

УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ НЕПРЕРЫВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СХОЖДЕНИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ КОЛЕС АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В ДВИЖЕНИИ. ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПОДСИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Приведены обоснованные критерии сопротивления усталости и чувствительности узла размещения тензометрических датчиков боковой реакции дороги в составе системы непрерывного регулирования схождения управляемых колес автотранспортного средства в процессе движения; разработанный метод выбора оптимальной конструкции датчикового узла, включающий моделирование и оценку напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов, а также результаты его применения.

Ключевые слова: автотранспортное средство; схождение управляемых колес; система регулирования; датчик; напряженно-деформированное состояние.

Данная статья продолжает цикл публикаций, посвященных проблеме ресурсосбережения автомобильных шин за счет регулирования схождения управляемых колес автотранспортных средств (АТС) в процессе движения.

В предыдущей статье [1] приведены: устройство и принцип действия системы; выражения, учитывающие инерционность элементов системы, использование которых при настройке системы позволяет повысить точность регулирования схождения.

С целью выбора оптимальной по критериям сопротивления усталости, чувствительности и технологичности конструкции датчикового узла подсистемы управления и определения оптимальных параметров расположения тензометрических датчиков боковой реакции дороги на управляемые колеса были проведены специальные расчетно-экспериментальные исследования.

Обоснованные критерии и разработанный алгоритм, включающий моделирование и оценку напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкции методом конечных элементов, в совокупности составляют метод выбора оптимальной конструкции датчикового узла. Под датчиковым узлом в работе понимается пара: элемент, на котором установлен тензометрический датчик, и сам тензометрический датчик.

Алгоритм реализации метода рассмотрим на примере варианта конструкции датчикового узла со втулкой с буртиками (рис. 1).

На основе данных о геометрических параметрах натурной конструкции ходовой части автомобиля с применением программного ком-

плекса решения инженерных задач и анализа сложных конструкций «ANSYS v. 11» была построена расчетная трехмерная твердотельная модель датчикового узла, представленная на рисунке 2.

Для построения конечно-элементной модели датчикового узла использовались пространственные конечные элементы второго порядка с размерами, не превышающими длину полу-волны синусоиды краевого эффекта. При этом учитывалась осевая симметрия датчикового узла относительно геометрической оси поворотного кулака OO' (рис. 2). Это позволило при сохранении точности анализа сократить число степеней свободы конструкции и, следовательно, продолжительность вычислений.

В качестве внешней нагрузки при анализе было принято осевое единичное давление

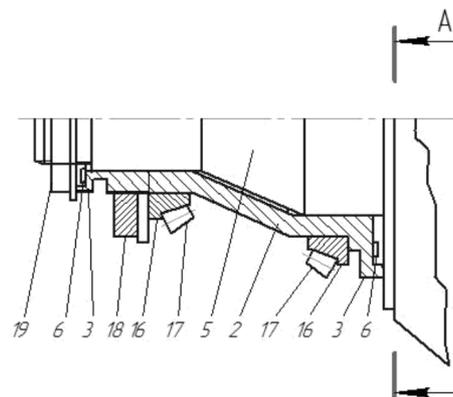


Рисунок 1. Ось управляемого колеса в сборе (вариант со втулкой с буртиками): 2 – втулка; 3 – буртик втулки; 5 – ось управляемого колеса; 6 – тензометрический датчик боковой реакции дороги на управляемое колесо; 16 – подшипник; 17 – тело качения подшипника; 18 – регулировочная гайка; 19 – гайка крепления втулки

$P = 1$ МПа внутреннего кольца подшипника ступицы на буртик втулки. Такой выбор обусловлен тем, что анализ вариантов конструкции датчикового узла проводился для одного типа узла ступицы колеса с неизменными геометрическими параметрами посадочных мест подшипников. Определить же фактическое давление подшипника на буртик втулки на данном этапе проектирования не представляется возможным. Преимущества этого подхода заключаются в: упрощении анализа, возможности сопоставления результатов расчетов для разных вариантов конструкции датчикового узла при равных значениях внешней нагрузки, возможности в последующем получить фактические

расчетные значения параметров НДС путем умножения результатов расчетов на величину фактической нагрузки (давления) на буртик, определенную экспериментальным путем.

