

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАЧАЛЬНОЙ ПОГИБИ НА ВИБРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА И УСТОЙЧИВОСТЬ ОБШИВКИ

**Чижиумов Сергей Демидович,
ФГБОУ ВО «КНАГТУ»,
Волков Роман Игоревич
ОАО «Амурский судостроительный завод»,
Комсомольск на Амуре, Россия**

1. ВВЕДЕНИЕ

Обшивка и настилы являются наименее жёсткими элементами корпуса корабля. Следствием этого является большинство эксплуатационных и технологических проблем, связанных с обеспечением динамических свойств и устойчивости конструкций, уменьшением акустического излучения, уменьшением остаточных деформаций и напряжений.

Сложность вибрационного проектирования конструкций связана, главным образом, с широким спектром и неопределённостью различных сил, возбуждающих вибрацию пластин, в частности:

- гидродинамических пульсаций от работы винтов;
- пульсаций при отрывном обтекании;
- нагрузок на волнении (волновых и ударных при слеминге);
- кинематического возбуждения опорного контура пластин от общей ходовой вибрации корпуса, работы энергетических установок и оборудования и пр.

Исключение резонансов и потери устойчивости пластин и панелей представляет большую проблему также вследствие неконтролируемого влияния различных эксплуатационных и технологических факторов на их частоты собственных колебаний и критические нагрузки:

- отклонения формы из-за технологических допусков и остаточных деформаций;
- остаточные сварочные и эксплуатационные напряжения;
- переменный уровень жидкости в цистернах и др.

Проектирование конструкций по удельным критериям прочности и жёсткости по отношению к массе, с применением сталей повышенной прочности, уменьшением толщины и шпации, осложняется из-за проблемы обеспечения устойчивости пластин и панелей. При большом количестве сварных швов растут остаточные сварочные деформации в виде гофрировки пластин, имеющих порядок толщины листов (хлопуны). Хлопуны работают в режиме малоциклового нагружения «хлопок - выхлоп» и на их границах при определенном числе циклов образуются усталостные трещины. На образование трещин влияют также остаточные напряжения и вибрация.

Форма начальной погиби пластин, соответствующая безмоментной оболочке, способствует повышению критических нагрузок и собственных частот. Но при наличии остаточных напряжений, отклонений от идеальной формы, краевых эффектов, критические нагрузки и собственные частоты пластин могут, как повышаться, так и понижаться.

Так как остаточные деформации являются случайными, практически сложно определить их влияние на критические нагрузки и собственные частоты в различных условиях эксплуатации.

Таким образом, возникает вопрос о возможности и способах уменьшения влияния технологических факторов на эксплуатационные качества конструкций, а также повышения их жёсткости.

Одним из таких способов является применение гофрированной обшивки. В связи с этим рассмотрим, как влияет гофрировка (начальная погибь) пластин обшивки на их собственные частоты и критические нагрузки.

2. ВЛИЯНИЕ ПОГИБИ НА СОБСТВЕННЫЕ ЧАСТОТЫ ПЛАСТИН

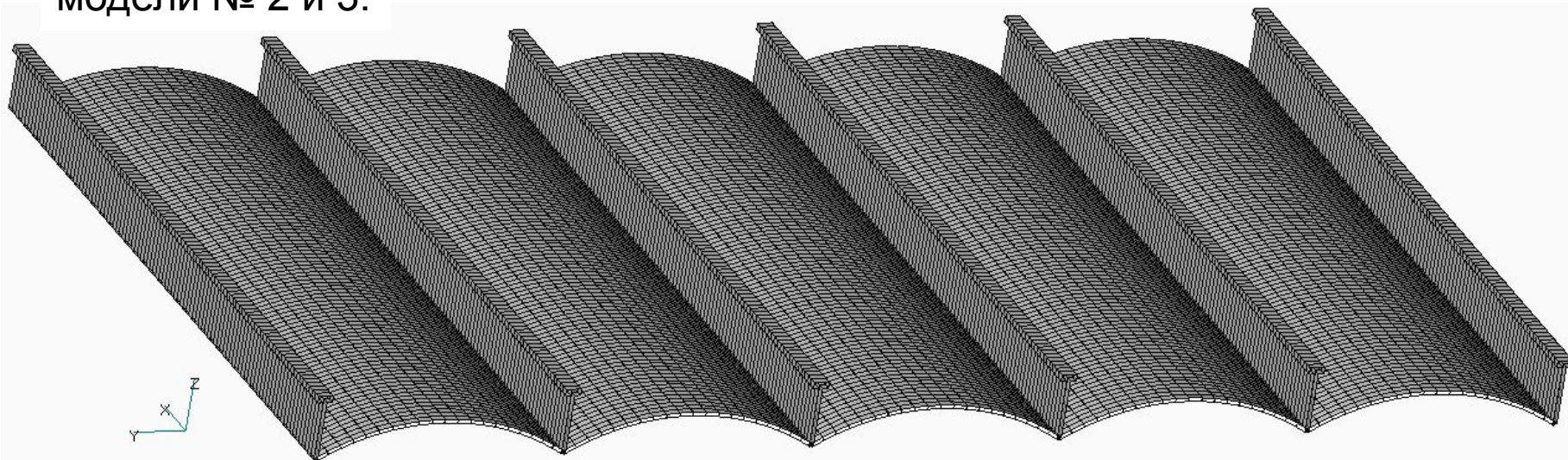
Расчётные схемы обшивки с начальной погибью

модель № 1:



1) $a = 0,7$ м; $s = 10$ мм

модели № 2 и 3:



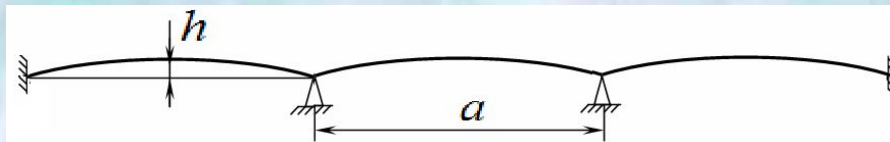
2) $a = 0,7$ м; $s = 10$ мм; $L = 2,1$ м;

р.ж. - полособульб № 18^б

3) $a = 0,2$ м; $s = 4$ мм; $L = 0,6 - 1,0$ м;

р. ж. - полособульб № 5

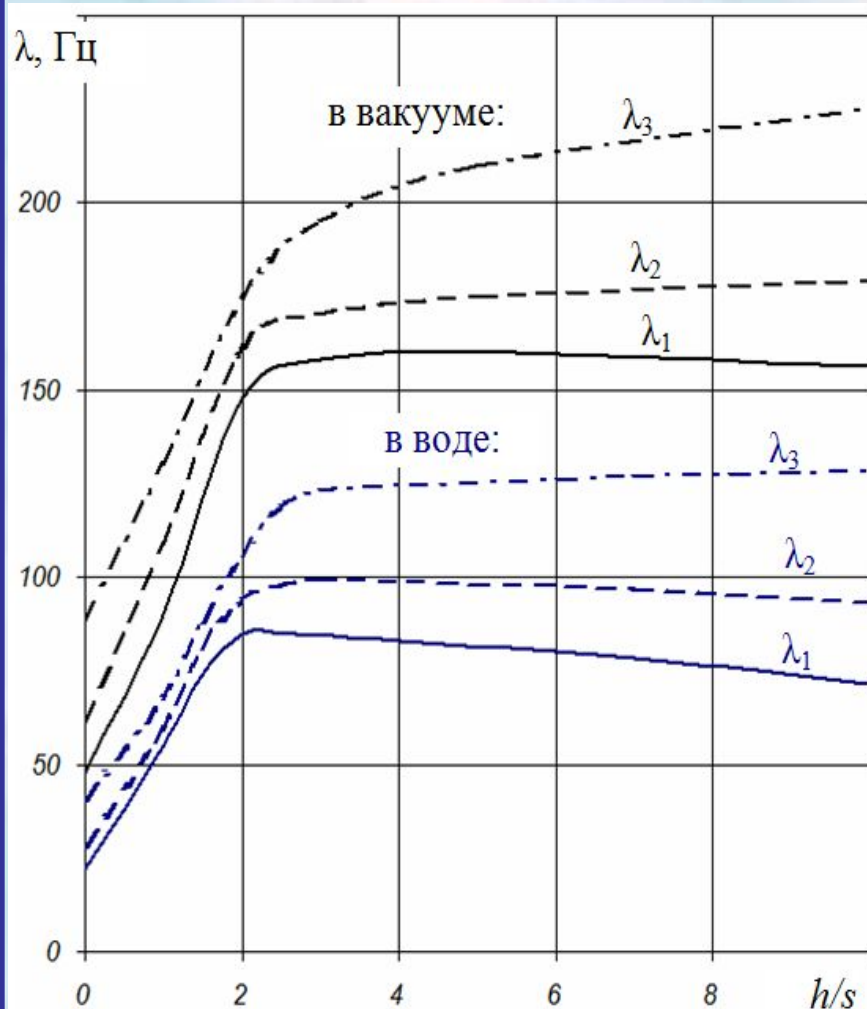
модель № 1:



