

Российское автомобилестроение в первом полугодии 2005г.

Преодолевая спад производства, наблюдавшийся в конце 2004 и начале 2005г., автомобильная промышленность России постепенно возвращается к среднемесячным производительным показателям последних лет. Однако в общей сложности за первое полугодие отрасли удалось выпустить лишь 629 тыс. автомобилей, что на 5,9% меньше, чем за аналогичный период прошлого года. Причем общее отставание сохранилось во всех секторах автомобилестроения.

Грузовых автомобилей российские автозаводы изготовили 94,5 тыс., т. е. меньше на 6,6 %. По предприятиям же и классам автомобилей картина получилась довольно пестрой. Так, если производство большегрузных автомобилей ОАО "Автомобильный завод "Урал" и "БЗКТ" увеличили на 2,5 и 42,1 % соответственно, а "КамАЗ" несколько (на 2,5 %) уменьшило, то выпуск мало- и среднетоннажных АМО "ЗИЛ", ОАО "ГАЗ", "УАЗ" и "Иж-Авто" снизили более существенно на 45; 5,3; 7 и 7,4 %. В то же время ЗАО "Автомобили и моторы Урала" ("АМУР", бывший УАМЗ) освоена новая продукция: здесь собраны первые 52 автомобиля грузоподъемностью 2,5 – 3,8 т индийской фирмы "Тата". Да и другие совместные сборочные предприятия в своем большинстве производство грузовых автомобилей увеличили, хотя масштабы его пока и невелики. Например, ЗАО "ВТС "Зеленоград", изготовило 156 автомобилей (+100%), а ТОО "ИВЕКО – УралАЗ" – 47(+104,3 %). Собраны первые 86 легких грузовых автомобилей "Хёнде Портер" в ООО "ТагАЗ".

Исходя из среднедневного выпуска по отрасли можно рассчитывать, что объем выпуска грузовых АТС до конца года составит 198,6 тыс. ед. (снижение по сравнению с 2004 г. на 1,8 %).

Автобусов за январь-июнь 2005 г. российские предприятия изготовили 34 982 ед., что на 4,1 % ниже уровня соответствующего периода прошлого года. И это при том, что за второй квартал отставание удалось значительно сократить (с 9,4 % в первом). Собственно, большинство автобусостроительных предприятий за это время производство лишь наращивали. В частности, изготовители автобусов большого класса: ЗАО "Волжанин" – на 82 %, "Тушино-Авто?" – на 55,6, ОАО "НефАЗ" – на 30,8, ООО "Скания-Питер" – на 1,6 %. Холдинг "Русские автобусы", предприятия которого занимаются как большими, так и малыми автобусами, увеличил выпуск более чем на 10 %: ООО "ПАЗ" – на 6,3, "КАВЗ" – на 22,2, "Ликийский автобус" – на 23,3, ОАО "ГолАЗ" – на 77,1 %.

Иная картина у изготовителей микроавтобусов. Ульяновскому автомобильному заводу удалось не только остановить продолжавшееся несколько лет снижение, но и увеличить выпуск микроавтобусов: по итогам полугодия – на 1,4 % (при отставании в первом квартале на 20,6 %!). В ОАО "ГАЗ" же в первом полугодии 2005 г. продолжилось сокращение их производства: если в первом квартале оно составляло 11,6%, то за полугодие эта цифра достигла 12,7 %. Снизилось также производство малых автобусов в АМО "ЗИЛ" (на 44,4 %) и вахтовых в ОАО "АЗ Урал" (на 38,1 %).

Надо сказать, что свои намерения на 2005 г. российские автобусостроители пока выполняют, а про

По плавности хода скорость не ограничена, а по пробою подвески составляет 20 м/с (72 км/ч)ю

Вообще говоря, при определении оптимальных значений таких параметров подвески, как жесткость и коэффициенты сопротивления амортизаторов, можно руководствоваться следующими цифрами.

Снижение жесткости подвески на 50% приводит к незначительному (на 4 – 12 %) уменьшению глубины колеи, ускорений и коэффициента сопротивления качению (рис. 6,а). Увеличение же сопротивления амортизаторов на те же 50% позволяет снизить ускорения вертикальных колебаний на 20%, глубину колеи – на 15, а коэффициент сопротивления качению – на 7% (рис. 6,б). Правда, при этом ухудшится плавность хода в межрезонансной зоне.

