

УДК 621: 831

DOI:10.30987/2223-4608-2020-6-42-48

Н.В. Носов, д.т.н.

(Самарский государственный технический университет,
Самара, Россия, 443100, ул. Молодогвардейская, 44)

E-mail: nosov.nv@samgtu.ru

Разработка технологии сборки автомобильных стекол

Представлен анализ технологии сборки стекол и влияния различных факторов на прочность и точность их позиционирования. Моделирование остаточных напряжений после изготовления в результате технологического воздействия показало наличие по краям остаточных напряжений растяжения. К данным напряжениям суммируются сборочные напряжения от действия усадочных процессов в клеевом шве. Установлено, что при минимальной ширине клеевого валика при высыхании возможно появление несплошности клеевого соединения по контуру, а при максимальной ширине слоя возникают дополнительные технологические напряжения в стекле.

Ключевые слова: технология сборки; триплекс; моделирование; остаточные деформации и напряжения; клеевой шов; прочность; эксплуатация; размерный анализ.

N.V. Nosov, Dr. Sc. Tech

(Samara State Technical University, 44, Molodogvardeyskaya Str., Samara 443100, Russia)

Technology development for automobile glass assembly

The analysis of glass assembly technology and impact of different factors upon strength and accuracy of glass positioning is presented. The modeling of residual stresses after manufacturing as a result of technological impact has shown the presence of residual stresses of stretching along the edges. To the stresses there are summed up assembly stresses caused by shrinkage processes in the glue joint. It is defined that at the minimum width of the glue roll during dry-out a discontinuity of the glue joint along the contour is possible and at the maximum layer width the additional technological stresses in glass arise.

Keywords: assembly technology; triplex; modeling; residual deformations and stresses; glue joint; strength; operation; dimension analysis.

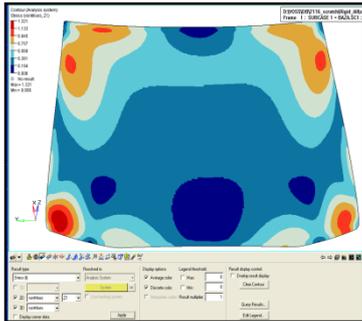
В автомобильной промышленности раньше применяли крепление стекол с помощью резиновых профилей, которые одновременно служили и держателями и уплотнителями. На сегодняшний день стекла приклеиваются на автомобильный кузов с помощью системы полиуретановой клеевой основы. Это улучшает надежность крепления, качество уплотнения и дизайн автомобиля. При сборке стекол необходимо соблюдать соответствие нескольким установленным требованиям, предъявляемым при эксплуатации изделия. Это и герметичность соединения стекла с кузовом для защи-

ты от атмосферных воздействий, и прочность клеевого соединения, влияющего, в конечном счете, на жесткость всей конструкции [1].

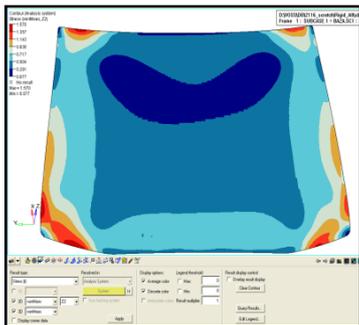
В процессе сборки на прочность стекол большое влияние оказывают технологические остаточные напряжения, которые необходимо учитывать при моделировании процесса сборки.

Метод конечных элементов (МКЭ) является в настоящее время одним из основных методов решения вариационных задач, в том числе задач расчета напряженно-деформированного состояния конструкции и технологических процессов.