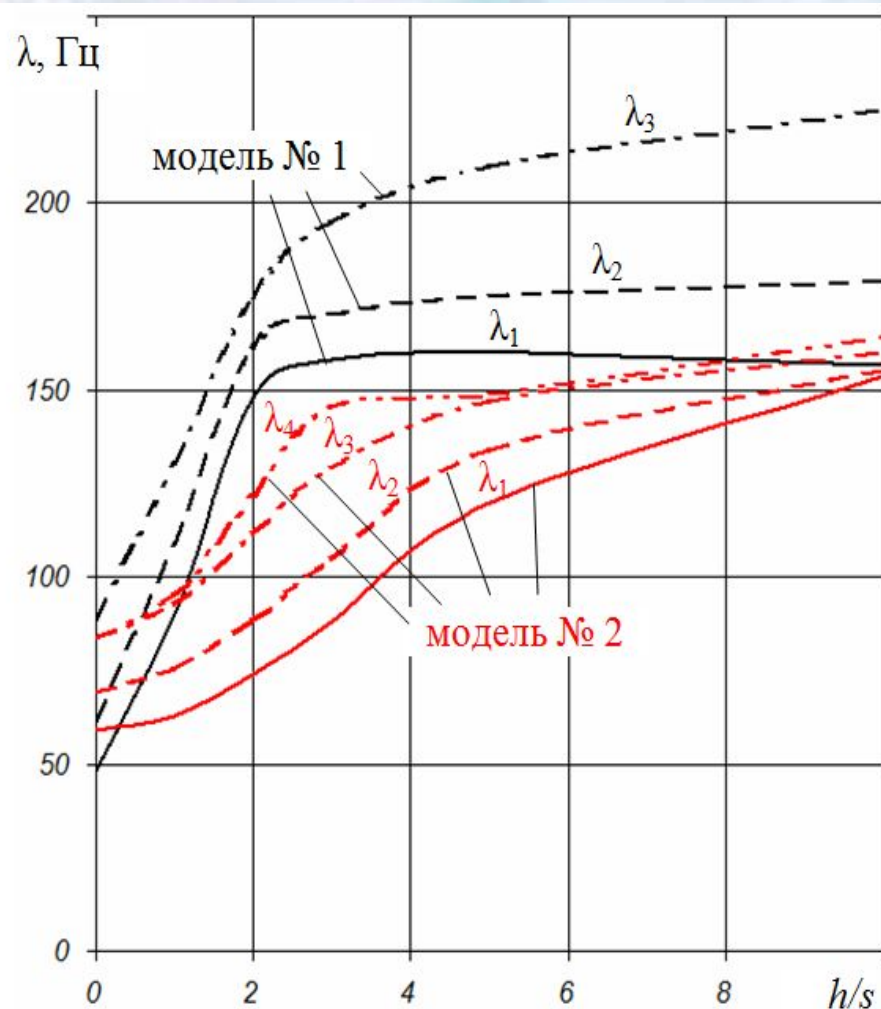
h/s	$\lambda_1, \Gamma \Pi$	форма первого тона	$\lambda_2, \Gamma \Pi$	форма второго тона
в воде:				
0	22,05		28,02	
1	57,8		59,3	
2	85,05		94,3	
3	84,3		95,3	
7	78,3		89,1	
10	71,6		81,9	
в вакууме:				
0	48,19		61,25	
10	156,5		179,0	

Собственные частоты

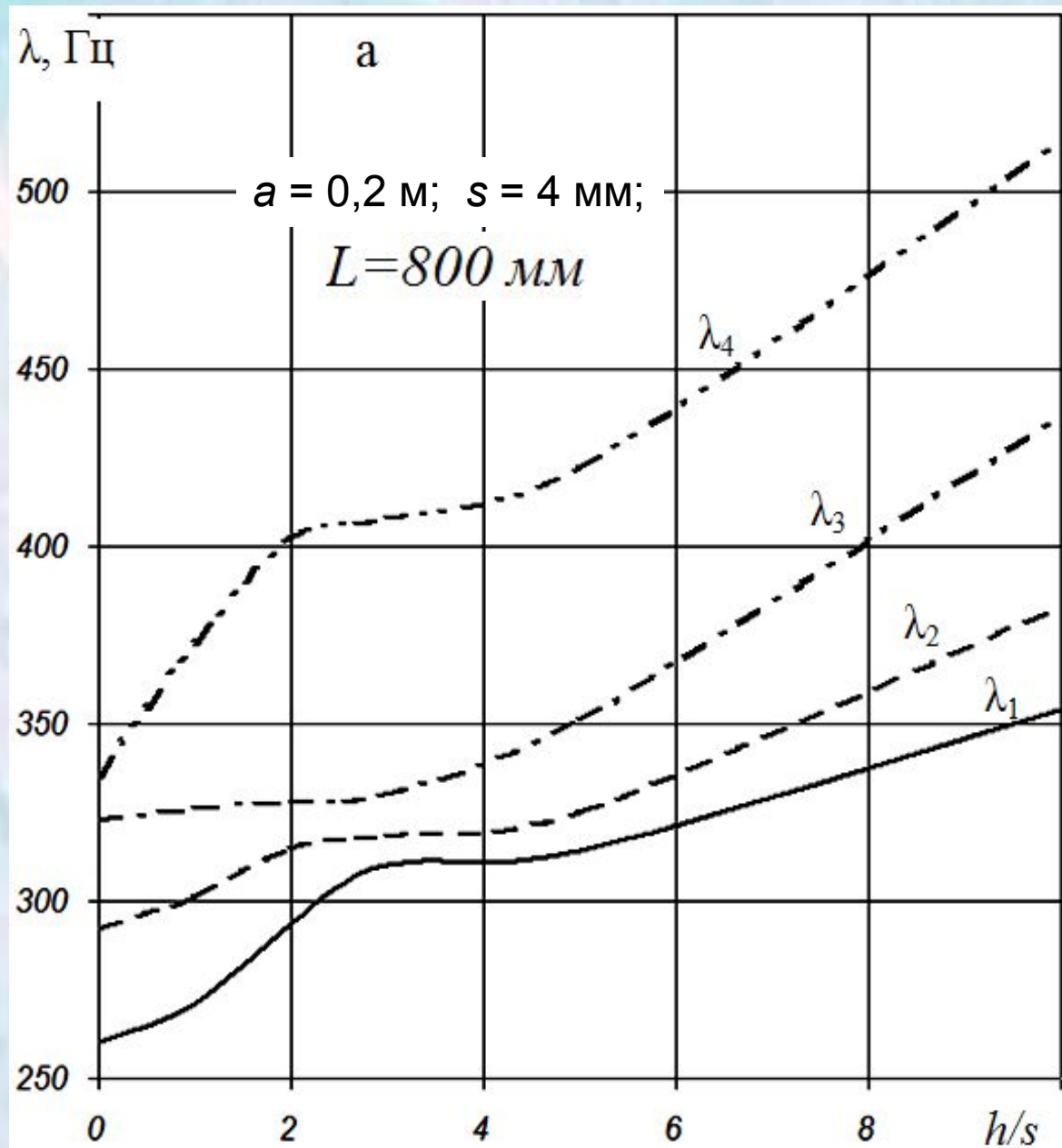
в зависимости от величины начальной погиби (без учёта податливости р. ж.):

