска тока в обход изолирующих стыков [2]. Проблема дроссель-трансформаторов состоит не в токовых ограничениях, а в асимметрии тягового тока – неравенстве токов в смежных рельсах. Если продольная асимметрия [3] может быть уменьшена путем поддержания в исправном состоянии соединений стыков и стыковых соединителей, то поперечная асимметрия на электрифицированных железных дорогах присутствует всегда там, где к правой по ходу рельсовой нити подключаются цепи заземления опор контактной сети и других металлических конструкций [2, 4].

Целью проведения исследования являлась оценка влияния асимметрии обратного тягового тока на работоспособность аппаратуры РЦ. Для решения поставленной задачи необходимо разработать имитационную модель кодовой РЦ переменного тока частотой 25 Гц, как наиболее распространенную на магистральных линиях.

Кодовая рельсовая цепь 25 Гц

Рассмотрим принципиальную схему кодовой рельсовой цепи частотой 25 Гц (рис. 1) [5].

Рельсовые цепи питаются от преобразователя частоты ПЧ-50/25. В качестве путевого приемника используется импульсное путевое реле ИМВШ-110 или ИВГ-М, напряжение срабатывания которого составляет 3-4,5 В.

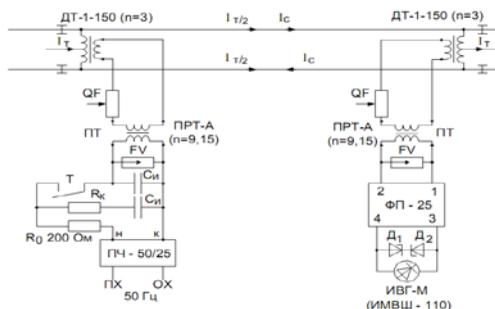


Рис. 1. Схема кодовой рельсовой цепи переменного тока частотой 25 Гц

Защита импульсного реле от мешающего влияния тягового тока асимметрии и его гармонических составляющих осуществляется фильтром типа ФП-25. Для пропуска тягового тока в обход изолирующих стыков устанавливаются дроссель-трансформаторы типа ДТ-1-150 с низким коэффициентом трансформации ($n=3$). Для согласования высокого сопротивления аппаратуры питающего и релейного концов рельсовой цепи с низким сопротивлением рельсовой линии применяются изолирующие трансформаторы типа ПРТ-А, с коэффициентом трансформации 9,15.

В качестве ограничителя тока источника питания, в режиме короткого замыкания рельсовой линии, последовательно с преобразователем частоты устанавливается сопротивление R_0 , равное 200 Ом.

Расчет кодовой РЦ 25 Гц с реле ИМВШ-110

Схема рельсовой цепи приведена на рис. 1. Рассмотрим питающий и релейный концы РЦ в виде каскадного соединения четырехполюсников. Длина рельсовой цепи $l = 1500$ м; удельное сопротивление рельсов $Z = 0,5 \cdot e^{-j52^\circ}$ Ом/км; удельное сопротивление изоляции рельсовой линии $r_{\text{и}} = 1$ Ом·км; минимальное удельное сопротивление изоляции заземлений контактных опор $r_0 = 2$ Ом·км; входное сопротивление фильтра ФП-25, нагруженного путевым реле типа ИМВШ-110, $Z_{\text{вх.Ф}} = 200$ Ом; напряжение и ток на входе фильтра при рабочем напряжении путевого реле $U_p = 3,84$ В, $U_{\text{Ф}} = 6,6$ В, $I_{\text{Ф}} = 0,033$ А; сопротивление ограничивающего резистора $R_0 = 200$ Ом; сопротивление соединительных проводов между дроссель-трансформатором и изолирующим трансформатором $r_{\text{СП}} = r_{\text{СР}} = 0,3$ Ом.

Коэффициенты четырехполосника изолирующего трансформатора ПРТ-А для релейного конца при $n = 9,15$: $A_{ИР} = 0,11$; $B_{ИР} = 2,4 \cdot e^{j36^\circ}$ Ом; $C_{ИР} = 0,006 \cdot e^{-j65^\circ}$ См; $D_{ИР} = 9,15$.