Введение граничных условий (рис. 2) в расчетную конечно-элементную модель произведено на основе анализа условий работы и закрепления конструктивных элементов узла. Расчеты НДС проведены с учетом упругой модели деформирования материалов конструктивных элементов датчикового узла. Результаты расчета НДС представлены на рисунке 3 в виде расчетного распределения на конечно-элементной модели упругих эквивалентных напряжений σ по теории максимальных касательных напряжений.

Полученные расчетные значения эквивалентных напряжений использовались для оценки конструкции датчикового узла по критерию сопротивления усталости. При этом условно было принято, что максимальное эквивалентное напряжение ($\sigma_{max} = 10,7$ МПа) соответствует максимальной амплитуде циклических напряжений. В этом случае конструкция, в которой возникают наименьшие значения σ_{max} , будет обладать наибольшей долговечностью, и наоборот. Кроме этого, полученное распределение эквивалентных напряжений наглядно показывает ту область, в которой возникают σ_{max} и которая лимитирует долговечность датчикового узла (МХ на рис. 3).

Для дальнейшего анализа в области предполагаемой наклейки тензометрических датчиков на поверхности втулки был выбран путь

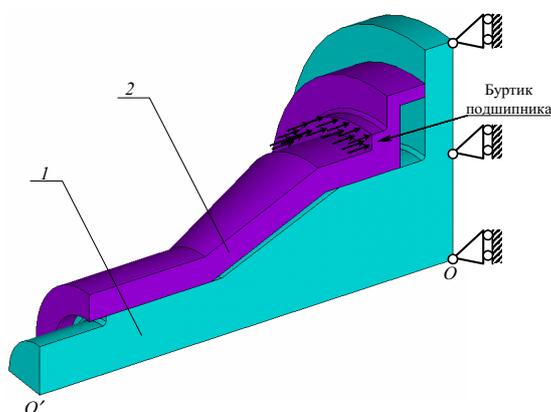


Рисунок 2. Расчетная модель и схема граничных условий для расчета НДС датчикового узла (вариант со втулкой с буртиками):

1 – ось управляемого колеса с поворотным кулаком; 2 – втулка с буртиками; OO' – ось симметрии; \rightarrow – осевое давление внутреннего кольца подшипника на буртик втулки

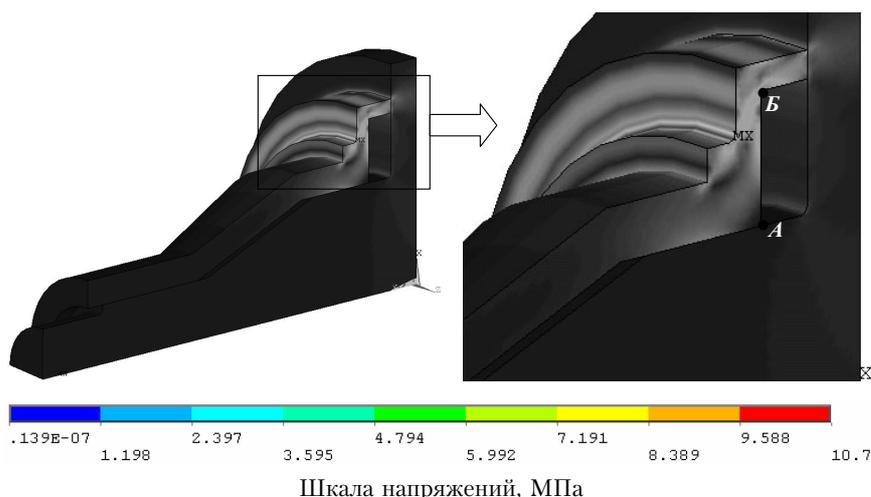


Рисунок 3. Распределение упругих эквивалентных напряжений на поверхности и в сечениях конечно-элементной модели датчикового узла при единичном осевом давлении подшипника на буртик втулки: А и Б – граничные точки в сечении исследуемой поверхности втулки