Таким образом, приведенные выше результаты, действительно, дают возможность конструктору, зная количественные резервы повышения показателей проходимости и плавности хода за счет регулирования таких параметров колесной машины, как нагрузка на колесо, его размеры, давление воздуха в шине, жесткость подвески по осям и сопротивление амортизаторов, уже на стадии проектирования выбирать рациональные конструктивные параметры ее движителя и подвески. То есть задачу, которую ставили в значительной мере решенной.

Прикладные критерии устойчивости движения управляемых колес транспортных средств

Предпосылки к введению прикладных критериев устойчивости движения. Несмотря на то, что автоколебания – нелинейный процесс, в практике автомобилестроения используются линеаризованные описания, которые, в отличие от нелинейных, правильно отражают не весь процесс колебаний, а лишь его начальный период. Поэтому, решая на стадии проектирования АТС задачу устранения автоколебаний управляемых колес, проследить по этим описаниям весь процесс, вплоть до наступления установившегося режима колебаний с постоянной амплитудой, смысла, очевидно, нет. То есть при проектировании управляемой оси, обладающей минимальной тенденцией к самовозбуждению, по линеаризованным описаниям можно и нужно узнать только начальный период развития колебаний, следовательно, установить характер колебательного движения управляемых колес (затухающий или нарастающий).

Далее. Задача проектирования управляемых осей машин, несмотря на ее многокритериальность, обычно рассматривается как однокритериальная (причем существующие критерии устойчивости не учитывают показатели стабилизации, среднее время реакции водителя и т.д.). Оптимизируют лишь несколько параметров математического описания при каком-то одном (фиксированном) значении скорости движения, поочередно варьируя величину одного из параметров при неизменных значения остальных. При этом строят области устойчивости и неустойчивости как на плоскости (зависимость скорости движения транспортного средства от множества значений, придаваемых какому-нибудь одному из параметров), так и в пространстве (скорость в функции всех значений, придаваемых уже каким-либо двум из параметров).

При большом числе варьируемых параметров эта методика перебора всех значений в узлах n -мерной сетке (n -мерного пространства параметров) неэффективна, даже несмотря на применение ЭВМ при одном значении скорости движения машины. Она, в частности, не дает возможности выбрать такую совокупность значений параметров описания "шимми", при которой диапазон скоростей устойчивого движения машины содержит в себе все ее рабочие и транспортные скорости.

К этому добавляется еще одно негативное обстоятельство. Дело в том, что исследовать устойчивость линеаризованных описаний "шимми", применяя теоремы Ляпунова или один из критериев Рауса-Гурвица, Михайлова, Найквиста, метод Д-разбиения и т. д., можно лишь качественно. То есть определить, как уже упоминалось, множество значений варьируемого параметра, при которых система устойчива (неустойчива). Конструктору же, по вполне понятным причинам, нужно уметь проводить количественный анализ. Поэтому в последние годы и были предложены численные критерии количественной оценки устойчивости (неустойчивости) движения управляемых колес.

Таких критериев четыре: первый – отношение F_{01} последовательных амплитуд A_i/A_{i+1} ; $F = A_i/A_{i+1}$; второй – логарифмический декремент F_{02} колебаний $\ln(A_i/A_{i+1})$; третий – отношение F_{03} периода T колебаний к F_{01} , т. е. время, за которое амплитуда колебаний уменьшится до величины, составляющей определенную долю первоначальной; четвертый – среднее арифметическое отклонение F_{04} колес относительно шкворней, под-

считываемое по формуле $F_{04} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\theta_i - \bar{\theta})^2 / (n-1)}$, в которой $i = \overline{1, n}$; $\bar{\theta}$ – среднее арифметическое результатов n измерений угла отклонения управляемых колес относительно шкворней; $\bar{\theta}_i$ – результат i -го измерения.

Анализ показывает, что оценка устойчивости (неустойчивости) движения управляемых колес по критериям F_{01} , F_{02} и F_{04} в некоторой мере условна. Например, из рис. 1 видно, что значения критерия F_{01} для кривых 1 и 2 одинаковы ($A_1/A_1' = A_2/A_2'$), что не позволяет установить, какой из процессов, 1 или 2, затухает быстрее. И значения F_{02} для кривых 4 и 2 тоже равны [$\ln(A_1/A_1') = \ln(A_2/A_2')$], что также не позволяет установить, какой из процессов предпочтительнее.