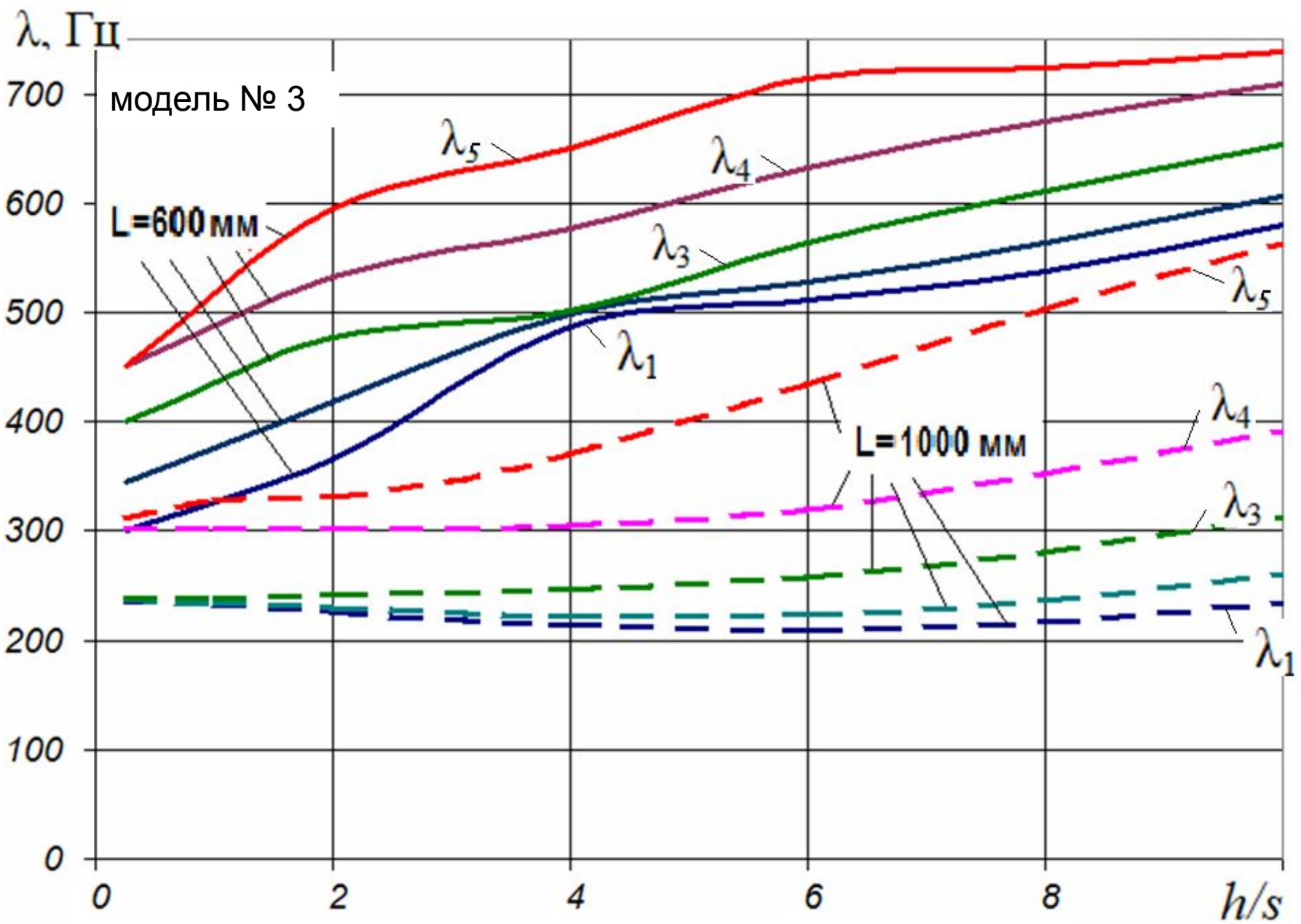


Влияние податливости р. ж. на собственные частоты обшивки:



модель № 3:

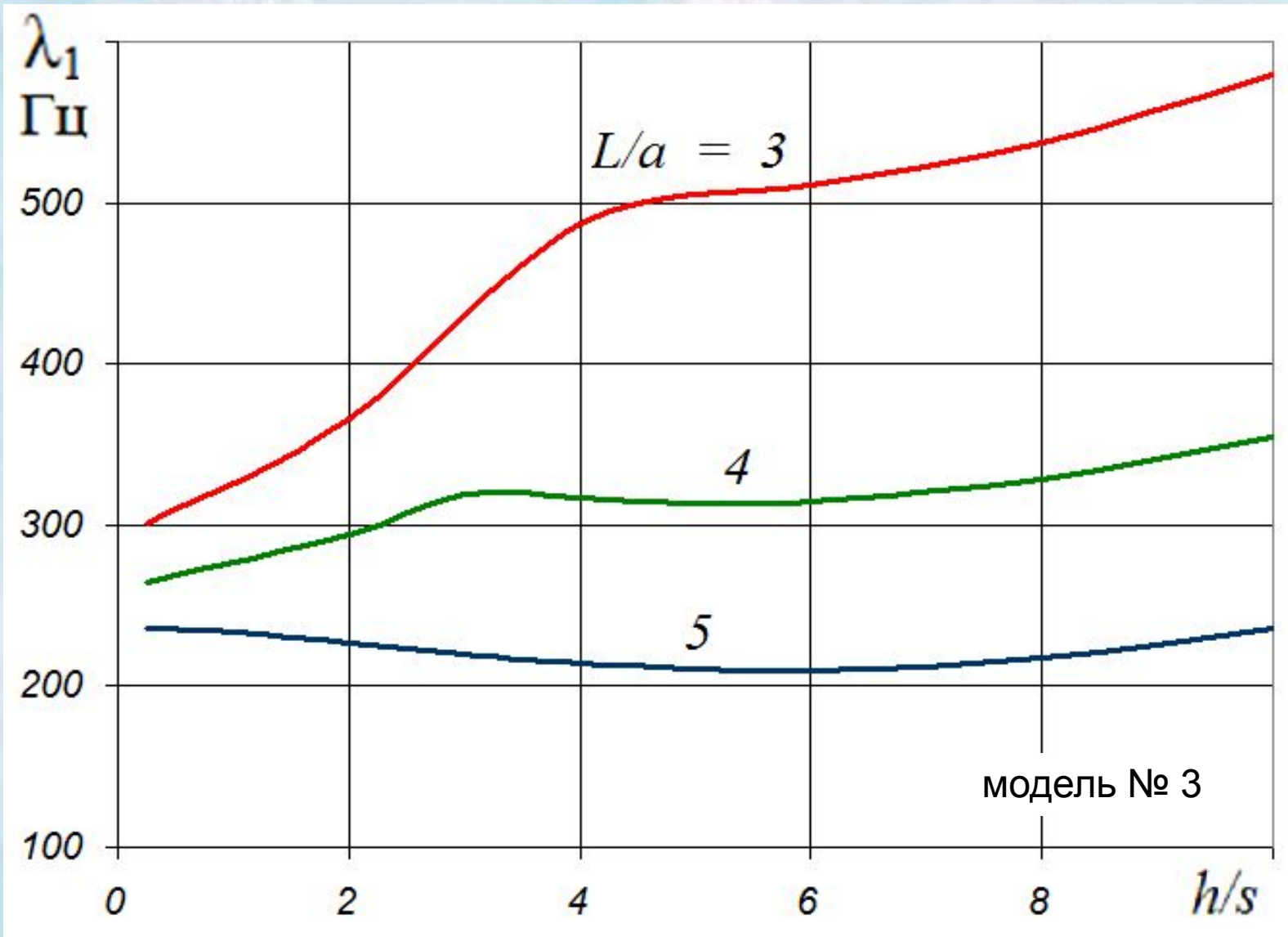




Выводы:

- ✓ даже небольшая начальная погибь существенно увеличивает низшие собственные частоты пластин; контакт с водой существенно снижает собственные частоты;
- ✓ учитывая, что обшивка перекрытий судна практически всегда имеет малую начальную погибь, вызванную технологическими и эксплуатационными воздействиями, а также может частично или полностью контактировать с жидкостью, реальные собственные частоты пластин являются случайными величинами, изменяющимися в широком диапазоне;
- ✓ приданием пластинам криволинейной формы можно достаточно эффективно подбирать спектр низших собственных частот конструкций, повышать их жёсткость и делать более предсказуемыми их характеристики, уходя от резонансов с низкочастотными источниками вибрации;
- ✓ податливость ребер жесткости приводит к уменьшению низших собственных частот, снижая эффект от применения гофрировки. Причиной этого является то, что при наличии погиби пластин значительно снижается жёсткость в плоскости панели поперек гофров. Рёбра жесткости не могут компенсировать эту потерю жёсткости вследствие малого момента инерции при изгибе из своей плоскости;