А-Б (рис. 3). Поскольку тензодатчики в данном случае применяются для косвенного определения боковой реакции дороги на управляемые колеса по величине измеренных деформаций участка втулки, по линии А-Б были рассчитаны и представлены в виде графиков расчетные значения относительных деформаций ϵ (рисунок 4). Для поиска оптимального направления наклейки тензодатчиков анализировались расчетные деформации вдоль линии А-Б, а также деформации на линии А-Б в окружном (тангенциальном) направлении, т. е. «вокруг» оси поворотного кулака ОО' (рис. 2).

Полученные графики расчетных деформаций по линии А-Б (рисунок 4) использовались для определения оптимальной области и направления наклейки тензодатчиков вдоль линии А-Б. Для этого с учетом основных принципов тензометрии были использованы следующие положения:

- для максимальной чувствительности тензодатчики должны быть размещены в области максимальных значений расчетных деформаций ϵ_{max} по линии А-Б (см. ϵ_{ABmax} и ϵ_{tmax} на рис. 4);
- для снижения погрешности измерений градиент изменения деформаций на величине базы b тензодатчика должен быть минимальным.

Таким образом, для определения оптимальной области и направления наклейки тензодатчиков на участке А-Б в автоматизированном режиме с использованием ЭВМ с целью повышения достоверности расчетов и снижения трудоемкости анализа, решение задачи было сведено к определению расстояния от начала участка А до точки, в которой среднее линеаризованное значение производной $\epsilon'(h)$ от деформаций ϵ по длине участка h на базе тензодатчика, соответствующее градиенту изменения деформаций, равно нулю, т. е. $\epsilon_b'(h) = 0$.

Для этого сначала численными методами были определены зависимости производной деформаций $\epsilon'(h)$ и построены графики их изменения по длине участка А-Б (рис. 5).

Затем были рассчитаны средние линеаризованные значения производной на базе тензодатчика $b - \epsilon_b'(h)$ по формуле:

$$\epsilon_b'(h) = \frac{\int_{\left(\frac{h-b}{2}\right)}^{\left(\frac{h+b}{2}\right)} \epsilon'(h) dh}{b}.$$

Расчетные значения $\epsilon_b'(h)$ по длине участка А-Б представлены на рисунке 6. При этом за базу тензодатчиков была принята $b = 5$ мм. С использованием результатов расчетов $\epsilon_b'(h)$ из условия $\epsilon_b'(h) = 0$ были определены оптимальные расстояния от начала участка А до места наклейки тензодатчиков вдоль линии А-Б ($L_{дАБ}$) и в окружном (тангенциальном) направлении ($L_{де}$) (рис. 6).

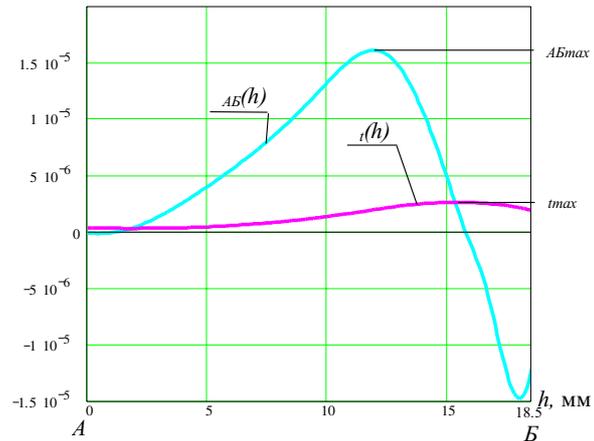


Рисунок 4. Расчетные значения относительных деформаций ϵ на поверхности втулки датчикового узла: А, Б – границы участка наклейки тензодатчиков; h – протяженность участка; $\epsilon_{AB}(h)$ – деформации вдоль линии А-Б; $\epsilon_t'(h)$ – деформации на линии А-Б в окружном (тангенциальном) направлении; ϵ_{ABmax} и ϵ_{tmax} – максимальные деформации соответственно вдоль линии А-Б и в тангенциальном направлении