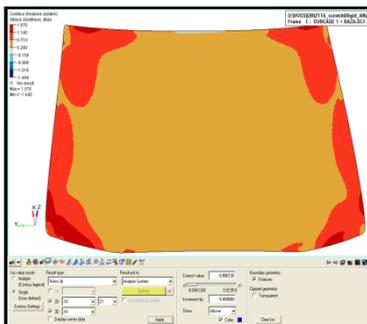
Расчет статических нагрузок проводился с помощью программного модуля Optistruct, входящего в состав пакета Hyper Mesh. Важно проследить характер изменения внутренних напряжений в стекле (рис.1). С помощью постпроцессора, устанавливается уровень просмотра и определяются напряжения на наружной поверхности (рис. 1, а), на внутренней поверхности стекла (рис. 1, б) и на срединной линии детали (рис. 1, в) при изготовлении.



а)



б)



в)

Рис.1. Напряженно-деформированное состояние стекла с наружной (а), внутренней (б) стороны и срединного слоя (в)

Из приведенных данных видно, что характер изменения внутренних нормальных напряжений изменяется по площади и по толщине стекла, а максимальные напряжения наблюдаются в зоне закрепления стекла. Цвето-

вой градиент показывает характер изменения нормальных напряжений, которые в ряде случаев могут принимать критические значения. Проведенные теоретические исследования показывают, что при рассмотрении слоистых элементов конструкции (триплекс) имеет место ярко выраженная концентрация растягивающих остаточных напряжений в зоне, прилегающей к опорному контуру (см. рис.1, а).

Рассмотрим напряженно-деформированное состояние стекол после сборки их с кузовом. Для этого использовалась прикладная программа «Altair Hyper Mesh».

Элементы остекления (ветровое стекло, заднее стекло, боковые стекла автомобиля) по своим геометрическим параметрам, в частности, по параметру тонкостенности, относятся к объектам теории оболочек. Большинство из них по форме срединной поверхности и очертаниям опорного контура, согласно установившейся классификации [4], относится к классу оболочек сложной геометрии. Срединная поверхность и контурные линии таких оболочек в изделиях конструкционной оптики, как правило, не описываются простыми аналитическими выражениями, а задаются таблично или в виде чертежа.

Краевые задачи механики деформирования пластин и оболочек сложной геометрии в соответствии с [5] являются неклассическими. Поэтому создание достаточно универсальных и эффективных методов их решения связано со значительными трудностями, что, в известной мере, являлось причиной существенного отставания теории и методов расчета таких элементов конструкций от запросов практики их проектирования.

Кроме того, элементы остекления в силу специфических свойств конструкционных материалов, применяемых для их изготовления (силикатное стекло), требуют разработки особых узлов их соединения с другими элементами конструкции. Это приводит к необходимости решения неклассических краевых задач механики пластин и оболочек.

С математической стороны расчет оболочек сводится к решению системы уравнений в частных производных восьмого порядка с переменными коэффициентами и малыми множителями при старших производных. Граничные условия (условия периодичности, конечности решения) содержат производные от искомой функции до третьего порядка включительно.

В ряде случаев при помощи метода разделения переменных задачу удается свести к решению систем обыкновенных дифференци-

альных уравнений того же типа. Для решения задач теории оболочек широко используют и совершенствуют целый арсенал имеющихся математических методов и приемов: вариационные и прямые методы математической физики, интегральные уравнения (в том числе и сингулярные), теория комплексной переменной и различные численные методы [3].

Также немаловажное значение имеет масштабный эффект в любом соединении, это относится и к клеевому соединению. Установлено, что прочность зависит от высоты клевого соединения h при работе такого соединения на равномерный отрыв, сдвиг при растяжении и раздир. С увеличением толщины клевого шва от 50 до 10 000 мкм прочность клевого соединения снижается от 45 до 12 МПа. При этом необходимо учитывать влияние материала подложки на структуру полимера в тонких слоях, что может отразиться на прочности клеевых соединений. Если при расчете по условиям, указанным выше, посмотреть на срез соединения, то видно неоднородность распределения напряжений, а именно увеличение в зоне соединения и дальнейшую релаксацию в глубоких слоях.