Для питающего конца коэффициенты $A_{ИР}$ и $D_{ИР}$ меняют места-ми. Коэффициенты четырехполосника дроссель-трансформатора ДТ-1-150 релейного конца: $A_{Др} = 0,333$; $B_{Др} = 0,0525 \cdot e^{j40^\circ}$ Ом; $C_{Др} = 0,49 \cdot e^{-j70^\circ}$ См; $D_{Др} = 3$; питающего конца – $A_{Дп} = 3,0$; $B_{Дп} = 0,05 \cdot e^{j35^\circ}$ Ом; $C_{Дп} = 0,302 \cdot e^{-j60^\circ}$ См; $D_{Дп} = 0,333$.

Для сокращения объема расчетов четырехполосники дроссель-трансформатора и изолирующего трансформатора на питающем и релейном концах объединяют в четырехполосники H и K соответственно [1]. При этом учитывают сопротивления соединительных проводов $r_{СП} = r_{СР}$. Коэффициенты общего четырехполосника питающего конца определяют из уравнения

$$\begin{aligned} \begin{vmatrix} A_H & B_H \\ C_H & D_H \end{vmatrix} &= \begin{vmatrix} 1 & R_0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} A_{ИП} & B_{ИП} \\ C_{ИП} & D_{ИП} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 1 & r_{СП} \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} A_{Дп} & B_{Дп} \\ C_{Дп} & D_{Дп} \end{vmatrix} = \\ &= \begin{vmatrix} 1 & 200 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 9,15 & 2,4 \cdot e^{j36^\circ} \\ 0,006 \cdot e^{-j65^\circ} & 0,11 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 1 & 0,3 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \times \\ &\quad \times \begin{vmatrix} 3 & 0,05 \cdot e^{j35^\circ} \\ 0,302 \cdot e^{-j60^\circ} & 0,333 \end{vmatrix} = \\ &= \begin{vmatrix} 33,308 - 10,118j & 9,364 + 0,594j \\ 0,024 - 0,046j & 0,037 - 6,932j \cdot 10^{-4} \end{vmatrix}. \end{aligned}$$

Коэффициенты общего четырехполосника релейного конца определяют из уравнения

$$\begin{aligned} \begin{vmatrix} A_K & B_K \\ C_K & D_K \end{vmatrix} &= \begin{vmatrix} A_{Др} & B_{Др} \\ C_{Др} & D_{Др} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 1 & r_{СР} \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} A_{ИР} & B_{ИР} \\ C_{ИР} & D_{ИР} \end{vmatrix} = \\ &= \begin{vmatrix} 0,333 & 0,0525 \cdot e^{j40^\circ} \\ 0,49 \cdot e^{-j70^\circ} & 3 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 1 & 0,3 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 0,11 & 2,4 \cdot e^{j36^\circ} \\ 0,006 \cdot e^{-j65^\circ} & 9,15 \end{vmatrix} = \end{aligned}$$

$$= \begin{vmatrix} 0,037 - 6,764j \cdot 10^{-4} & 1,929 + 0,779j \\ 0,025 - 0,068j & 28,885 - 1,922j \end{vmatrix}.$$

Рассмотрим нормальный режим работы рельсовой цепи, схема замещения которой представлена на рис. 2.

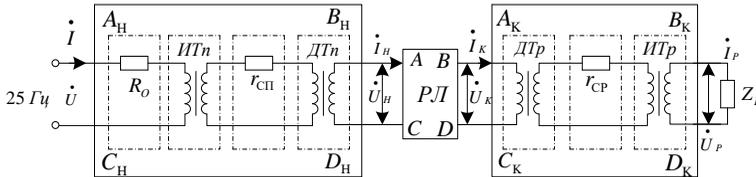


Рис.2. Схема замещения кодовой РЦ 25 ГЦ с реле ИМВШ-110

Эквивалентное сопротивление изоляции и заземления опор контактной сети определяется как

$$r_{иЭ} = 0,5 \cdot r_{и} + \frac{0,5 \cdot r_{и} \cdot r_0}{0,5 \cdot r_{и} + r_0} = 0,5 + \frac{0,5 \cdot 2}{0,5 + 2} = 0,9 \text{ Ом} \cdot \text{км}.$$

