

# Повышение эффективности подушек безопасности.

(автор Юскаев Юрий Юрьевич).



## Вступление

Автомобильные подушки безопасности наряду с ремнями безопасности являются необходимыми устройствами для защиты как пассажиров так и водителей при ДТП. Но вместе с тем довольно часто происходят ДТП с автомобилями в которых были установлены и сработали подушки безопасности(далее по тексту ПБ) и были пристегнуты ремнями безопасности как водитель так и пассажиры но тем не менее, тяжелых травм и гибели избежать не удалось. В представленной работе предпринята попытка понять на основании парадокса эффективности боковых ПБ как можно повысить эффективность ПБ.

## Материалы и методы

В обзорном исследовании 93 статей был проведен анализ, были собраны данные по эффективности подушек безопасности за период 1960-2023гг.[1]. И при внимательном изучении полученных данных было сделано два интересных вывода:

1. Не существует общепринятой единой единицы измерения достоверно оценивающей эффективность ПБ.
2. Эффективность боковых ПБ выраженная в снижении рисков получения травм, смертности и.тд оказалась весьма близка к эффективности фронтальных ПБ.

Далее уже в процессе более глубокого исследования и поиска причин глубинного отличия между боковыми и фронтальными ПБ размещенного в работе [2] был выявлен определенный парадокс, эффективность боковых подушек безопасности на основании собранных данных оказалось весьма близка к эффективности фронтальных подушек безопасности. При этом что боковые ПБ жестче и меньше фронтальных размещены в значительно худших условиях, на уровне головы к примеру зона энергопоглощения удара при боковом столкновении отсутствует вовсе [20]. Данный вывод сделан на основании анализа нижеуказанных данных приведенных в таб.1:

Критерии и факторы влияния	Фронтальные подушки безопасности	Боковые подушки безопасности
Клапана стравливания газа	Есть [7] диаметр 35мм[8]	Отсутствуют [9] герметичн. [25],[7],[26]
Пиковое давление	1-3 БАР[9]	3.4[7]-9 БАР[9]
Внутренний объем	60-150 литров [9],[7],[10]	6-20 литров [9],[7]

<b>Время раскрытия</b>	50-65мс[9],[7]	несколько миллисекунд[7], от 15-30мс[15], [16],[17],[7]
<b>Взаимодействие с РБ</b>	Высокоэффективны с ПБ Сниж.80-90% травмы, 40% смертность [11] « >80% сниж.смертности» [12] 75% снижение травм [7]сниж.смертн.46% [12]	РБ не влияют или низкоэффективны [18],[17] , [19],[20] ввиду эффекта выскальзывания [21],[22],[23], [24]отсутствующая защита головы[20] при бок.ударе об стойку [16]
<b>Зона энергопоглощения</b>	500мм [13] от 2-5 раз превышает боковую по рассеиванию энергии [14]	150мм [13] недостаточная [7], [27],[23],[14]
<b>Критерии и факторы влияния</b>	<b>Фронтальные подушки безопасности</b>	<b>Боковые подушки безопасности</b>
<b>Эффективность</b>	«Снижение смертн.водит. РБ+ПБ более 80%»[7] «Снижение травм до 76%» [28] Снижение смертности водителей 37-52% [29]  «Сниж тяжести травм при лобовых столкновениях до 65% на уровне груди и до 75% на уровне головы»[30]  «Снижение черепно-мозговых травм MAIS 2+ на 42%».[32] «Сниж.80-90% травмы, 40% смертность» [11] « >80% сниж.смертности» [12] «Снижение количества пострадавших с максимальной сокращенной шкалой травм (MAIS) 3+ 87,4%» [31]	«Снижение травматизма всех областей тела на 51% и снижение травматизма всех частей тела на 61%.голова, шея, лицо и грудная клетка» [33] «Травмы головы, шеи, лица, груди и живота были на 48% ниже»[34] «Боковые ПБ Сниж.риска травмы головы 75%,защита торса 68% Сниж.Риск смерти 37-45%»[35],[36] 68 ± 16% сниж.травмы головы [37] сниж.смертн.вод. 37%[16], «снижение смертности 50%»[38]«смертност и составило около 41,3%. Снижение перегрузки в 5.1 раз»[39]
<b>Взаимодействие с контактной травмирующей поверхностью</b>	При лобовом ударе до любой травмирующей поверхности есть некоторое расстояние «25-65см» [4]	Травмирующая поверхность находится вплотную к телу [15], [40].