Как правило, при соединении нескольких сред с различными физическими свойствами (или параметрами) в технических системах (машинах, аппаратах и т.п.) возникает проблема герметизации таких соединений. Для герметизации разъемных соединений применяются различного рода уплотнители [2].

В данном случае соединение стекла с кузовом является неразъемным за счет склеивания двух различных сред. При соединении стекла с кузовом в процессе сборки необходимо обеспечить их взаимное расположение в пределах заданной точности.

При этом вследствие разности величины зазора по периметру стекла клеевой валик будет испытывать разную деформацию. Соответственно, упругое восстановление в клеевом шве будет неравномерным и усадка при полимеризации клея неодинаковая. Все это приводит к неравномерным деформациям и возникновению технологических остаточных напряжений в клее и стекле.

С помощью метода конечных элементов (КЭМ) исследовано влияние параметров клевого валика на процесс образования остаточных напряжений при сборке стекол.

При моделировании использовался численный метод определения напряженно-деформируемого состояния (НДС) стекла при склеивании [6]. Стекло входит в сложную

конструкцию (сборочный узел). В процессе исследования изучались реологические процессы, происходящие в клеевом соединении в ходе и после сборки стекол.

Доказано влияние геометрических параметров клевого валика на НДС стекла в сборе кузова при его эксплуатации. На основе результатов нагружения кузова кручением, было установлено, что величина остаточных напряжений зависит от высоты и ширины клевого шва:

$$f(b) = -0.0618 b^2 + 1.373 b + 16.584, \quad (1)$$

$$f(h) = -0.0405 h^2 + 0.0381 h + 20.261, \quad (2)$$

где $f(b)$ и $f(h)$ – функции зависимости остаточных напряжений от ширины b и высоты h клевого шва.

Для проверки соответствия геометрии стекла заданной в чертеже, на входном контроле ОАО «АВТОВАЗ» стекла в количестве не более 1 % от числа партии проходят проверку на калибре (рис. 2). В ТУ 45 42.1.46.00232934-99 форма и размеры плоских и гнутых изделий из стекла определяются по контрольному шаблону максимального контура, имеющему по периметру опорную поверхность шириной 10...15 мм, форма которой должна соответствовать форме изделия, указанной в чертеже.



Рис. 2. Калибр для проверки геометрии стекла

При проверке изделие укладывают на шаблон до наибольшего совпадения контура изделия с контуром шаблона. Затем при свободно лежащем изделии, щупом ТУ 2-034-0221197-011 проверяют по 20-ти точкам:

- зазор между торцом стекла и контрольными упорами или контуром шаблона;
- максимальный зазор между опорной поверхностью шаблона и поверхностью стекла.

Величина зазоров по контуру между опорной поверхностью шаблона и стекла не долж-

на превышать заданное значение в чертеже, т.е. не более 2 мм, при соблюдении плавности перехода поверхностей.

На рис. 3. показано распределение отклонений по контрольным точкам по контуру стекла.

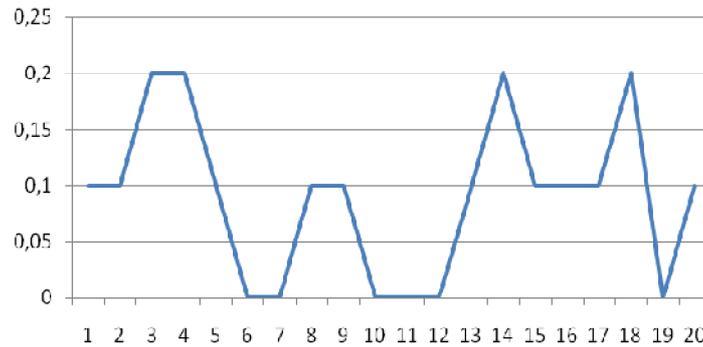


Рис. 3. Распределение величины допускаемого отклонения поверхности стекла от поверхности калибра