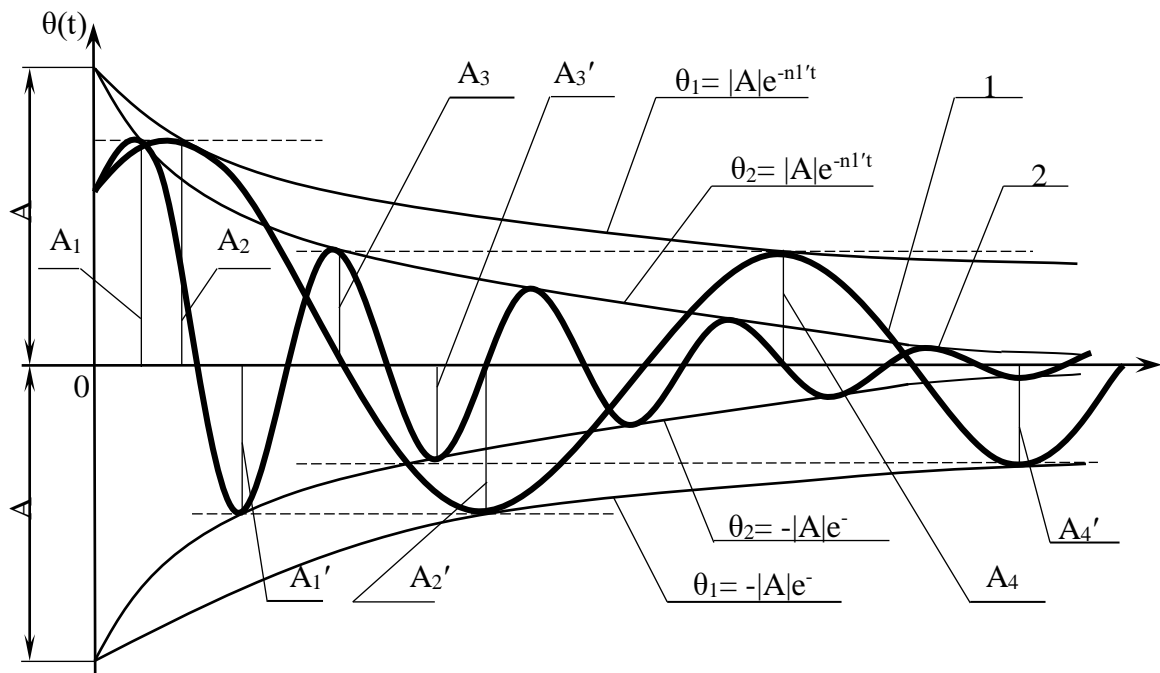


Рис. 1. Работа критериев $F_{01}(1)$ и $F_{02}(2)$

Или возьмем виброграммы, приведенные на рис. 2. По ним можно сделать вывод: процесс, соответствующий кривой 1 затухает медленнее процесса, соответствующего кривой 2. Хотя логарифмический декремент в первом случае больше, чем во втором. Объясняется это тем, как сообщалось в печати, что "... логарифмический декремент колебаний характеризует затухание не за объективную единицу времени (например, за одну секунду), а за один период колебаний".

Что касается четвертого критерия, F_{04} то его значения для затухающих и нарастающих колебаний (кривые 1 и 2 на рис. 3) или для затухающих и нарастающих апериодических движений (кривые 3 и 4) могут быть равны, а это не позволяет установить, какому процессу (затухающему или нарастающему) соответствует величина F_{04} .