<p><b>Частота срабатывания</b></p>	<p>«исследование выявило случаи срабатывания ПБ при скорости Delta-V всего лишь 3–4 мили в час, (4.8км/ч-6.4км/ч прим.авт.) и нераскрытия ПБ при скорости Delta-V более 26 миль в час (41км/ч прим.авт) и возможное запазданное или слишком медленное раскрытие ПБ» [44],[45]. «Есть данные о том что примерно 15% ПБ не срабатывает вообще при фронтальных ДТП с водительской стороны» [46].</p>	<p>от 34% до 57% боковых подушек безопасности не раскрываются в ДТП [43]</p>
------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------

**Таб.1[2] Сравнение боковых и фронтальных подушек безопасности по критериям и эффективности**

#### **Объяснение парадокса боковых ПБ**

- Вероятно эффективность боковых подушек безопасности объясняется тем что благодаря тому что боковые подушки безопасности за счет значительно более быстрого срабатывания оказываются раскрытыми и раньше чем фронтальные подушки безопасности начинают замедлять тело человека а также за счет более высокого внутреннего давления более жесткие и в итоге время удара к примеру, головы человека меньше чем при ударе об фронтальную подушку безопасности. Чем раньше начнется работа удерживающих систем (РБ и ПБ) тем лучше для человека. Важность
- Таким образом предположительно ударная перегрузка либо не возникает вообще либо ее продолжительность (время) не превышает переносимость телом человека и воспринимается как колебание а не как сотрясение. Предположительно речь идет о допустимой дозе ударной перегрузки.
- Возникает противоречие так как увеличение времени удара ведет к уменьшению силы удара и это правда. Но предположительно при ударе в ДТП есть более глубокие и сложные механизмы и возможно этим механизмом является ударная перегрузка которая возникает только при определенных условиях. Возможно кривая Патрика объясняет данный парадокс на примере ударной перегрузки воздействующей на голову человека.
- Предположительно снижение времени удара в пару с уменьшением времени продолжительности ударной перегрузки на человека является более эффективной мерой защиты человека при автомобильном ДТП чем снижение силы удара.

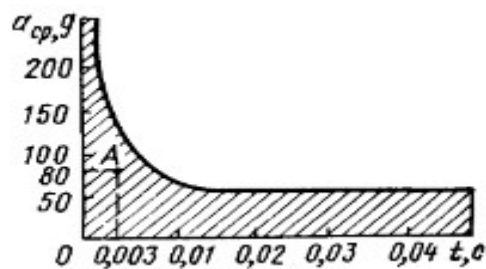


Рис.1 [4] Зависимость допустимых перегрузок головы человека от продолжительности удара (кривая Уэйн-Стейта)

Предположительно парадокс эффективности боковых ПБ объясняется «твердостью» за счет которой время удара и соответственно время ударной перегрузки не превышает пределы переносимости человеком и согласно работам [4],[6] мозг человека вполне способен выдержать высокую «дозу перегрузки». Предположительно ударная перегрузка является основным механизмом возникновения «смертельных» травм.

Представим следующий пример: Вы стоите на мосту над озером и бросаете в воду тяжелый камень но с такой скоростью что волн в толще воды и брызгов не образуется. Подобно этому примеру если время удара не превышает несколько миллисекунд то ударная перегрузка не возникает.

### Выводы

Существующие подушки безопасности доказали свою эффективность но вместе с тем есть потенциал для их модернизации с целью повышения эффективности а именно:

- повышение внутреннего давления вкупе с уменьшением линейной плотности ткани
- на основании исследования парадокса боковых подушек безопасности и объяснения их высокой эффективности кривой Уэйн-Стейта высказывается предположение что наиболее точным индикатором эффективности подушек безопасности это не снижение силы удара и других параметров а снижение импульсной дозы перегрузки и или продолжительности ударной перегрузки
- Боковые подушки безопасности находятся в значительно «худших» условиях по сравнению с фронтальными так как они жестче, их объем меньше и зона энергопоглощения удара (кузов автомобиля) значительно меньше чем при фронтальном ударе а самое главное на уровне головы по сути защиты при боковом ударе нет, стекло при боковом ударе рассыпается а ремень безопасности при боковом ударе голову не удерживается так как верхняя половина туловища просто выскальзывает при ударе из под ремня безопасности. Учитывая тот факт что основная причина гибели людей это травмы головы высокая эффективность боковых подушек безопасности вызывает восхищение.
- Статическая прочность костей больше динамической
- **«Чем быстрее начнется «взаимодействие» человека с поверхностью ПБ тем лучше для него» [5]**
- «головной мозг может выдержать кратковременную перегрузку в 150 g (1-2 миллисекунды), а может расплющиться о стенки черепа при замедлении в 100 g, но действовавшем в течение 10-15 мс.» [6]
- Возможно удар это «поверхностный» механизм травмы а «ударная перегрузка» и «кавитация» внутренние «скрытые»