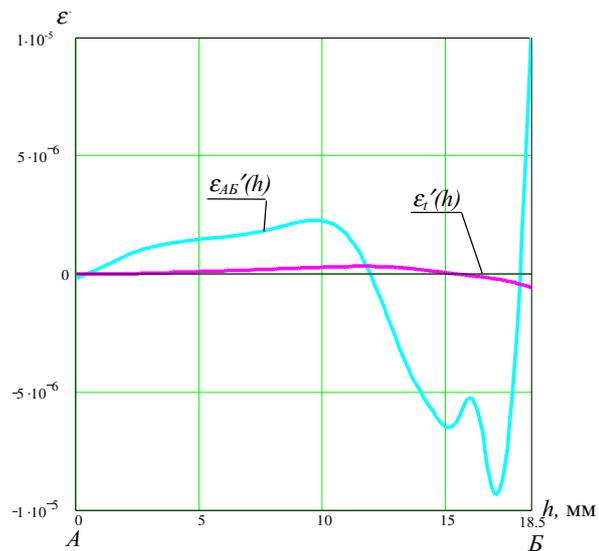


Рисунок 5. Графики изменения производной деформаций $\epsilon'(h)$ по длине участка А-Б: $\epsilon_{AB}'(h)$ и $\epsilon_t'(h)$ – производные деформации соответственно вдоль линии А-Б и в окружном (тангенциальном) направлении

Для автоматизации выполнения вычислений оценочных показателей $\epsilon_{AB\max}$, ϵ_{\max} , $L_{ДАБ}$ и $L_{Дт}$ с применением численных методов и повышения, таким образом, достоверности расчетов и снижения их трудоемкости был составлен специальный алгоритм. Для этого расчетные значения деформаций из программы конечно-элементного анализа «ANSYS» через промежуточ-

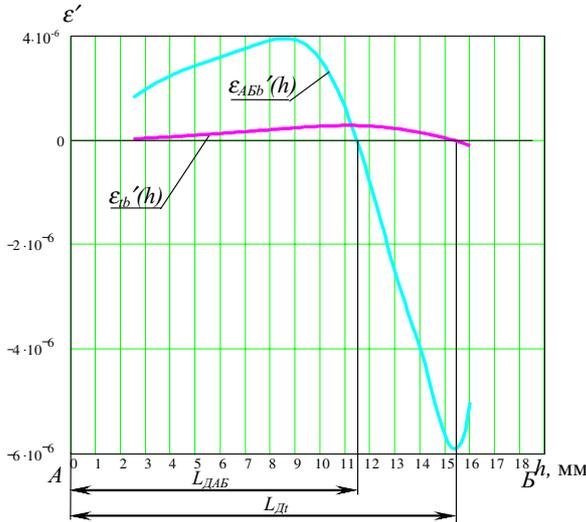


Рисунок 6. Графики изменения средней линейаризованной производной деформаций на базе тензодатчика $\epsilon'(h)$ по длине участка А-Б: $\epsilon'_{АБ}(h)$ и $\epsilon'_b(h)$ – средние линейаризованные производные деформации соответственно вдоль линии А-Б и в окружном (тангенциальном) направлении; $L_{ДАБ}$ и $L_{Дт}$ – оптимальные расстояния соответственно от начала участка А до места наклейки тензодатчиков вдоль линии А-Б и в окружном (тангенциальном) направлении

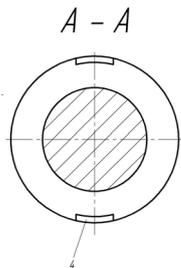


Рисунок 7. Сечение А-А оси управляемого колеса в сборе (вариант с выступами на фланцах втулок): 4 – выступ фланца втулки

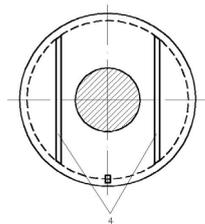


Рисунок 8. Кольца с параллельными прорезями (4)

ный файл экспортировались в программу математического анализа MathCad. В программе MathCad был составлен и реализован алгоритм автоматизированного вычисления искомым величин с использованием встроенных функций дифференциального и интегрального анализа.