По предъявленным требованиям и методу сборки стекол составлена расчетная схема по размерному анализу. При рассмотрении требований, указанных в чертеже, при проведении размерного анализа можно рассчитать максимальное значение величины зазора между стеклом и кузовом.

$$\Delta_{\min} = A_{\min} - a_{\max} = EI - es,$$

$$\Delta_{\max} = A_{\max} - a_{\min} = ES - ei,$$

где A – размер геометрии кузова; a – размер геометрии стекла.

$$\Delta_{\min} = 9,1 - 5,6 = 3,5 \text{ мм},$$

$$\Delta_{\max} = 10,1 - 4,8 = 5,3 \text{ мм}.$$

Допуск зазора: $TS = \Delta_{\max} - \Delta_{\min} = (ES - EI) + (es - ei) = (10,1 - 9,1) + (5,6 - 4,8) = 1,8 \text{ мм}.$

Далее необходимо подтвердить полученные данные размерного анализа по требованиям чертежа фактическими размерами и полем рассеяния действительного размера.

После построения математической геометрической модели кузова в сборе можно проследить поле рассеяния действительного размера зазора между стеклом и кузовом – $A_{д}$, и сравнить эту величину с допустимым значением зазора между стеклом и фланцем кузова $[S]$, т.е. $T[S] \leq TA_0 = 2 \text{ мм}.$ По техническим требованиям есть ограничение по перемещению стекла вдоль одной оси z и за счет регулирующих прокладок – поворот вокруг другой оси, поэтому необходимо найти $T[S]_{\text{факт.}}$

Расчеты действительных размеров зазоров, полученных в режиме динамического сечения, показали его неравномерность. Исходя из полученных размеров, можно выбрать наиболь-

ший $A_{д,\max}$ и наименьший действительный размер зазора $A_{д,\min}$.

Таким образом, найдено действительное поле рассеяния размера зазора.

Наибольший размер, полученный посредством измерений геометрической модели равен 5,425 мм, тогда верхнее отклонение равно:

$$ES_{\text{факт.}} = [S]_{\max} = 5,425 - 4,9 = 0,525 \text{ мм}.$$

Наименьший размер, полученный посредством измерений геометрической модели равен 3,614 мм, тогда нижнее отклонение равно:

$$EI_{\text{факт.}} = [S]_{\min} = 4,9 - 3,614 = 1,286 \text{ мм}.$$

Таким образом, допуск на размер будет равен:

$$IT[S]_{\text{факт.}} = [S]_{\max} - [S]_{\min} = 5,425 - 3,614 = 1,811 \text{ мм}.$$

Полученный фактический допуск имеет величину, соответствующую конструктивному допуску. Но при этом есть возможность проследить места, имеющие наибольшее и наименьшее отклонение от требуемой величины. На рис. 4 показано распределение отклонения размера зазора и допуска по динамическим сечениям вдоль контура стекла. Среднестатистическое значение допуска размера зазора составляет 4,978 мм. Статистическая оценка результатов проводилась в программе Excel.

Результаты динамического анализа размера зазоров после сборки, позволяют сделать вывод о характере распределения величины зазора с учетом отклонения геометрии стекла и кузова, и скачкообразном изменении размера

в углах рамы окна, где происходит стыковка деталей: боковины, панели крыши, надставки окна.

Смоделируем это отклонение в геометрической модели и в режиме динамического сечения сделаем новое определение размеров

замыкающего звена.

Также необходимо проанализировать поле рассеяния размера замыкающего звена при возможном отклонении геометрии. По рабочему чертежу допуск на отклонение стрелы прогиба составляет +5 мм.