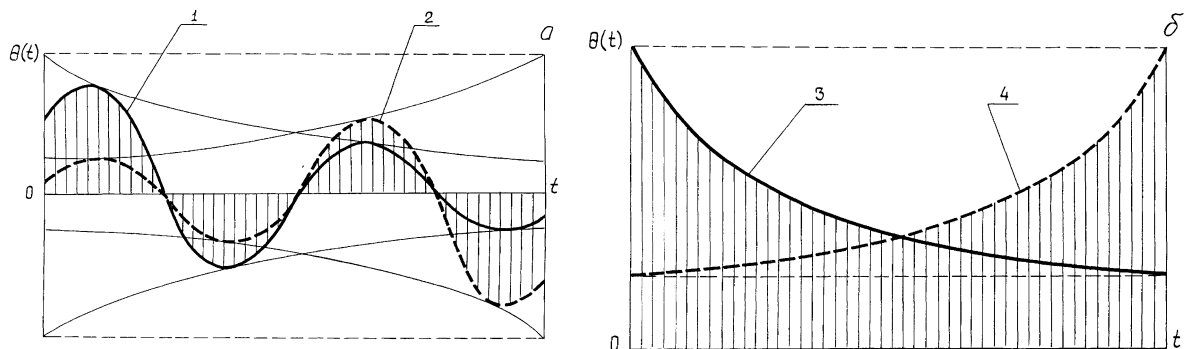


Рис. 3. Работа критерия F_{04} в случаях колебательного (а) и апериодического (б) движения колес

И только третий критерий, F_{03} , способен оценивать колебательные (затухающие или нарастающие) движения управляемых колес, изображенные на рис. 1–3.

Но даже с его помощью, как и с помощью всех четырех, $F_{01} - F_{04}$, критериев, невозможно учесть некоторые особенности движения управляемых колес. Например, несмотря на то что система дифференциальных уравнений движения управляемых колес включает в себя и описание стабилизации, этими критериями нельзя одновременно учесть свойства устойчивости и стабилизации, среднее время реакции водителя, а также обеспечить количественную оценку затухающих (нарастающих) колебательных и апериодических движений управляемых колес. Не говоря уже о том, что нельзя определить совокупность параметров управляемых осей, рулевых трапеций и подвесок, которые позволили бы в короткий срок и с малыми затратами добиваться наилучшей хотя бы одной из выходных характеристик во всем скоростном диапазоне движения машин. Поэтому такую совокупность приходится определять путем многочисленных и дорогостоящих экспериментов.

Вывод напрашивается сам собой: нужны новые критерии колебательной и апериодической устойчивости движения и стабилизации управляемых колес. И поскольку процесс колебаний управляемых колес характеризуется одновременно показателями устойчивости и стабилизации, иногда противоречащими друг другу, то этих критериев должно быть два, из которых один (F_1) – для оценки только колебательных движений управляемых колес, второй (F_2) – для оценки апериодических движений.

Требования к первому критерию: он не должен противоречить теории линейных колебаний; должен отражать основные свойства процесса стабилизации управляемых колес; отличать "медленные" и "быстрые" движения управляемых колес относительно шкворней; учитывать среднее время реакции водителя.

"Расшифруем" перечисленные требования.

Так, под "не противоречить теории линейных колебаний" понимается, что, во-первых, критерий не должен противоречить логарифмическому декременту колебаний, с помощью которого определяется темп затухания любых колебаний – линейных (для них логарифмический декремент – постоянное число) и нелинейных (логарифмический декремент постепенно меняется); во-вторых, его можно аппроксимировать экспонентой, поскольку в основу логарифмического декремента колебаний положена экспоненциальная функция; в-третьих, с его помощью можно оценить колебания управляемых колес относительно шкворней с увеличивающейся амплитудой (нарастающие или расходящиеся коле-

бания – признак неустойчивости движения управляемых колес или склонности к автоколебаниям колес, поведение которых описывается системой линеаризованных дифференциальных уравнений движения).

Под "отражать основные свойства процесса стабилизации управляемых колес" понимается способность критерия отразить основное качество стабилизации – время возвращения колес в нейтральное положение. Именно это время, так как, во-первых, траектории колебательных движений, в отличие от траекторий апериодического движения, пересекают ось времени, что позволяет определить то минимальное время, за которое траектория колебательного движения управляемых колес пересекает данную ось; во-вторых, качество стабилизации сначала будет учитываться в критерии колебательных движений из-за отсутствия в литературе критерия (критериев) апериодических движений (их еще нужно создавать).

Третье требование связано с терминами "медленные" и "быстрые". Чтобы понять, что под ними кроется, рассмотрим пример.

Допустим, что ось с управляемыми колесами имеет логарифмический декремент колебаний $F_{02} = \ln[A_1/(A_{i+1})] = n_1 T = 10$. (Здесь n_1 – коэффициент демпфирования.) Очевидно, что $F_{02} = 10$ можно получить бесчисленным числом способов сочетания n_1 и T . Поэтому "медленными" будем считать те колебания, у которых $T \gg n_1$, а "быстрыми" – у которых, наоборот, $n_1 \gg T$.