Коэффициент распространения:

$$\gamma = \sqrt{\frac{Z}{r_{иЭ}}} = \sqrt{\frac{0,5 \cdot e^{j52^\circ}}{0,9}} = 0,745 \cdot e^{j26^\circ} \text{ 1/км}.$$

Волновое сопротивление:

$$Z_B = \sqrt{r_{иЭ} \cdot Z} = \sqrt{0,5 \cdot e^{j52^\circ} \cdot 0,9} = 0,67 \cdot e^{j26^\circ} \text{ Ом}.$$

Зная, что волновое сопротивление можно определить по формуле [7]

$$Z_B = \sqrt{(R_1 + j \cdot \omega \cdot L_1) / (G_1 + j \cdot \omega \cdot C_1)},$$

где ω – циклическая частота, определим погонные параметры рельсовой линии, а именно:

- удельное сопротивление $R_1 = \text{Re}(Z) = \text{Re}(0,5 \cdot e^{j52^\circ}) = 0,308$ Ом/км;
- удельную индуктивность

$$L_1 = \frac{\text{Im}(Z)}{\omega} = \frac{\text{Im}(0,5 \cdot e^{j52^\circ})}{2 \cdot \pi \cdot 25} = 2,508 \cdot 10^{-3} \text{ Гн/км};$$

- удельную электропроводность $G_1 = \frac{1}{r_u}$, где r_u – удельное со-

противление изоляции между рельсовыми нитями, минимальное значение которого равно 1 Ом·км.

Следовательно, удельная электропроводность 1 км балласта равна

$$G_1 = \frac{1}{1} = 1 \text{ См/км,}$$

а удельная емкость

$$C_1 = \frac{r_{ИЭ}}{w} = \frac{0,9}{2 \cdot \pi \cdot 25} = 70,66 \cdot 10^{-3} \text{ Ф/км.}$$

Коэффициенты рельсовой линии как четырехполюсника с распределенными параметрами [7] определяется как

$$\begin{aligned} \begin{vmatrix} A_{RL} & B_{RL} \\ C_{RL} & D_{RL} \end{vmatrix} &= \begin{vmatrix} ch(\gamma \cdot l) & Z_B \cdot sh(\gamma \cdot l) \\ \frac{sh(\gamma \cdot l)}{Z_B} & ch(\gamma \cdot l) \end{vmatrix} = \\ &= \begin{vmatrix} ch(0,745 \cdot e^{j26^\circ} \cdot 1,5) & 0,67 \cdot e^{j26^\circ} \cdot sh(0,745 \cdot e^{j26^\circ} \cdot 1,5) \\ \frac{sh(0,745 \cdot e^{j26^\circ} \cdot 1,5)}{0,67 \cdot e^{j26^\circ}} & ch(0,745 \cdot e^{j26^\circ} \cdot 1,5) \end{vmatrix} = \\ &= \begin{vmatrix} 1,367 + 0,557j & 0,415 + 0,746j \\ 1,875 + 0,295j & 1,367 + 0,557j \end{vmatrix}. \end{aligned}$$

Напряжение и ток в конце рельсовой линии:

$$\begin{aligned} U_K &= A_K \cdot U_\Phi + B_K \cdot I_\Phi = (0,037 - 6,764j \cdot 10^{-4}) \cdot 6,6 + \\ &+ (1,929 + 0,779j) \cdot 0,033 = 0,31 \text{ В;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_K &= C_K \cdot U_\Phi + D_K \cdot I_\Phi = (0,025 - 0,068j) \cdot 6,6 + \\ &+ (28,885 - 1,922j) \cdot 0,033 = 1,231 \text{ А.} \end{aligned}$$

Напряжение и ток в начале рельсовой линии:

$$\begin{aligned} U_H &= A_{RL} \cdot U_K + B_{RL} \cdot I_K = (1,367 + 0,557j) \cdot 0,31 + \\ &+ (0,415 + 0,746j) \cdot 1,231 = 1,503 \text{ В;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_K &= C_{RL} \cdot U_K + D_{RL} \cdot I_K = (1,875 + 0,295j) \cdot 0,31 + \\ &+ (1,367 + 0,557j) \cdot 1,231 = 2,389 \text{ А.} \end{aligned}$$

Данные значения соответствуют справочным данным [1] и будут учтены при моделировании участка РЦ.