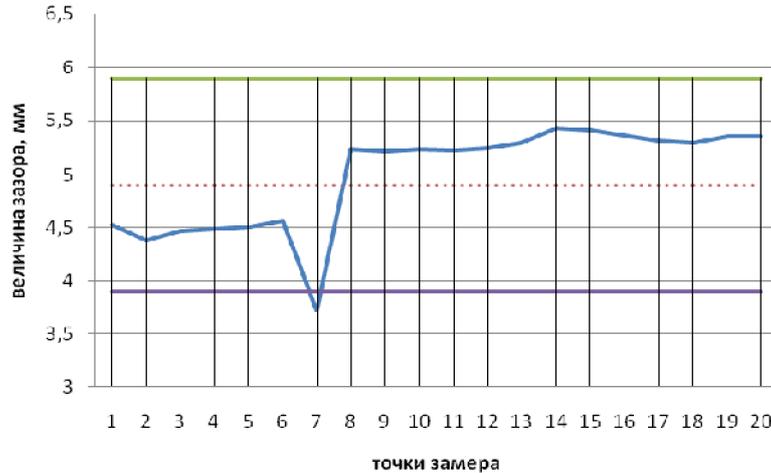


Рис. 4. Распределение величины зазора по контуру стекла

Наибольший размер, полученный посредством измерений геометрической модели после внесенных изменений равен 5,487мм, тогда верхнее отклонение равно: $ES_{\text{факт}} = 5,487 - 4,9 = 0,587$ мм.

Наименьший размер, полученный посредством измерений геометрической модели, равен 3,61мм, тогда нижнее отклонение равно: $EI_{\text{факт}} = 4,9 - 3,61 = 1,29$ мм.

Таким образом, из приведенных данных видно, что конструкторский допуск 2 мм подходит и для деталей, имеющих предельное отклонение по кривизне поперечного сечения стекла.

При установке стекла используются регулировочные прокладки. Высота прокладок $5 \pm 0,5$ мм. Допуск на высоту прокладок равен 1 мм. Смоделируем вариант, при котором одна из прокладок имеет наименьший размер, другая – наибольший, т.е. один размер 4 мм, другой 5 мм. При таком варианте стекло перемещается на некоторый угол разворота стекла равный $0,25^0$, величина которого зависит от расстояния от центра стекла до установки прокладок. Проведем замеры, аналогичные предыдущим. Расстояние от середины стекла до прокладок – 235 мм.

После проведенных замеров установлено, что разброс размеров увеличился. При моделировании отклонений размера регулирующих прокладок на одной боковой кромке

стекла размеры увеличиваются, на другой – уменьшаются. Выберем наибольший и наименьший размеры на обеих сторонах. Наибольший размер на увеличивающейся стороне – 8,317 мм, наименьший – 4,399 мм. Наибольший размер на уменьшающейся стороне – 5,408 мм, наименьший – 1,035 мм.

Так как регулирующим звеном в сборке стекла является клеевой шов, можно предположить, что эти размеры будут выравниваться. Для вычисления приближенных размеров, при такой установке стекла, вычислим среднее значение между двумя наибольшими и двумя наименьшими:

$$[S]_{\text{max}} = 8,317 + 5,408/2 = 6,86 \text{ мм,}$$

$$[S]_{\text{min}} = 4,399 + 1,035/2 = 2,72 \text{ мм.}$$

По проведенным замерам при моделировании наибольшего отклонения размера прокладок видно, что получается большое поле рассеяния размеров. Полученный фактический допуск имеет величину, соответствующую предъявленному конструктивному допуску.

В данном случае при сборке стекол зазор между стеклом и кузовом заполняется клеевым валиком. До установки стекла валик клея имеет определенную форму и площадь поперечного сечения. После установки стекла в зависимости от приложенного усилия, размера стопорящих прокладок, величины отклонений

геометрии проема и стекла получаем размер готового клеевого валика, который соответствует величине зазора между стеклом и кузовом.

Для достижения экономичности и простоты сборки необходимо стремиться к методу полной взаимозаменяемости. Используя этот метод применительно к сборке стекол, необходимо добиться достижения такого размера клеевого валика, при котором будет обеспечено качество клеевого шва по всему периметру стекла.