- «Чем больше расстояние между пострадавшим и частями ТС, тем с большей скоростью наносится удар по телу и конечностям пострадавшего, так как к моменту достижения телом частей ТС скорость автомобиля значительно снижается силой сопротивления его деформаций, в то время как тело человека продолжает движение практически с первоначальной скоростью»[41]
- Предположительно высокая эффективность премиальных автомобилей обусловлена настройками внутреннего давления подушек безопасности
- На случай возникновения ДТП система пассивной безопасности автомашины должна проектироваться исходя из предельных научно обоснованных физиологических возможностей человека по переносимости аварийных перегрузок. **При этом упругость всех элементов системы пассивной безопасности должна быть минимальной.**[42]
- Предположительно при рассмотрении внутрисалонной травмы головы при боковом автомобильном ДТП на голову человека воздействует 3 механизма травм: удар, сотрясение, кавитация
- Чем больше длится ударная перегрузка тем хуже она переносится организмом человека

#### **Предлагаемое решение.**

Автором предлагается переносная ПБ для пассажира автомобиля. Патент на полезную модель RU 235 975. Для удобства пассажира ПБ имеет S-образную форму. Фиксирование на пассажире осуществляется ремнем безопасности его диагональной частью. Благодаря фиксации ремнем безопасности снижается вероятность получения травм от ремня безопасности. И подушка безопасности закреплена вплотную к человеку. Благодаря чему в момент удара пассажир вплотную прижат к ПБ. Повышение внутреннего давления переносной ПБ более 3 бар возможно приведет в результате в повышению эффективности ПБ.

#### **Список литературы:**

1. Юскаев Ю.Ю 2023. Оценка эффективности автомобильных ПБ 1960-2023гг. PREPRINTS.RU. <https://doi.org/10.24108/preprints-3112804>
2. Юскаев Ю. Ю. 2023. О защите в боковых автомобильных ДТП. PREPRINTS.RU. <https://doi.org/10.24108/preprints-3112914>
3. INJURY OUTCOMES IN SIDE IMPACTS INVOLVING MODERN PASSENGER CARS . Ruth Welsh Andrew Morris Vehicle Safety Research Centre Loughborough University UK Ahamedali Hassan Birmingham Automotive Safety CentreThe University of Birmingham UK Paper Number 07-0097
4. А. И. Рябчинский, О. В. Мельников, Ю . С. Сидоров — Толерантность водителей и пассажиров автомобилей к импульсным нагрузкам при дорожно-транспортных происшествиях/ Автомобильная промышленность// 3/// 1978
5. SAFETY SELLS Market Forces and Regulation in the Development of Airbags By Martin Albaum Copyright © 2005 Martin Albaum and the Insurance Institute for Highway Safety
6. Состояние вопроса травмы внутри салона автомобиля при ДТП / Нестеров А.В. // Избранные вопросы судебно-медицинской экспертизы. — Хабаровск, 2007 — №82. — С. 10-22