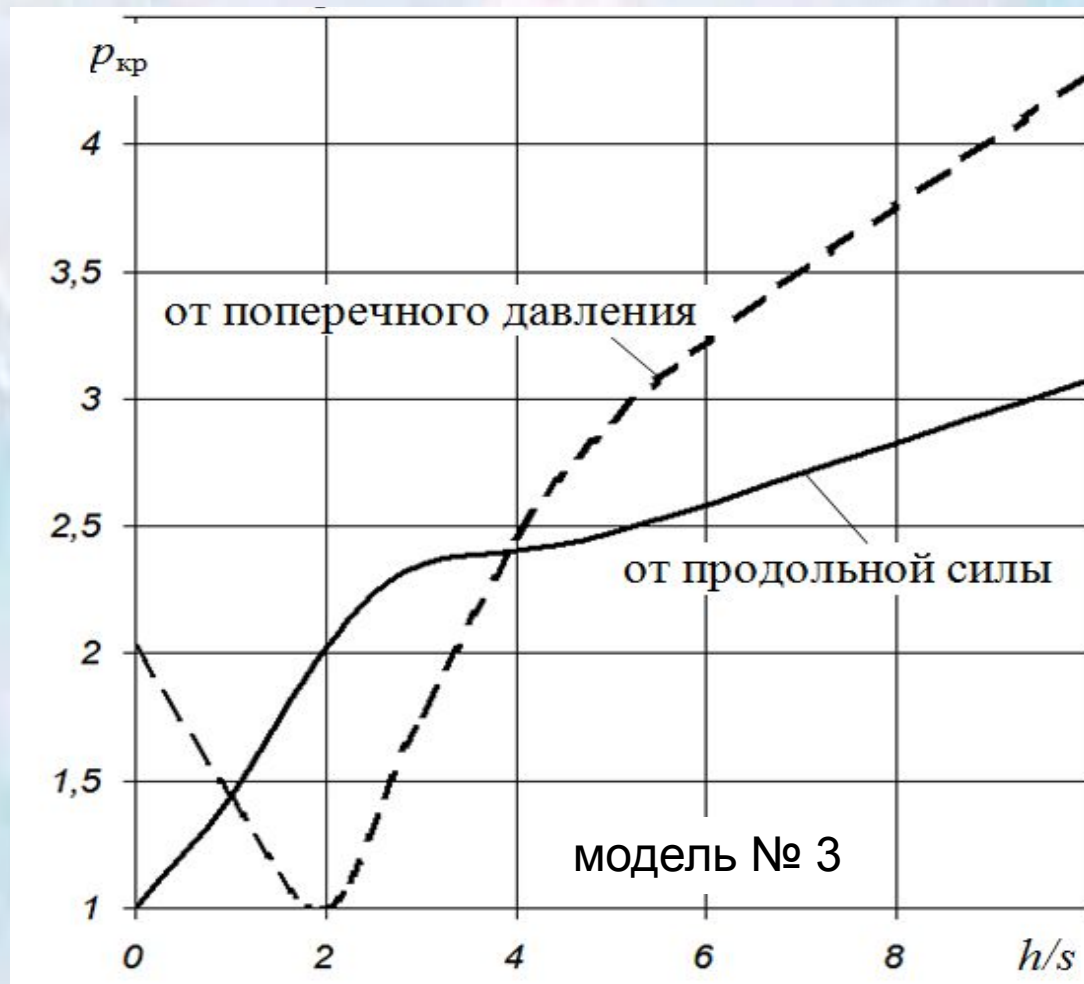
✓ эффективно увеличить поперечную жёсткость можно путём уменьшения шапации поперечного набора;



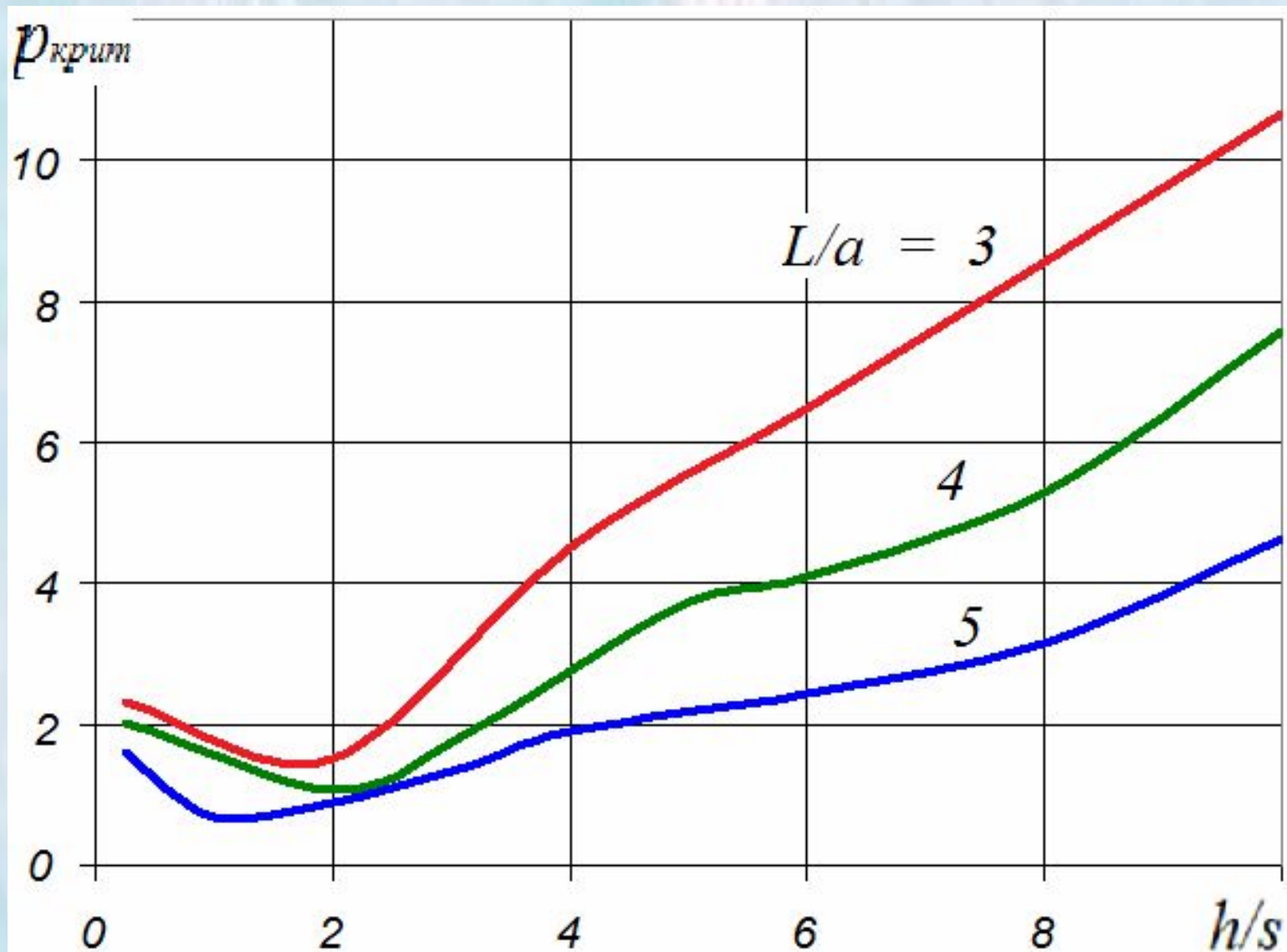
3. ВЛИЯНИЕ ПОГИБИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПЛАСТИН

Выполнены расчёты критических нагрузок для двух случаев:

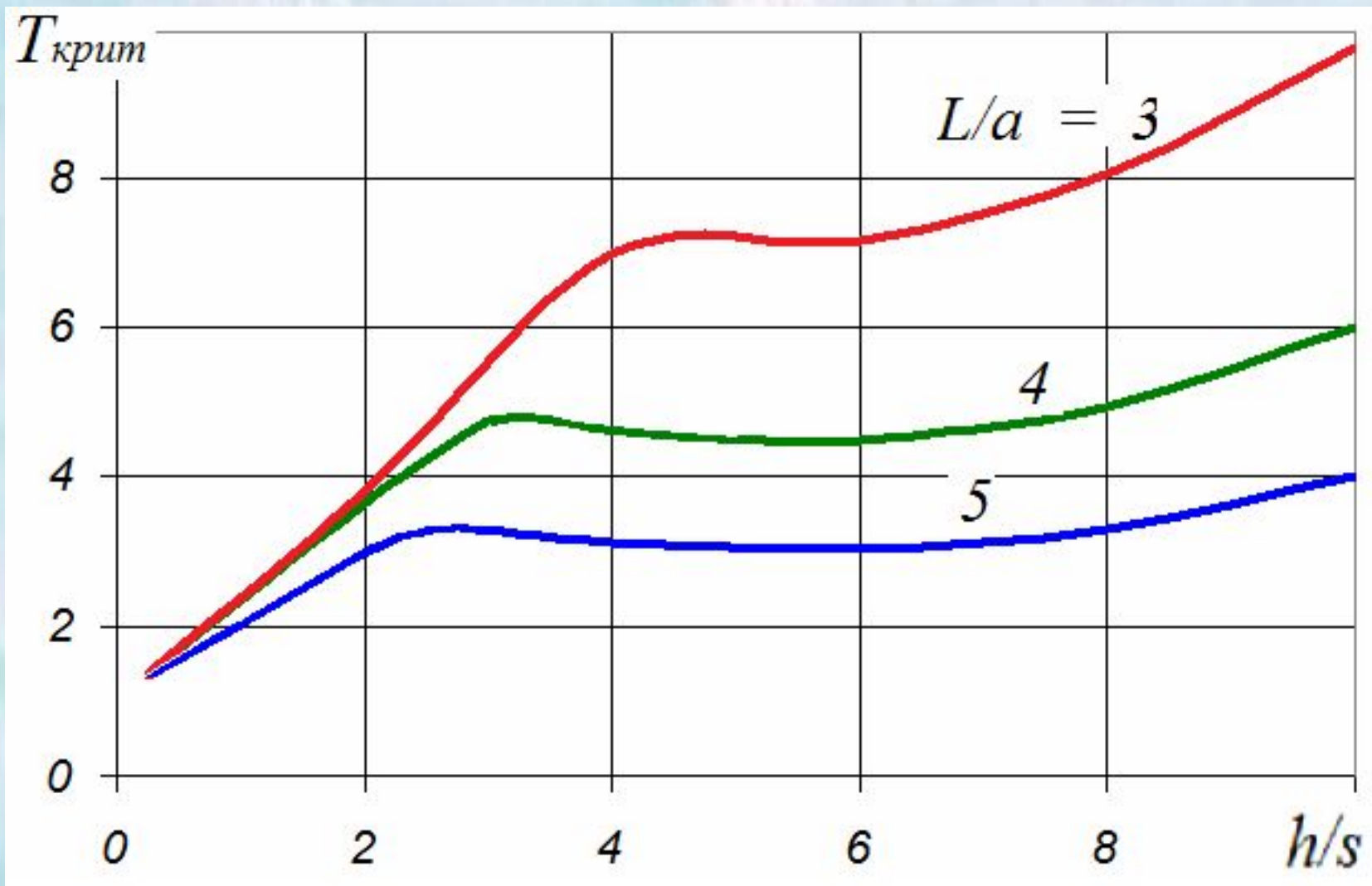
- 1) при сжатии равномерной продольной нагрузкой (вдоль гофров);
- 2) при поперечном равномерном давлении с выпуклой стороны пластин.