На рис. 5 показано действительное поле рассеяния стекла и кузова по экспериментальным данным с учетом статистической оценки. Замеры производились на пяти стеклах из партии. Для каждой точки для дальнейшей оценки поля рассеяния размера, было взято максимальное значение отклонения поверхности стекла. Среднее арифметическое значение отклонения поверхности стекла составляет 0,09 мм, среднее арифметическое отклонение поверхности кузова – 0,1125 мм.

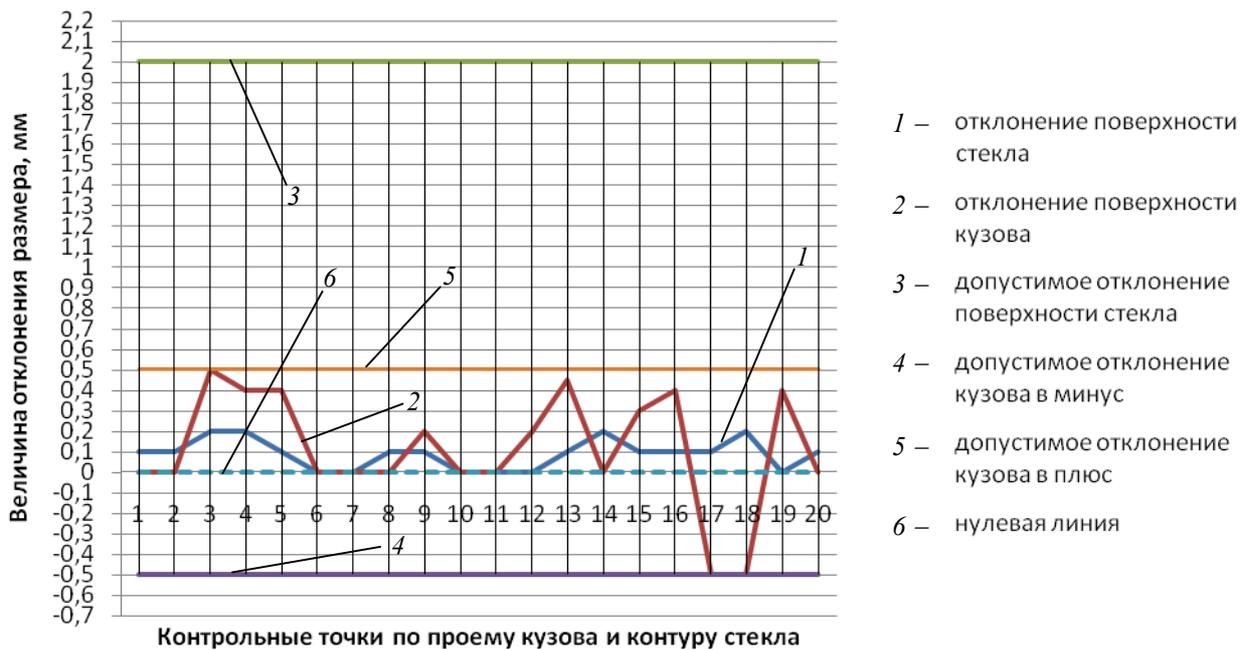


Рис. 5. Действительное поле рассеяния размеров стекла и кузова

Технология сборки предусматривает использование метода полной взаимозаменяемости с компенсирующим звеном, которым является клеевой шов. Клеевой шов окончательно формируется после сборки, при этом площади его поперечного сечения до сборки и после должны быть равны: $F_1 = F_2$. Расчеты показывают, что площадь поперечного сечения валика составляет $31,5 \text{ мм}^2 \leq F_1 \leq 49,5 \text{ мм}^2$ и находится в пределах допуска на валик. А площадь поперечного сечения готового валика составляет $40 \text{ мм} \leq F_2 \leq 84 \text{ мм}$, что не соответствует требуемой площади, поэтому необходимо подобрать площадь валика так, чтобы удовлетворить условию максимального и минимального зазора между стеклом и кузовом.