7. Nayak, R., Padhye, R., Sinnappoo, K., Arnold, L., & Behera, B. K. (2013). Airbags. *Textile Progress*, 45(4), 209–301. doi:10.1080/00405167.2013.859435
8. Kim, D.E., Joo, Y.H. & Kang, M.C. Performance evaluation of slim low-risk-deployment dual-type passenger airbag system with dispersed inflation pressure. *Int.J Automot. Technol.* 17, 689–696 (2016). <https://doi.org/10.1007/s12239-016-0068-z>
9. Mikáczó, V., Siménfalvi, Z., & Szepesi, G. L. (2018). Investigation of Pressure Rise in Automotive Airbags. *Vehicle and Automotive Engineering* 2, 466–475. doi:10.1007/978-3-319-75677-6\_40
10. Sikata Samantray, Shikha Parashar, Airbag used in automobile, *Materials Today: Proceedings*, Volume 81, Part 2, 2023, Pages 593-596, ISSN 2214-7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.743>
11. Langweider, K and Hummel, T. The effect of air bags on injuries and accident costs. 16th Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), National Highway Traffic Safety Administration. Washington, DC. Paper 98-S1-W-27 [Google Scholar]
12. HUERE, J., FORET-BRUNO, J., FAVERJON, G., and LE COZ, J., "AIRBAG EFFICIENCY IN FRONTAL REAL WORLD ACCIDENTS," SAE Technical Paper 2001-06-0010, 2001
13. Christensen, J., & Bastien, C. (2016). Vehicle Architectures, Structures, and Safety Requirements. *Nonlinear Optimization of Vehicle Safety Structures*, 1–49. doi:10.1016/b978-0-12-417297-5.00001-8
14. CESARI, D. & BLOCH, J. (1984). The influence of car structures behaviour on occupant protection in car to car side impact. *Vehicle Structures, International Conference on Vehicle Structures*, C163184, 7-10, Mechanical Engineering Publications Ltd.; London. England.
15. WELSH, R., REED, S. and MORRIS, A., 2008. AIS 3+ head injury mechanisms and crash characteristics - a review of airbag deployed crashes. *International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impact*, 17-19 September, Bern, Switzerland
16. Tanaka, Y., Yonezawa, H., Hosokawa, N., & Matsui, Y. (2011). The Effectiveness of Curtain Side Air Bags in Side Impact Crashes. *SAE International Journal of Passenger Cars - Mechanical Systems*, 4(1), 73–90. doi:10.4271/2011-01-0104
17. Li, M.; Zhang, D.; Liu, Q.; Zhang, T. Driver Injury from Vehicle Side Impacts When Automatic Emergency Braking and Active Seat Belts Are Used. *Sensors* 2023, 23, 5821. <https://doi.org/10.3390/s23135821>
18. Kong, J.S.; Lee, K.H.; Kang, C.Y.; Choi, D.; Kim, O.H. Preventive Effectiveness of Thoracic Side Airbags in Side-Impact Crashes Based on Korea In-Depth Accident Study (KIDAS) Database. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2022, 19, 15757. <https://doi.org/10.3390/ijerph192315757>
19. JONES, I.S. (1982). Injury severity versus crash severity for front seat car occupants involved in front and side impacts. *Proceedings of the 26th Annual Conference, American Association for Automotive Medicine*, 17-35, Ontario, Canada
20. Siegel JH, Mason-Gonzalez S, Dischinger P, et al. Safety belt restraints and compartment intrusions in frontal and lateral motor vehicle crashes: mechanisms of injuries, complications, and acute care costs. *J Trauma* 1993;34(5):736–758; discussion 758–759
21. INJURY OUTCOMES IN SIDE IMPACTS INVOLVING MODERN PASSENGER CARS Ruth Welsh Andrew Morris Vehicle Safety Research Centre Loughborough University UK Ahamedali Hassan 2006
22. Occupant Protection in Far-Side Impacts/ Bengt Pipkorn, Karl Johan Larsson, Daniel Perez Rapela, Craig Markusic, Bryant Whitcomb, Murthy Ayyagari and Cecilia Sunnevang// IRCOBI conference 2018
23. Intas, George, and Pantelis Stergiannis. "How safe are the airbags? A review of literature." *Health Science Journal* 5.4 (2011): 262.
24. Augenstein J, Perdeck E, Martin P, et al. Injuries to restrained occupants in far-side crashes.