Критическое давление при различном удлинении пластин



Критическая продольная сила при различном удлинении пластин

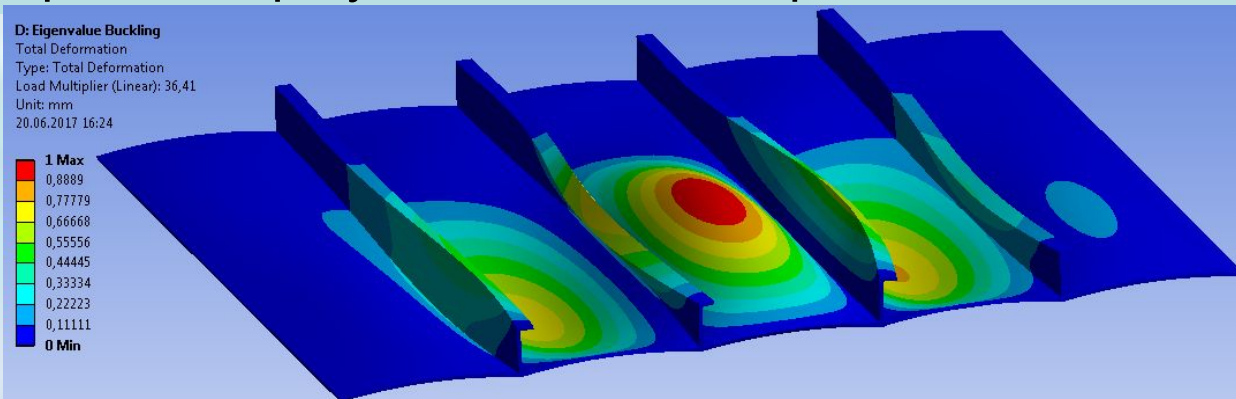


Выводы:

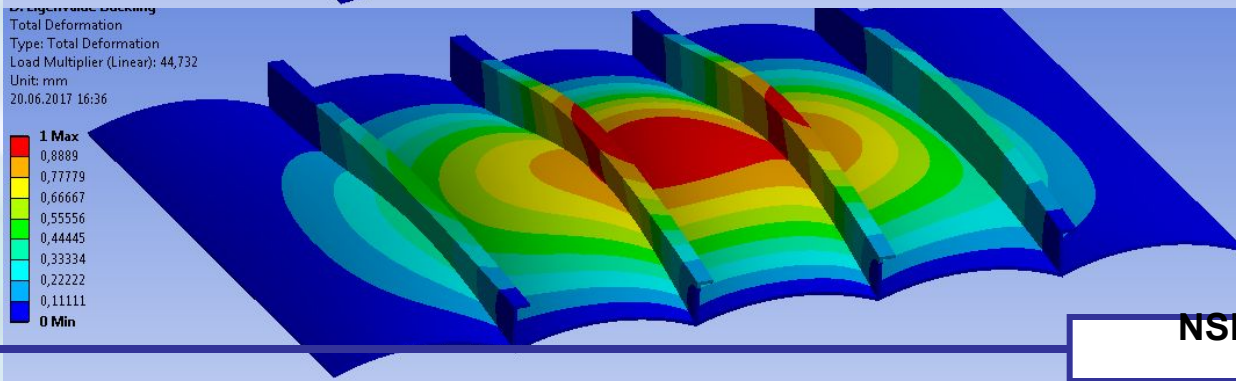
- ✓ Продольная устойчивость уже при малой погиби существенно увеличивается. При этом устойчивость панелей теряется с изгибом ребер жесткости;
- ✓ При поперечном давлении на панель с малой погибью (порядка толщины обшивки) теряют устойчивость пластины. С увеличением погиби формы потери устойчивости не симметричны, с завалом ребер жесткости. При $h/s > 5$ теряется устойчивость с в основном в виде завала ребер.

Формы потери устойчивости от продольного сжатия:

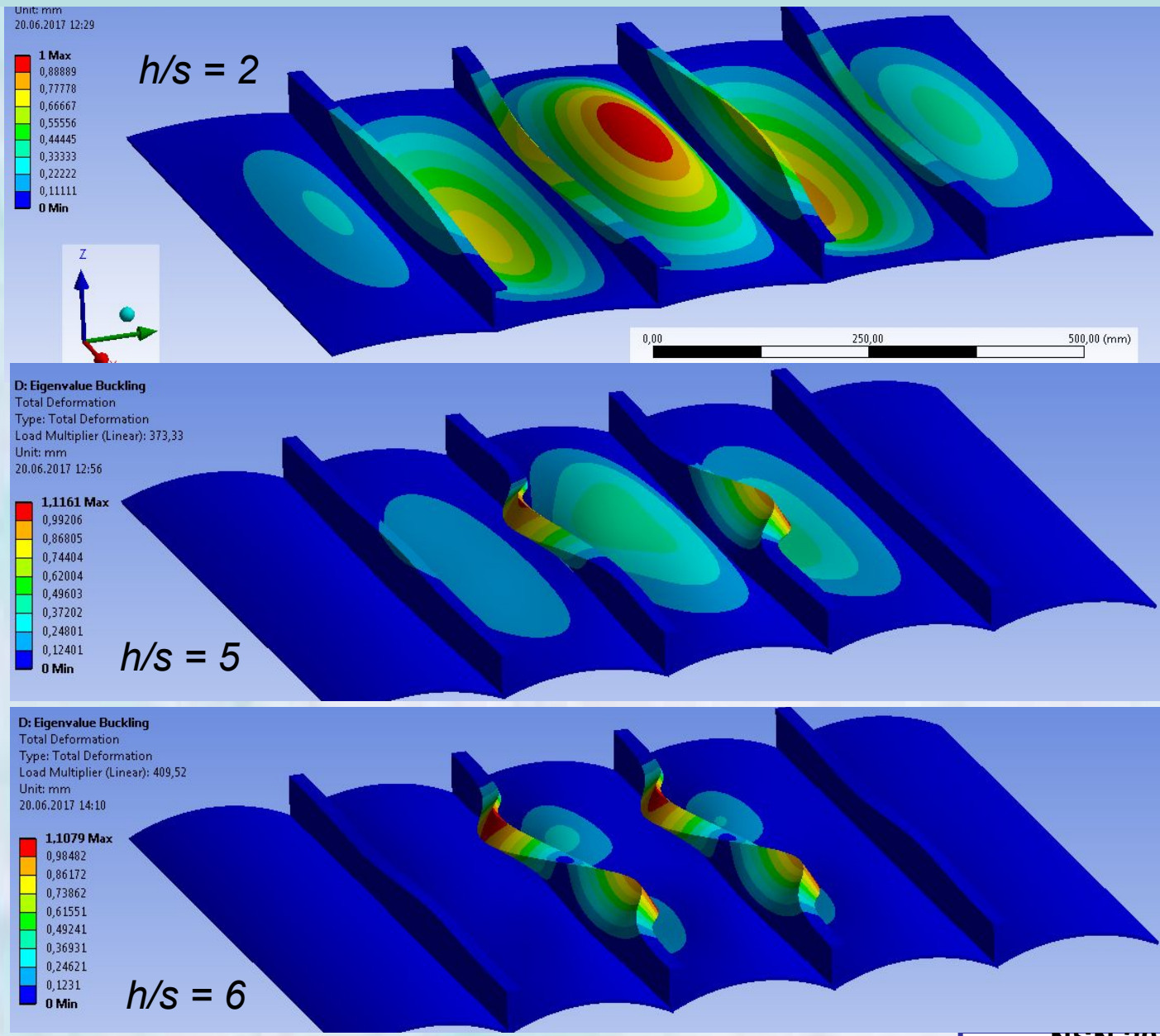
$h/s = 2$



$h/s \geq 3$



Формы потери устойчивости от поперечного давления:

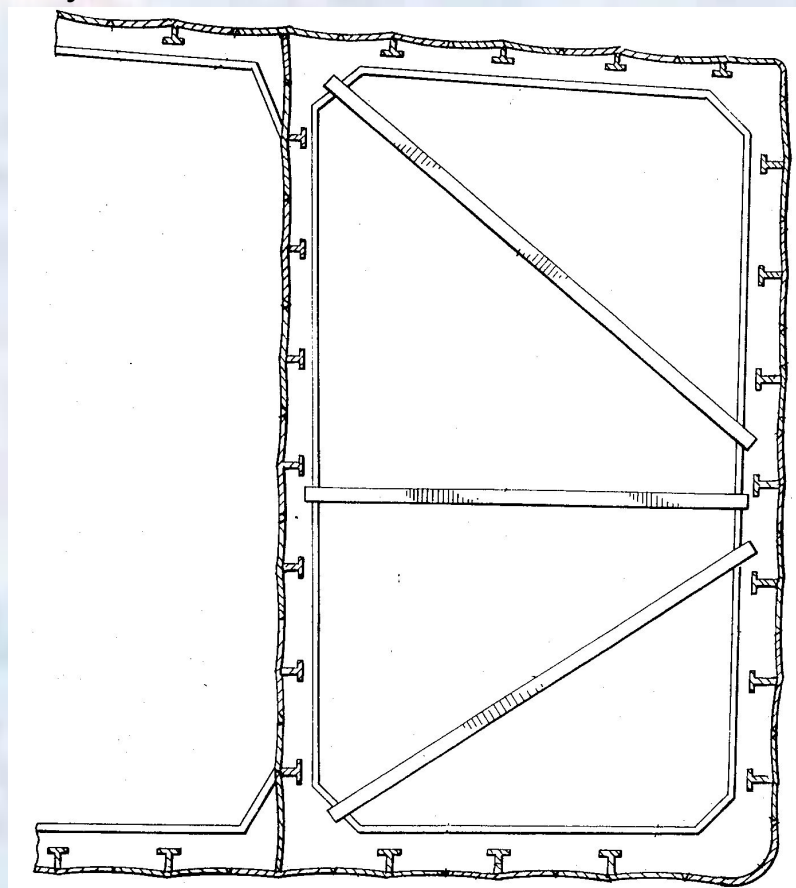
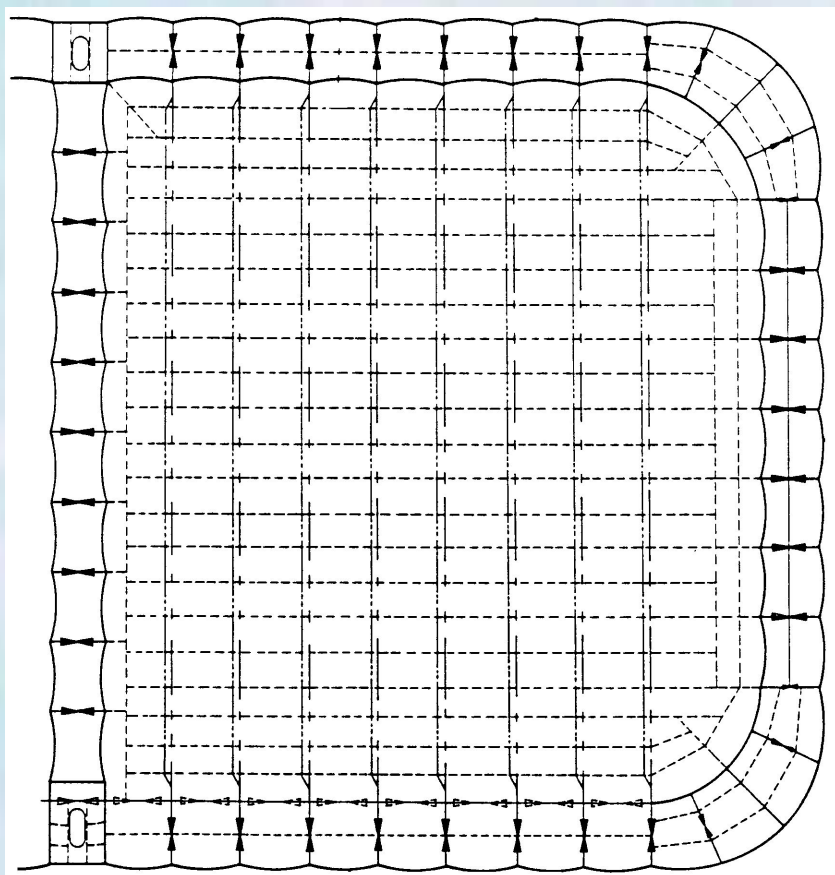


4. ВАРИАНТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОБШИВКИ С ПОГИБЬЮ ПЛАСТИН

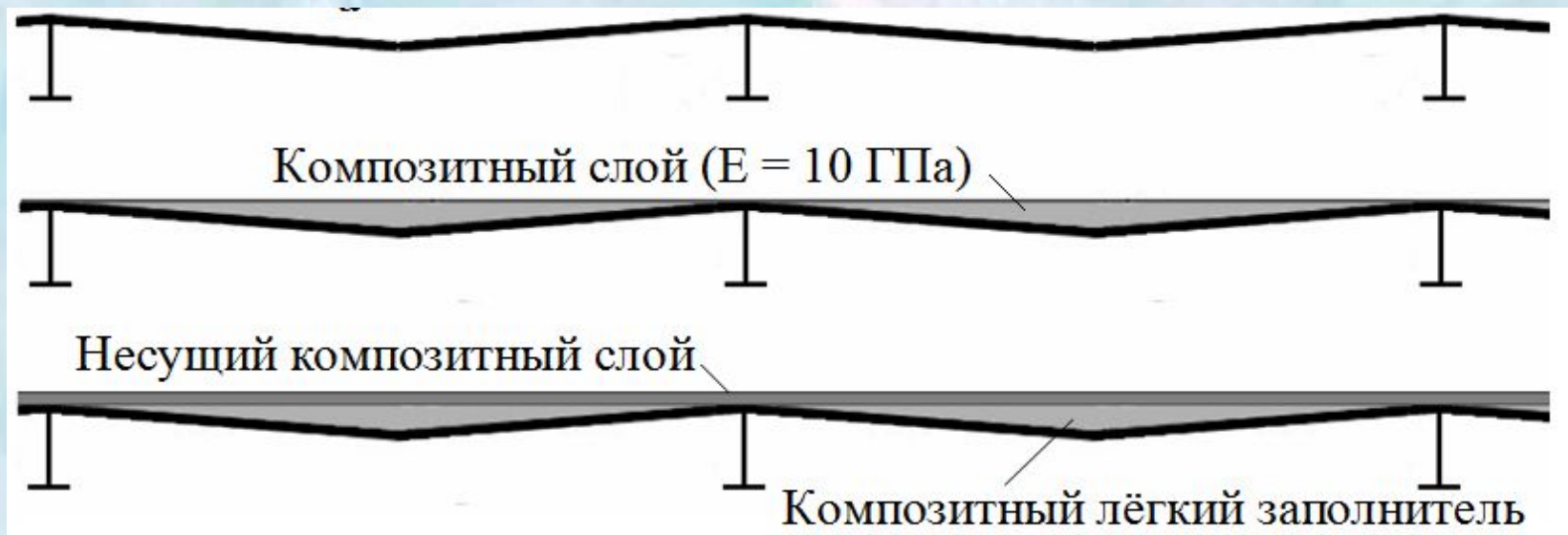
Конструкции корпуса корабля с гофрированной обшивкой неоднократно предлагались:

Goldbach R.A., Salzer R., McConnell F.E. Vessel hull structure and method. Патент на изобретение № EP0646521. Опубликовано: 5.04.1995.

Tornay E. G. Vessel hull and bulkheads construction employing curved plating. Патент на изобретение № US4638754 A. Опубликовано: 27.01.1987.