В соответствии с чертежом необходимо получить высоту валика $4,9 \pm 1 \text{ мм}$ и ширину 10^{+4} мм , т.е. $F = 49,0^{+5} \text{ мм}^2$. При минимальной

высоте валика произойдет увеличение ширины, при максимальной – уменьшение, т.е. при высыхании клея может произойти появление неплотности клеевого соединения по контуру (негерметичности). Поэтому при сборке необходимо подобрать оптимальный объем клеевого валика для заполнения зазора с учетом полученных отклонений геометрии и остаточных напряжений.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что для рассматриваемых слоистых элементов конструкции имеет место ярко выраженная концентрация растягивающих напряжений σ в зоне, примыкающей к опорному контуру.

Немаловажное значение для клеевого соединения имеет масштабный эффект. Установлено, что с увеличением толщины клеевого шва прочность клеевого соединения снижа-

ется в 3,5 раза.

Проведенные исследования и представленные результаты позволяют выработать практические рекомендации по рациональному выбору параметров закрепления элементов остекления в каркасе автомобиля, повышающих прочность соединения и снижения опасных напряжений в зоне «стекло – кузов».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

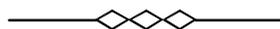
1. Шторобель, В.К. Современный автомобильный кузов. – М.: Машиностроение, 1984. – 264 с.
2. Павлушкин, Н.М. Стекло. – М.: Стройиздат, 1973. – 488с.
3. Биргер, И.А., Пановко, Я.Г. Прочность. Устойчивость. Колебания: Справочник. Т.1. – М.: Наука, 1984. – 354 с.
4. Галимов, К.З., Паймушин, В.Н. Теория оболочек сложной геометрии. – Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1985. – 164 с.
5. Корнишин, М.С., Паймушин, В.Н., Снигирев, В.Ф. Вычислительная геометрия в задачах механики оболочек. – М.: Наука, –1989. – 208 с.

6. Компьютерные технологии, моделирование и автоматизированные системы в машиностроении: учебник; 2-е изд. / А.А. Черепашков, Н.В. Носов. – СПб.: Проспект Науки, 2018. – 592 с.

REFERENCES

1. Storobel, V.K. *Modern Automotive Body*. – M.: Mechanical Engineering, 1984. – pp. 264.
2. Pavlushkin, N.M. *Glass*. – M.: Stroyizdat, 1973. – pp. 488.
3. Birger, I.A., Panovko, Ya.G. *Strength. Stability. Oscillation: Reference book. Vol.1*. – M.: Science, 1984. – pp. 354.
4. Galimov, K.Z., Paymushin, V.N. *Theory of Shells with Complex Geometry*. – Kazan: Publishing House of Kazan University, 1985. – pp. 164.
5. Kornishin, M.S., Paymushin, V.N., Snigiryov, V.F. *Computation Geometry in Problems of Shell Mechanics*. – M.: Science, - 1989. – pp. 208.
6. *Computer Technologies, Modeling and Automated Systems in Mechanical Engineering: textbook; second edition* / A.A. Cherepashkov, N.V. Nosov. – S-Pb.: Science Avenue, 2018. – pp. 592.

Рецензент д.т.н. П.Ю. Бочкарёв



Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Брянский государственный технический университет"

Адрес редакции и издателя: 241035, Брянская область, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7
ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

Телефон редакции журнала (4832) 51-51-38, 8-903-592-87-39. E-mail: naukatm@yandex.ru

Вёрстка А.А. Алисов. Технический редактор А.А. Алисов.

Сдано в набор 15.06.2020. Выход в свет 30.06.2020.

Формат 60 × 84 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,58.

Тираж 500 экз. Свободная цена.

Отпечатано в лаборатории оперативной полиграфии
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования
"Брянский государственный технический университет"
241035, Брянская область, г. Брянск, ул. Институтская, 16