Моделирование участка РЦ

Для наглядного представления смоделируем кодовую РЦ переменного тока частотой 25 Гц длиной 1,5 км (т.к. асимметрия действует только в пределах одного блок-участка) в известной программе электронного моделирования Multisim 11.0 (рис. 3).

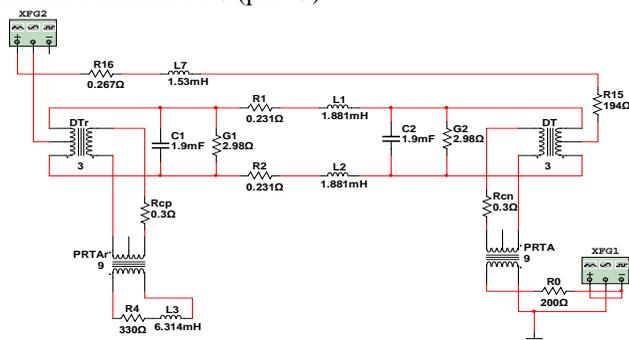


Рис. 3. Модель кодовой РЦ 25 Гц

Сопротивление двигателя электровоза составляет 194 Ом [3].

Для подвески ПБСМ-95+МФ-100 эквивалентное активное сопротивление контактной сети (КС) $r_{KC} = 0,178$ Ом/км, а индуктивность $L_{KC} = 1,019$ мГн [7].

Для построения данной модели были замерены необходимые параметры дроссель-трансформатора ДТ-1-150 и изолирующего трансформатора ПРТ-А с помощью LRC-метра: La - индуктивность первичной обмотки при разомкнутой вторичной обмотке; Lb - индуктивность первичной обмотки при замкнутой вторичной обмотке; Lc - индуктивность вторичной обмотки при разомкнутой первичной обмотке; rc - сопротивление вторичной обмотки при разомкнутой первичной обмотке; $w1$ и $w2$ количество витков первичной и вторичной обмоток – справочные данные [6].

Соответственно, для ДТ-1-150: $La = 7,74$ мГн; $Lb = 96$ мкГн; $Lc = 7,81$ мкГн; $rc = 1,67$ Ом; $w1 = 48$ витков; $w2 = 16$ витков; для ПРТ-А: $La = 1084,2$ мГн; $Lb = 8,61$ мГн; $Lc = 5,56$ мГн; $rc = 12,6$ Ом; $w1 = 1240$ витков; $w2 = 42$ витка.

По методике Бердникова Д.В. [6] определим взаимную индуктивность и среднее значение индуктивности рассеяния обмоток трансформаторов по формулам:

$$M = \sqrt{(La - Lb) \cdot \left[Lc + \frac{rc^2}{Lc \cdot (2 \cdot \pi \cdot f)^2} \right]}, \text{ Гн};$$

$$Le = \frac{\frac{La}{w1^2} + \frac{Lc}{w2^2} - 2 \cdot \frac{M}{w1 \cdot w2}}{2}, \text{ Гн}.$$

Следовательно, для ДТ-1-150 для питающего конца: $M = 0,333$ Гн, $Le = 0,43 \cdot 10^{-3}$ Гн; для ДТ-1-150 для релейного конца $M = 1,497$ Гн, $Le = 1,949 \cdot 10^{-3}$ Гн; для ПРТ-А для питающего конца: $M = 1,118$ Гн, $Le = 19,55 \cdot 10^{-6}$ Гн; для ПРТ-А для релейного конца: $M = 0,543$ Гн, $Le = 10,61 \cdot 10^{-6}$ Гн;

Параметры импульсного реле ИМВШ-110 были измерены с помощью LRC-метра. Активное сопротивление составило $R = 330$ Ом, а индуктивность $L = 6,488$ мГн. Сопротивление балласта составляет в среднем 10 Ом·км [8].

Исследование влияния асимметрии на модель участка РЦ

Опыт №1. Влияние поперечной асимметрии.