Физически это означает следующее. При ширине дорожного полотна 3 м автомобиль, движущийся, например, со скоростью 15 м/с (54 км/ч), при наезде передними колесами на неровность, вызвавшую "быстрые" движения этих колес (см. кривые 2 на рис. 1–2), с полосы не сойдет. Если же движения "медленные" (кривые 1 на рис. 1–2), автомобиль на полотне не удержится. Реакцию водителя (четвертое требование) будем считать равной 0,5 – 0,7 с.

Исходя из сказанного, в качестве первого критерия предлагается величина, обратная коэффициенту n демпфирования (затухания) системы, которая численно равна отношению $(t_2 - t_1) \cdot \ln[|A_1| + |A_2| / (|A_5| + |A_6|)]$, где t_1 – время, за которое траектория колебательного движения управляемых колес относительно шкворней достигает первого экстремума; t_2 – время до пятого экстремума, которое больше t_1 на время реакции водителя; $|A_1|$, $|A_2|$ и $|A_5|$, $|A_6|$ – соответственно модули амплитуд первого и третьего колебаний (модули амплитуд введены из-за специфики подсчета на ЭВМ).

Таким образом, критерий F_1 своим числителем оценивает основное качество стабилизации (с учетом среднего времени реакций водителя), а знаменателем – тенденции к нарастанию или затуханию колебаний: если знаменатель больше нуля, то имеет место колебательная устойчивость (затухание колебаний), если меньше – колебательная неустойчивость (нарастание колебаний).

Определим свойства критерия F_1

В случае затухающих колебаний груза на пружине при наличии демпфера логарифмический декремент колебаний равен произведению $n \cdot T/2$. Следовательно, можно записать: $1/n' = 0,5T/\ln(A + A_{i+1})$. Применительно к управляемым колесам выражение будет иметь вид $1/n' = 2T/\ln[(A_i + A_{i+1})/(A_{i+4} + A_{i+5})]$. Это означает, что критерий F_1 полностью отвечает всем четырем требованиям, из которых исходили при его формировании. Причем учет среднего времени реакции водителя существенно расширил область применения критерия: теперь его можно использовать не только для точной оценки всех линейных колебаний управляемых колес, поведение которых характеризуется линеаризованными дифференциальными уравнениями движения, но и для более точной, по сравнению с

критерием $1/n' = 0,5T/\ln(A_i + A_{i+1})$ оценки нелинейных колебаний (автоколебаний). Правда, оценки все-таки приближенной (в смысле осредненной).

Возможности критерия F_1 покажем на нескольких примерах.

Пример первый: анализ решений (они приведены на рис. 1) дифференциального уравнения движения груза на пружине при наличии демпфера: $\ddot{x} + 2n\dot{x} + (c/m)x = 0$. (В нем $x_1 = \theta_1$ и $x_2 = \theta_2$). Значения критерия F_1 здесь имеют вид: $F_{x1} = 2T_1/\ln[(A_2 + A'_2)/(A_6 + A'_6)]$; $F_{x2} = 2T_2/\ln[(A_1 + A'_1)/(A_5 + A'_5)]$.

Знаменатели этих двух критериев равны, так как $A_2 = A_1$, $A'_2 = A'_1$; $A_6 = A_5$, $A'_6 = A'_5$. Числитель первого критерия больше, чем у второго. Следовательно, величина второго критерия меньше величины первого. Но так как $F_{x1} < F_{x2}$, то процесс, отображаемый кривой 2, затухает быстрее, чем процесс, соответствующий кривой 1.

Второй пример. С помощью критерия F_1 оценим два различных процесса затухающих колебаний, изображенных на рис. 2, которые не были оценены логарифмическим декрементом колебаний. Согласно рисунку примем, что $T_1 \approx 6T_2$ (обозначение A_i аналогично обозначенному на рис. 1). Тогда $F_{x1} = 12T_1/\ln[(A_2 + A'_2)/(A_6 + A'_6)]$, $F_{x2} = 2T_2/\ln[(A_1 + A'_1)/(A_5 + A'_5)]$. Но здесь $\ln[(A_2 + A'_2)/(A_6 + A'_6)] > \ln[(A_1 + A'_1)/(A_5 + A'_5)]$. Следовательно, $F_{x2} < F_{x1}$, и процесс, отображаемый кривой 2, затухает быстрее, чем процесс, отображаемый кривой 1.