Варианты гофрированной обшивки

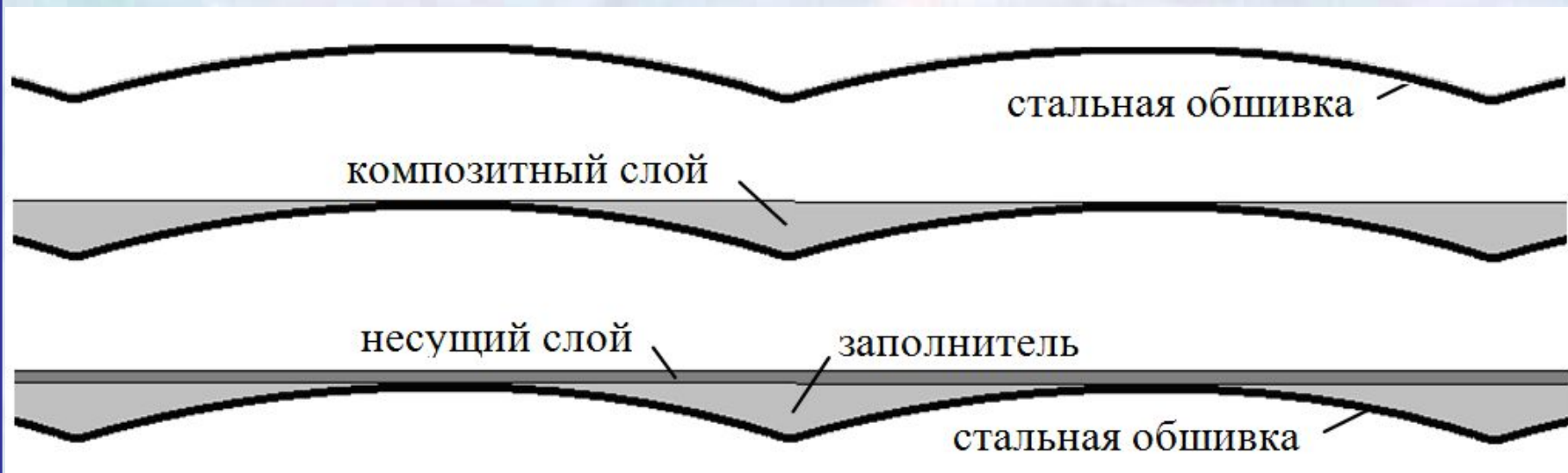


Композитный слой обеспечивает сплошную опору пластин, что дополнительно существенно повышает местную устойчивость.

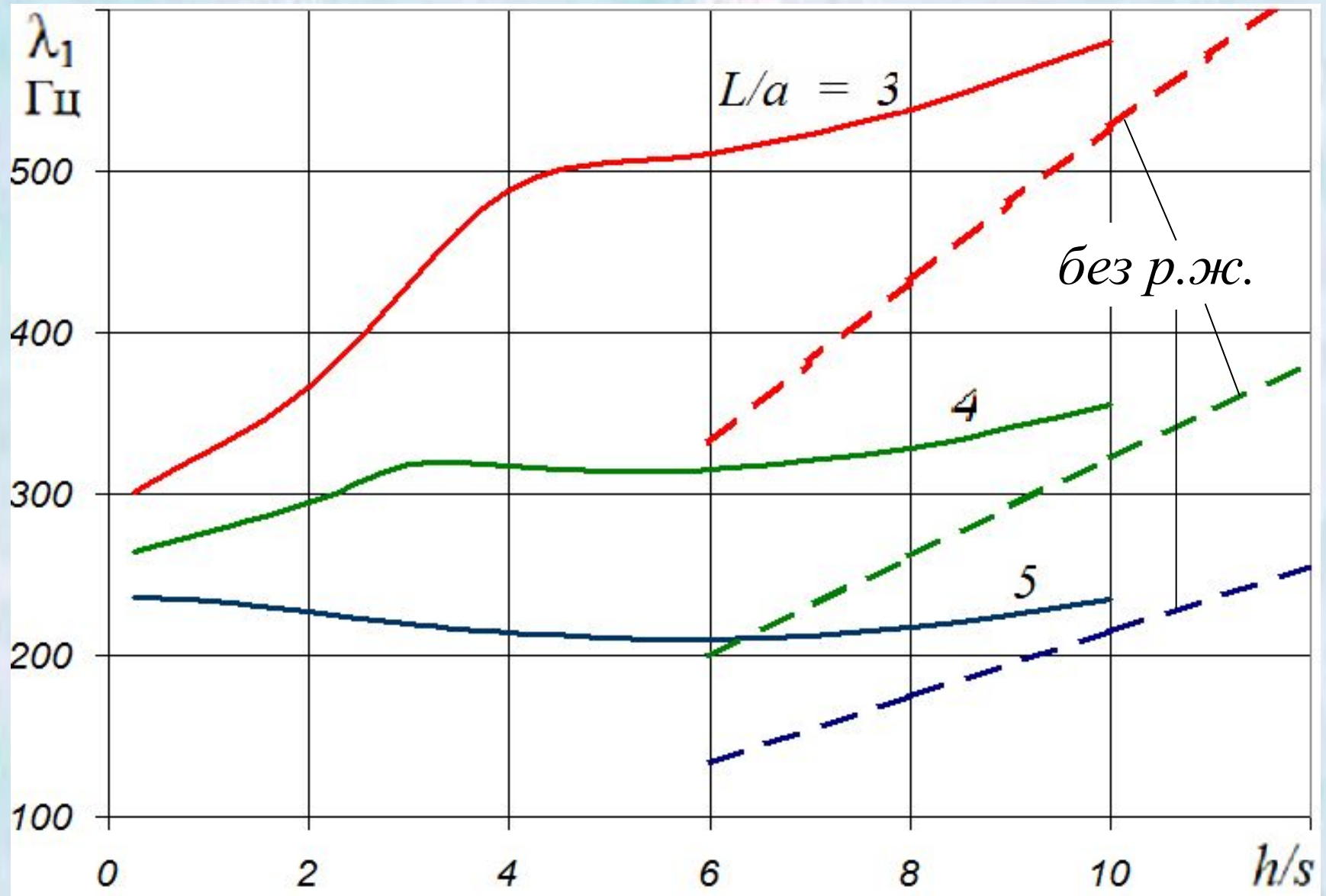
Из работы:
SSC-455 Feasibility, Conceptual Design and Optimization of a Large Composite Hybrid Hull // Ship Structure Committee Technical Report, 2008.

При относительной высоте гофров $h/s \geq 10$ наличие продольных рёбер жесткости относительно мало влияет на низшие собственные частоты и на критические усилия.

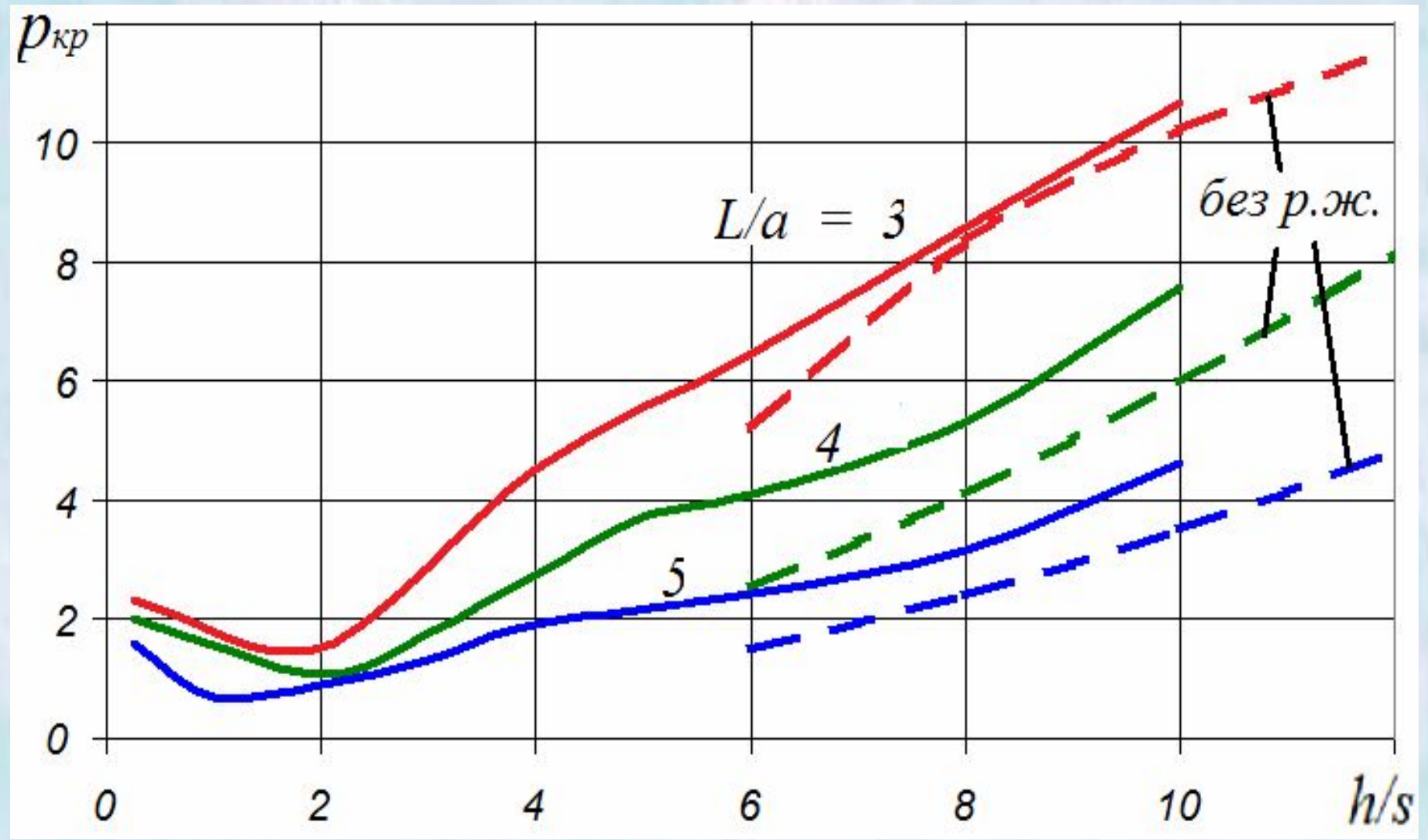
Таким образом, при применении гофрированной обшивки с высотой гофров $h/s > 10$ предпочтительной является конструкция без рёбер жёсткости, но с уменьшенной шпацией рамного поперечного набора.