Расчеты были проведены для одиннадцати вариантов конструктивного исполнения датчикового узла: а) со втулкой с буртиками (рис. 1); б) с конусными шайбами; в) с кольцами; г) со скосами и канавкой; д) со срезами и выступами; е) с буртиками втулок, разделенными на сектора; ж) с выступами на буртиках втулок; з) с выступами на фланцах втулок (рис. 7); и) с Г-образными рычажками на буртиках втулок; к) с параллельными прорезями в кольцах (рис. 8); л) с разрезами в кольцах.

На рисунках 9 и 10 представлены примеры результатов расчетов для этих вариантов в виде распределения расчетных эквивалентных деформаций (слева), а также графики изменения расчетных деформаций на поверхности исследуемых областей наклейки тензодатчиков (справа).

Результаты расчетов оценочных показателей, выбора оптимальной конструкции датчикового узла и определения оптимальной области и направления наклейки тензометрических датчиков представлены в таблице 1.

Для выбора оптимальной конструкции датчикового узла по критерию максимальной чувствительности обоснованы уровни чувствительности – высокий, средний и низкий. Высокому уровню чувствительности соответствуют абсолютные (по модулю) расчетные деформации на уровне $\epsilon \geq 10^{-4}$, среднему уровню – $10^{-4} > \epsilon \geq 10^{-5}$, низкому уровню – $\epsilon < 10^{-5}$. Результаты оценки уровней чувствительности для различных вариантов конструкции датчикового узла также представлены в таблице 1.

Анализ результатов выполненных расчетов позволяет сделать выводы:

- оптимальной конструкцией датчикового узла по критерию максимальной долговечности (по значениям максимального размаха напряжений) является вариант датчикового узла со втулкой и буртиками (рис. 1);

- оптимальными конструкциями датчикового узла по критерию максимальной чувствительности к изменению осевого усилия на управляемом колесе являются варианты конструкции датчикового узла с выступами на флан-

Таблица 1. Результаты расчетов показателей выбора конструкции датчикового узла и определения оптимальной локализации тензодатчиков боковой реакции дороги на управляемые колеса