Как видим, с помощью критерия F_1 можно однозначно оценить все те затухающие колебательные процессы, которые не были оценены логарифмическим декрементом колебаний.

В качестве третьего примера используем анализ решений линеаризованных дифференциальных уравнений движения управляемых колес. Здесь, как и в первом примере, при одинаковых начальных условиях $\theta_{t=0} = \theta_0$ и $\dot{\theta}_{t=0} = \dot{\theta}_0$ (речь идет только о повороте управляемых колес относительно осей шкворней) и различных совокупностях значений параметров описания "шимми" ($\alpha_j, \beta_j, \gamma_j, \dots, \lambda_j; j=1, k$) получим множество решений $\theta_i = \theta_i(t)$, $i=1, n$, три из которых иллюстрирует рис. 4. Из него видно, что для процессов, соответствующих кривым 1 и 3, знаменатель критерия F_1 больше нуля. Поэтому в обоих случаях имеет место затухающий процесс (колебательная устойчивость); для кривой 2 знаменатель критерия F_1 меньше нуля, что говорит о расходящемся процессе, т. е. колебательной неустойчивости.

Теперь о втором критерии, F_2 .

Конструктор, анализируя любые решения, всегда задается одной целью: выбрать наилучшее из них. В нашем случае – наилучшее из решений по апериодическому движению управляемых колес относительно шкворней. Однако ему сначала нужно определиться, что понимать под "наилучшим апериодическим движением". Ведь апериодических процессов много. Например, на рис. 5 их три. Которое следует признать наилучшим? Исходить, думается, нужно из двух показателей – площади под кривой $\theta_i = \theta_i(t)$ и значения ординаты θ_i . Если следовать логике, то оба они должны быть возможно меньшими: первый – за весь промежуток времени t , а второй – в конце данного промежутка. На практике же дело обстоит сложнее. Все зависит от t т. е. промежутка времени, на котором рассматриваются процессы. Так, если на рис. 5 взять промежуток от нуля до точки "I", то наилучшая кривая – это кривая 2, на втором месте – кривая 3, на третьем – кривая 1; если до точки "II", то кривая 3 – наилучшая; если до точки "III", то у кривой 1 величина θ_1 меньше, чем у кривой 2, т. е. $\theta_1 < \theta_2$, но зато площадь больше. И т. д. Поэтому здесь нужна какая-то "стандартизация". И больше всего в ней нуждается та составляющая t , которая

зависит от психофизических возможностей водителя, т. е. времени его реакции и степени утомления.

Снова обратимся к рис. 5 и предположим, что проектировщик выбрал промежуток времени до точки "Г", равный 0,2 с. На этом промежутке времени лучший процесс тот, который отражает кривая 2. Но при времени, равном 0,5—0,7 с, величина θ_{2x} может оказаться недопустимо большой. Что заставит вмешаться водителя, который будет пытаться исправить траекторию движения, другими словами, уменьшить величину θ_{2x} за счет поворотов рулевого колеса. А это – дополнительные нервные и физические нагрузки, в результате которых очень быстро увеличивается время его реакции. Значит, рассматриваемый промежуток времени нужно выбирать близким к среднестатистическому времени реакции водителя, с тем чтобы он и успевал исправить траекторию движения, и не переутомлялся. Последнее достигается, если в конце промежутка времени, равного среднему времени реакции водителя, величина θ_i минимальная.

Кроме того, из множества аperiodических затухающих движений управляемых колес лучше всего брать монотонные, т. е. без экстремумов на кривых. Например, кривая 1 непригодна: на ней в промежутке времени, меньшем, чем среднее время реакции водителя, экстремум вызовет у водителя инстинктивное желание исправить траекторию движения, но он не успеет сделать это.

Все сказанное подтверждает: проблема аperiodических движений действительно не из простых. Поэтому для эффективного анализа аperiodических движений управляемых колес и предлагается специальный критерий F_2 . Он естественно, тоже должен удовлетворять определенным требованиям, которые, по существу, вытекают из сказанного выше: не противоречить теории колебаний; отражать основные свойства процесса стабилизации; иметь одинаковую с критерием F_1 размерность; учитывать среднее время реакции водителя. Их "расшифровка" примерно та же, что и критерия F_1 .