По статистике на длине блок-участка находится около 30 опор. Сопротивление изоляции опор распределяется в среднем [3]: 30% – 30 кОм, 40% – 10 кОм, 20% – 100 Ом, 10% – 20 Ом, тогда сопротивление изоляции опор на длине блок-участка относительно балласта будет составлять 5-5,5 Ом. При этом в рельсовых нитях возникнет поперечная асимметрия обратного тягового тока, намагничивание сердечника дроссель-трансформатора и появление дополнительного напряжения на обмотке, подключенной к релейному концу РЦ, значение которого потенциально может привести к различного рода неисправностям аппаратуры РЦ и даже ложному срабатыванию путевого реле при обесточивании РЦ (рис. 4).

Опыт №2 Влияние продольной асимметрии.

В нормальном состоянии сопротивление рельсового стыка составляет в среднем 3 мОм. В силу ряда обстоятельств (обрыв, коррозия металла, ослабление затяжки болтов) это сопротивление возрастает в разы. Таких неисправных стыков может оказаться на одном блок-участке несколько. При изменении сопротивления рельсовой плети на длине блок-участка на 10% приводит к росту напряжения на релейном конце РЦ и аналогичным последствиям, представленным в опыте №1 (рис. 5).

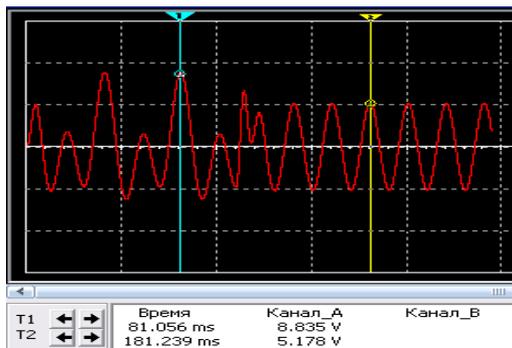
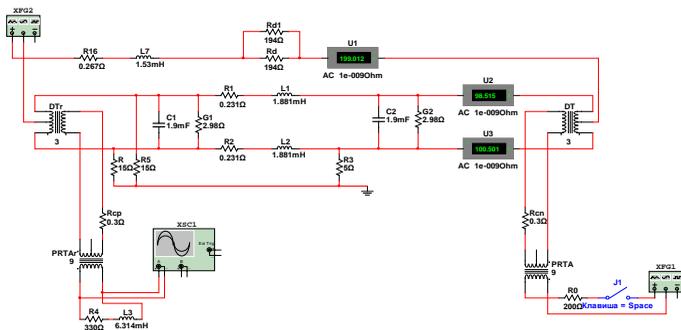


Рис. 4. Опыт №1

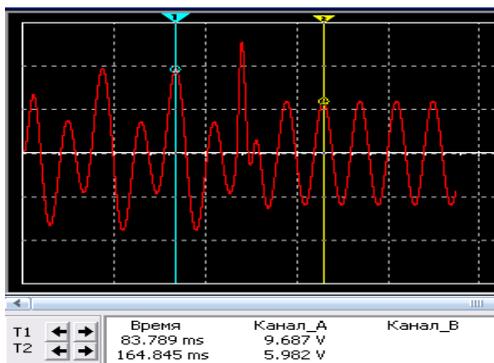


Рис. 5. Опыт №2

Опыт №3. Влияние поперечной и продольной асимметрии.

При продольной и поперечной асимметрии обратного тока наблюдается дальнейшее увеличение уровня напряжения на путевом конце РЦ (рис. 6).