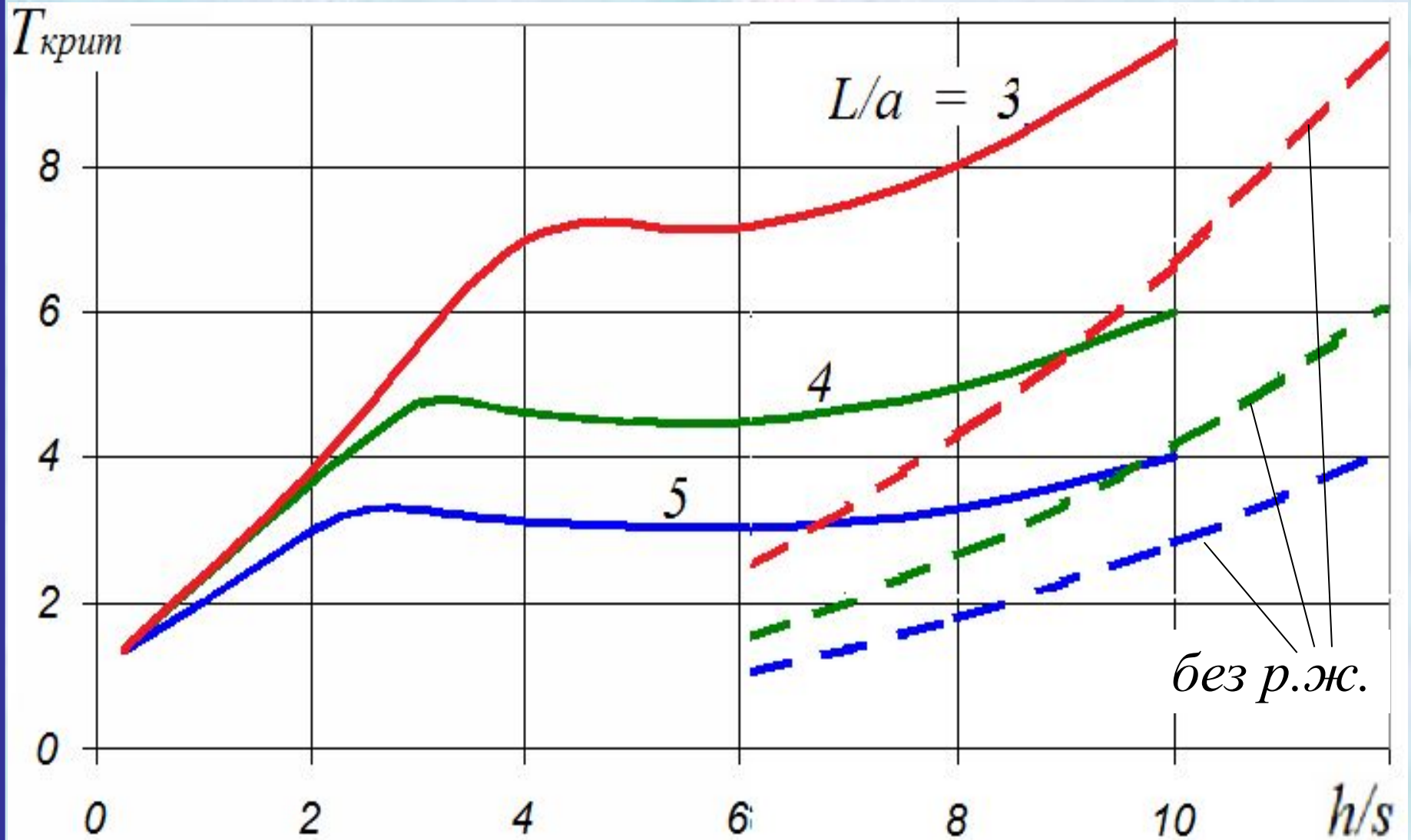
Собственная частота первого тона



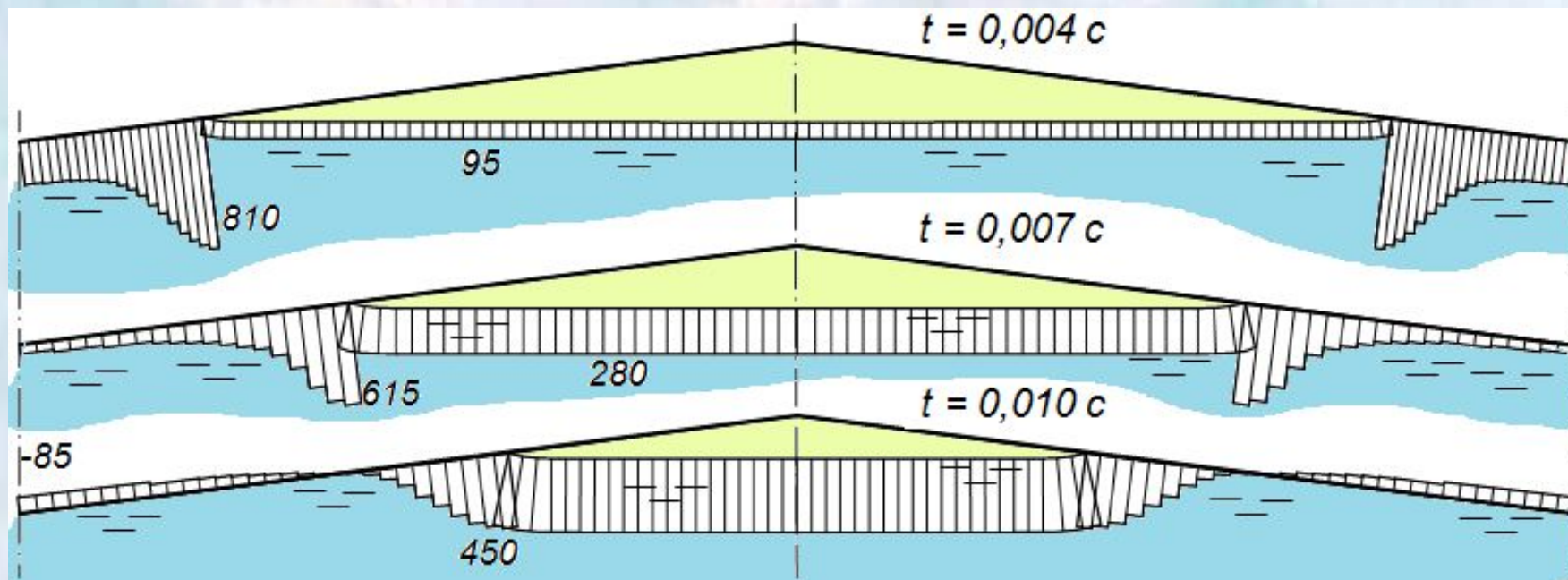
Критическое давление



Критическая продольная сила



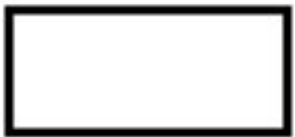


Изогнутая обшивка при плоском ударе о воду (например, при днищевом слеминге), испытывает меньшие гидродинамические давления вследствие образования воздушных каверн во впадинах гофров и исключения кумулятивных давлений.



Из работы:

Тарануха Н.А., Чижумов С.Д. Численное моделирование падения на воду тела с гофрированным днищем // Прикладная механика и техническая физика. 2001. Т. 42, № 4. С. 112-118.

При гофрированной обшивке значительно повышается несущая способность на действие поперечной нагрузки:

Варианты расчётных схем		$p = 100 \text{ кПа}$	$\sigma_{\max}, \text{ МПа}$
1	Жёстко заделанная по кромкам плоская пластина размером 1400x700 мм		131
2	Та же пластина с одним ребром жёсткости, делящим её на квадраты		68
3	Волнистый гофр высотой 100 мм, длиной 1400 мм и шириной 700 мм, жёстко заделанный по коротки кромкам		43

Из работы:

Чижиумов С.Д. Некоторые предложения по конструированию носовых днищевых перекрытий // Сборник трудов НТО им. акад. А.Н. Крылова, Владивосток, ДВГТУ, 2001.

An aerial photograph of a lush green forest. A narrow path or streambed winds through the trees, leading towards a waterfall in the distance. The water is white and frothy as it falls. The surrounding forest is dense and vibrant green.

Thank you for attention