- Annu Proc Assoc Adv Automot Med 2000;44:57–66
25. Хусаинов, А. Ш. Пассивная безопасность автомобиля : учебное пособие для студентов направлений 190100.62 «Наземные транспортно-технологические комплексы» по профилю – Автомобиле- и тракторостроение и 190109.65 «Наземные транспортно-технологические средства» по специализации «Автомобили и тракторы» / А. Ш. Хусаинов, Ю. А. Кузьмин. – Ульяновск : УлГТУ, 2011. – 89 с. ISBN 978-5-9795-0916-7
  26. Chen, Ge & Li, Jia. (2011). Influence of Different Airbag Fabrics on Airbag Performance. *Advanced Materials Research*. 332-334. 1053-1057. 10.4028/www.scientific.net/AMR.332-334.105
  27. Ito F, Tsutsumi Y, Shinohara K, Fukuhara S, Kurita N. Vehicle configurations associated with anatomical-specific severe injuries resulting from traffic collisions. *PLoS One*. 2019;14(10):e0223388. Published 2019 Oct 7. doi:10.1371/journal.pone.0223388
  28. Johannsen, H. (2018), Frontal airbags, European Road Safety Decision Support System, developed by the H2020 project SafetyCube. Retrieved from [www.roadsafety-dss.eu](http://www.roadsafety-dss.eu)
  29. A.T. McCartt and S.Y. Kyrychenko, Efficacy of Side Airbags in Reducing Driver Deaths in Driver-Side Car and SUV Collisions. *Traffic Inj. Prev.* 8(2) (2007) pp. 162–170
  30. DUMITRASCU D. I., DUMITRASCU A. E. Design Failure Mode and Effects Analysis (DFMEA) for Automotive Safety Systems. . (2019), 59:119-12  
<https://doi.org/10.31926/RECENT.2019.59.119>
  31. Lee, B.K.; Han, E.J.; Sohn, S.Y.; Kim, Y.S.; Yoon, J.Y.; Choi, J.Y. A Cost-Benefit Analysis to Assess the Effectiveness of Frontal Center Curtain Airbag. *Sustainability* 2017, 9, 1745.  
<https://doi.org/10.3390/su9101745>
  32. Wallis LA, Greaves I Injuries associated with airbag deployment *Emergency Medicine Journal* 2002;19:490-493. <http://dx.doi.org/10.1136/emj.19.6.490>
  33. Anonymous, Evaluation of Side Airbag System Effectiveness, Monash University Accident Research Centre, Victoria, Australia, 2012. Available at <http://www.vicroads.vic.gov.au/Home/SafetyAndRules/SaferVehicles/BuyingASafeCar/Sidecurtainairbags.htm>
  34. D'Elia, A., Newstead, S. & Scully, J. (2013). Evaluation of vehicle side airbag effectiveness in Victoria, Australia. In: *Accident Analysis & Prevention*, vol. 54, p. 67-72
  35. Jänsch, M., O'Connell, N. (2017), Side airbags, European Road Safety Decision Support System, developed by the H2020 project SafetyCube
  36. Mcgwin G., Jr., Metzger J., Rue L.W., 3rd The influence of side airbags on the risk of head and thoracic injury after motor vehicle collisions. *J. Trauma*. 2004;56 doi: 10.1097/01.TA.0000114272.37352.21
  37. Viano DC, Parenteau CS. Difference in dummy responses in matched side impact tests of vehicles with and without side airbags. *Traffic Inj Prev.* 2016;17(5):524-529. doi:10.1080/15389588.2015.1120295
  38. Braver, E. R. and S. Y. Kyrychenko (2004). "Efficacy of Side Air Bags in Reducing Driver Deaths in Driver-Side Collisions." *American Journal of Epidemiology* 159(6): 556- 564
  39. Jiang, C., Yin, Z., Ren, L., Hu, Y., Liu, X., & Zhu, H. (2019). Coupling Simulation of an Impact Induced Rollover Accident and Evaluation of Curtain Airbag Effectiveness. *International Journal of Computational Methods*. doi:10.1142/s0219876219500415
  40. Arathanaikotti P, Prakash R. V. Numerical Simulation and Occupant Injury Prediction Under Side Impact Loading Using Human Surrogate Model //ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition. – American Society of Mechanical Engineers, 2022. – Т. 86717. – С. V009T14A003
  41. Особенности производства комплексных экспертиз при внутрисалонной автомобильной травме Д.м.н. В.а. ФетиСоВ, д.м.н. а.а. ГУСаРоВ, эксп. С.а. СМиРенин СУДЕБНО-МЕДИЦИНСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА 4. 2016 doi: 10.17116/sudmed201659415-20

42. БЕЗОПАСНОСТЬ АВТОМОБИЛЯ,  
АНАЛИЗ КОНЦЕПЦИИ Рабинович Б.А., д.т.н., проф. №2 (55) 2009
43. Smith TG 3rd, Wessells HB, Mack CD, Kaufman R, Bulger EM, Voelzke BB. Examination of the impact of airbags on renal injury using a national database. J Am Coll Surg. 2010 Sep;211(3):355-60. doi: 10.1016/j.jamcollsurg.2010.05.009. Epub 2010 Jul 14. PMID: 20800192
44. Gabler HC, Hinch J. Evaluation of advanced air bag deployment algorithm performance using event data recorders. Ann Adv Automot Med. 2008 Oct;52:175-84. PMID:19026234; PMCID: PMC3256779.
45. Occurrence of Serious Injury in Real-World Side Impacts of Vehicles with Good Side-Impact Protection Ratings. Taylor & Francis. L. Brumbelow, Matthew; C. Mueller,Becky; A. Arbelaez, Raul. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.c.2071895.v1> 2015
46. Evans, L. Traffic Safety. Bloomfield, Hills Mi: Science Serving Society, 2004