Скажем, критерий F_2 необходимо аппроксимировать экспонентой, чтобы не войти в противоречие с физикой затухающих (или нарастающих) процессов, которые базируются на экспоненциальных функциях; он должен оценивать аperiodические нарастающие процессы (аperiodическая неустойчивость), но, одновременно, и колебательные процессы. Второе требование означает, что F_2 должен давать возможность сводить аperiodические движения к монотонным: для процесса стабилизации управляемых колес экстремумы на кривых аperiodических движений нежелательны.

Третье требование: размерность F_2 должка аналогичной размерности критерия F_1 поскольку они "работают" совместно.

Четвертое требование: F_2 должен, как и F_1 учитывать среднее время реакции водителя.

Математически критерий F_2 имеет вид:
$$F_2 = \int_{t_1}^{t_2} |\theta(t)| dt / \ln \left[\frac{|\theta'_0|}{|\theta'_1|} \right].$$
 В нем $\theta(t)$ – зависимость угла поворота управляемых колес относительно шкворней в функции времени; t – время; θ'_0 – угол поворота управляемых колес при $t = t_1$; θ'_1 – угол поворота управляемых колес, совершающих аperiodическое движение при $t_1 = t_2$ (модули θ'_0 и θ'_1 введены из-за специфики подсчета на θ_1).

То есть интенсивность уменьшения или увеличения начального угла поворота колес от нейтрального положения учитывается и числителем, и знаменателем формулы. Причем, если знаменатель больше нуля, то наблюдается аperiodическая устойчивость (см. кривые 1 и 2 на рис. 5), если меньше – аperiodическая неустойчивость (кривая 3 на рис. 5)

О совместной "работе" критериев F_1 и F_2 . Ее порядок иллюстрирует рис. 6 и заключается в следующем.

Поле в координатах $B(t)$, t — это мерное пространство параметров управляемого моста. Из него одним из вероятностных методов выбирают несколько пробных точек (совокупностей параметров оси), для каждой из которых любым численным методом: решают систему дифференциальных уравнений движения оси. Затем с помощью критерия F_1 исследуют зоны колебательной устойчивости и неустойчивости. При этом на его числитель, т. е. на величину T вводят Ограничения: она не должна быть, ни слишком малой, ни слишком большой. Потому что в первом случае чрезмерно большими будут главные вектор Φ и момент M° сил инерции колеса, которые перегрузят детали рулевого привода, а во втором появляется опасность отклонения центра масс машины от прямолинейного движения в случае даже незначительного поворота управляемых колес от нейтрального положения. Практически величина T должна лежать в следующих границах верхняя — $T \leq 0,1$, где величинами Φ и M° нельзя пренебречь, так; как T составляет секунды; нижняя $-0,1 < T \leq 0,25$, где величинами Φ и M° можно пренебречь, так как $2T$ меньше среднего времени реакции водителя.

Вычисленные с учетом второго ограничения значения критерия F_1 ранжируют в порядке возрастания. Затем определяют t_1 и t_2 , соответствующие минимальному значению критерия F_1 . Они и считаются верхним и нижним пределами интеграла критерия F_2 .

Выбор совокупности значений параметров, приемлемой для всего диапазона скоростей движения машины. В предполагаемом скоростном диапазоне движения проектируемой машины выбирают несколько скоростей. И по каждой из них выполняют три расчетные процедуры. Первая: определяют значения критерия F_1 с учетом второго из двух приведенных выше ограничений; эти значения ранжируют в порядке возрастания (если для какой-то пробной точки второе ограничение не выполняется, то на соответствующее значение критерия налагается штраф в виде большого числа, поэтому оно "займет самое верхнее место в столбце). В итоге формируется таблица ранжированных значений критерия F_1 число строк в которой соответствует числу пробных точек, а число столбцов — числу скоростей движения.

Из таблицы конструктор для каждого значения скорости определяет множество допустимых решений (параметров) и соответствующие им значения t_1 и t_2 , затем для всего диапазона скоростей из множества допустимых значений параметров — точки Парето и, наконец, одну точку.

Вторая операция: во всех пробных точках для каждого значения скорости и выбранной дочки Парето определяют значения критерия F_2 . Эти значения тоже ранжируют в порядке возрастания.

Третья операция: при каждом значении скорости определяют множество допустимых решений, из которых выбирают точки Парето апериодических движений. Если точка Парето для колебательных движений вошла в точки Парето апериодических движений, можно выбирать любую из них; если не вошла — только точку Парето апериодических движений.