Вариант	Условная максимальная амплитуда напряжений, σ_{max} , МПа	Исследуемый участок	Направление вдоль участка			Тангенциальное направление		
			Размещение тензодатчика по отношению к точке А, $L_{дАБ}$, мм	Максимальные деформации, $\epsilon_{Бmax}$	Уровень чувствительности	Размещение тензодатчика по отношению к точке А, $L_{дт}$, мм	Максимальные деформации, ϵ_{tmax}	Уровень чувствительности
а	10,8	А-Б	11,5	$1,6 \cdot 10^{-5}$	средний	15,5	$2,6 \cdot 10^{-6}$	низкий
б	124,8	А-Б	6	$9,1 \cdot 10^{-6}$	низкий	2,5	$3,4 \cdot 10^{-5}$	средний
в	61,9	А-Б	5,5	$5,3 \cdot 10^{-5}$	средний	10	$-9,4 \cdot 10^{-5}$	средний
		А-Б	10	$-4,4 \cdot 10^{-5}$	средний	2,5	$7,1 \cdot 10^{-5}$	средний
г	22,8	А-Б	4	$1,3 \cdot 10^{-5}$	средний	7,7	$-8,1 \cdot 10^{-6}$	низкий
		А-Б	8	$4,2 \cdot 10^{-5}$	средний	14	$5,8 \cdot 10^{-6}$	низкий
д	52	А-Б	12	$7,6 \cdot 10^{-5}$	средний	16	$2 \cdot 10^{-5}$	средний
е	18	А-Б	12,4	$2,8 \cdot 10^{-5}$	средний	12,8	$5,5 \cdot 10^{-6}$	низкий
ж	23	А-Б	11	$2,8 \cdot 10^{-5}$	средний	16	$5,6 \cdot 10^{-6}$	низкий
з	70 (9)	А-Б	12,3	$1,2 \cdot 10^{-4}$	высокий	16	$2 \cdot 10^{-5}$	средний
и	40	А-Б	11	$4,7 \cdot 10^{-5}$	средний	7	$-3 \cdot 10^{-6}$	низкий
к	110	А-Б	19	$-1,5 \cdot 10^{-4}$	высокий	2,5	$9 \cdot 10^{-5}$	средний
л	31,8	А-Б	5,5	$5,4 \cdot 10^{-5}$	средний	10	$-1,7 \cdot 10^{-5}$	средний
		А-Б	10,5	$-4,5 \cdot 10^{-5}$	средний	2,5	$2,1 \cdot 10^{-5}$	средний
		А-Б	2,5	$-2,1 \cdot 10^{-5}$	средний	2,5	$-1,4 \cdot 10^{-5}$	средний

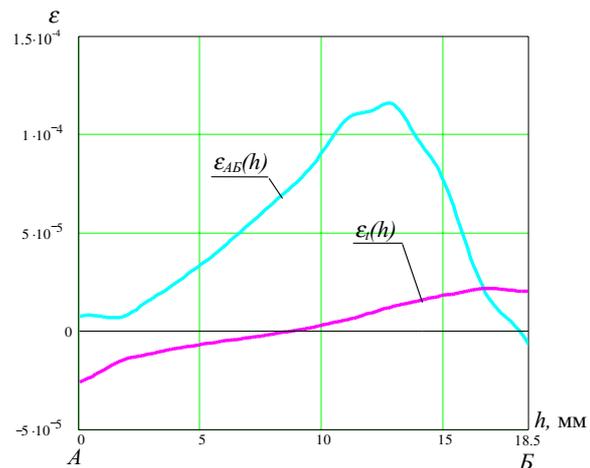
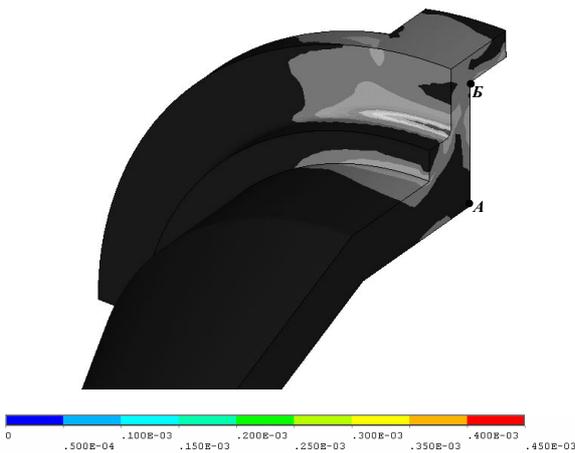


Рисунок 9. Результаты расчетов для варианта датчикового узла с выступами на фланцах втулок (рис. 7)