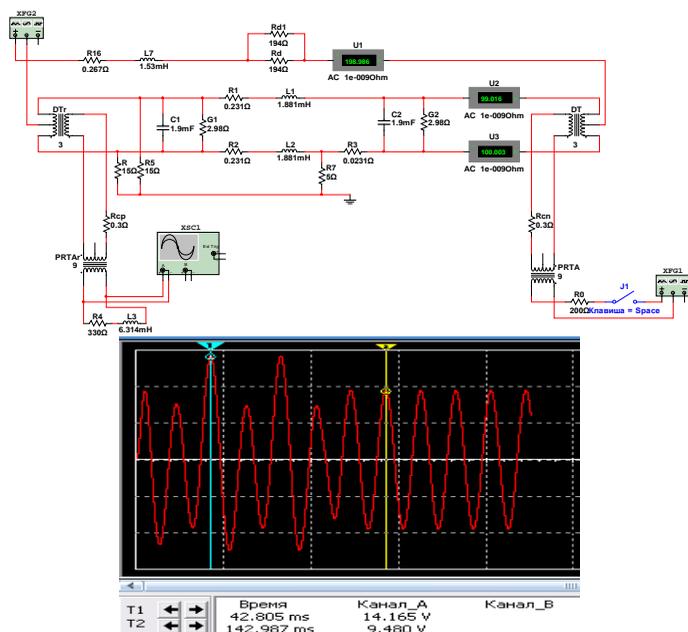


Рис. 6. Опыт №3

В ходе проведенных исследований была разработана имитационная модель кодовой РЦ переменного тока частотой 25 Гц, позволяющая произвести оценку влияния асимметрии обратного тягового тока на работу аппаратуры РЦ. Повышение надежности работы рельсовых цепей, особенно при пропуске тяжеловесных поездов, возможно за счет уменьшения асимметрии обратного тягового тока. Для уменьшения продольной асимметрии необходимо повысить требования к содержанию пути, в частности, к техническому состоянию стыковых соединений и сопротивлению балласта. Уменьшение же поперечной составляющей асимметрии возможно только за счет повышения требований к уровню сопротивления цепей заземления опор и металлических конструкций или изменения способа их заземления к основанию опор.

Библиографический список

1. Рельсовые цепи магистральных железных дорог / В.С. Аркатов, Н.Ф. Котляренко и др. – М.: Транспорт, 1982. - 360 с.
2. Антонов А.А., Машенко П.Е., Шаповалова А.С. Влияние тягового тока на рельсовые цепи // Мир транспорта. – 2010. - №1. - С.46-51.
3. Наумов А.В., Наумов А.А. Выбор параметров и правила построения обратного тяговой рельсовой сети на электрифицированных дорогах

со скоростным и тяжеловесным движением. – М.: Интекст, 2005. – 143 с.

4. Аркатов В.С., Кравцов Ю.А., Степенский Б.М. Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание. – М.: Транспорт, 1990. – 295 с.

5. Электрические рельсовые цепи: учеб. пособие / А.Г. Кириленко, Н.А. Пельменева. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2006. – 94 с.

6. Бердников Д.В. Связь индуктивности рассеяния трансформатора и потерь в снаббере обратногоходового преобразователя // Современная электроника. 2005, - №3. - С. 62-64.

7. Марквардт В.Г. Электроснабжение железных дорог. – М.: Транспорт, 1982. 381 с.

8. <http://www.etalonpribor.com.ua/upload/main/isb-2.pdf>.

РАЗРАБОТКА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ МОДУЛЬНОГО ПРИНЦИПА ПОСТРОЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ

*Н.А. Гусаров, Д.И. Ксендинов, А.В. Гусарова, Р.К. Абайдулин
(науч. рук. А.П. Осипов)*

Филиал ГОУ ВПО «Самарский государственный технический университет» в г. Сызрани,

446001, г. Сызрань, ул. Советская, д. 45,

кафедра технология машиностроения, nauka@sstu.syzran.ru

В настоящее время автомобильные пробки и смог стали основными проблемами городов России. Для того, чтобы разгрузить транспортный поток и улучшить экологическую обстановку спроектировано транспортное средство на основе модульного принципа построения конструкции. В ходе работы были проведены исследования, которые доказывают эффективность применения принципа модульности при построении автомобиля.

Автомобильный транспорт стал первой необходимостью в XXI веке: люди едут из дома на работу, в магазин, в гости, за город. В связи с чрезмерно высоким потоком автомобилей наблюдается нехватка парковочных мест. Это вынуждает водителей парковаться на крайней правой полосе, что создает предпосылки к росту пробок. Вынужденные простои автомобилей приводят к необоснованному перерасходу топлива и дополнительному загрязнению окружающей среды.

Актуальную проблему транспортного коллапса возможно решить несколькими способами:

- расширением дорожного полотна;
- рациональной организацией движения транспортного потока;
- внедрением малогабаритных транспортных средств, позволяю-