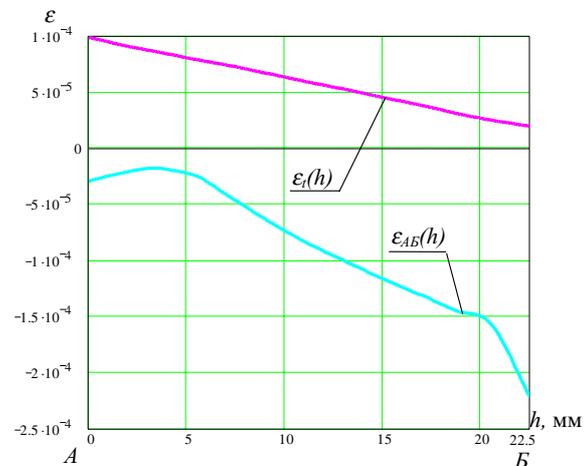
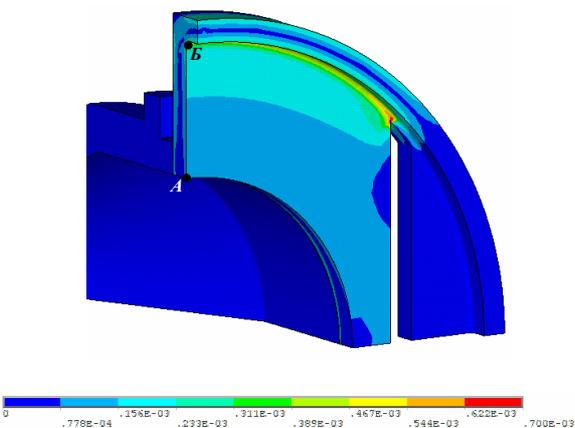


Рисунок 10. Результаты расчетов для варианта датчикового узла с параллельными прорезями в кольцах (рис. 8)

цах втулок (рис. 7) и с параллельными прорезями в кольцах (рис. 8);

– для варианта конструкции датчикового узла с выступами на фланцах втулок (рис. 8) путем конструктивной доводки и увеличения радиуса галтели до 2 мм в области конструкции с максимальными напряжениями и деформациями были получены значения условной максимальной амплитуды напряжений – 9 МПа, т. е. ниже предыдущих (табл. 1; см. значения в скобках), что соответствует максимальной долговечности рассматриваемых вариантов;

– для варианта конструкции датчикового узла с параллельными прорезями в кольцах (рис. 9) снизить значения условной максимальной амплитуды напряжений путем конструктивной доводки не удается;

– таким образом, оптимальной конструкцией датчикового узла является вариант с выступами на фланцах втулок (рис. 8); оптимальным размещением тензодатчика с базой $b = 5$ мм является его размещение вдоль участка А-Б на втулке на расстоянии 12,3 мм от точки А.

21.06.2010 г.

Список использованной литературы:

1. Исaiчев В.Т. Улучшение эксплуатационных характеристик системы непрерывного регулирования схождения управляемых колес автотранспортных средств в движении (Часть 1. Повышение точности регулирования) / В.Т. Исaiчев, В.И. Рассоха // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2010. – №10. – С. 141–143.

Сведения об авторе: **Рассоха Владимир Иванович**, заведующий кафедрой автомобилей и безопасности движения Оренбургского государственного университета, канд. техн. наук, доцент 460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, ГОУ ОГУ, кафедра АиБД, тел. (3532) 754182, email: trf@mail.osu.ru

UDC 629.1.02:629.11.012.5

Rassokha V.I.

IMPROVING THE PERFORMANCE OF CONTINUOUS CONTROL CONVERGENCE STEERING WHEEL SYSTEM FOR MOTOR VEHICLES IN MOTION. INCREASING THE SENSITIVITY OF MANAGEMENT SUBSYSTEM

The report provides reasonable criteria of fatigue resistance and sensitivity of the site placement of strain gage side reaction of the road as part of a system of continuous control of convergence of the steered wheels of the vehicle in motion; developed method for selecting the optimal design of sensor site, including the modeling and evaluation of the stress-strain state through the method of finite elements and the results of its application.

Keywords: vehicle; toe steering wheel, the system of regulation; sensor; stress-strain state.

Bibliography:

1. Isaichev, V.T. Improvement of operating characteristics of system for continuous regulation of convergence wheels of vehicle at movement (Part 1. Increase of regulation exactness) / V.T. Isaichev, V.I. Rassokha // VESTNIK of Orenburg State University. – 2010. – №10. – P. 141–143.