



УДК: 539.3

Н.М. Якупов – доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией

E-mail: YZSRR@kfti.knc.ru

Лаборатория нелинейной механики оболочек Института механики и машиностроения
Казанского научного центра Российской академии наук

**НЕЛИНЕЙНАЯ МЕХАНИКА ОБОЛОЧЕК:
ИСТОРИЯ, ОСНОВАТЕЛИ, НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ.**

К 110-летию Х.М. Муштари, 100-летию К.З. Галимова, 90-летию М.С. Корнишина

АННОТАЦИЯ

Фрагменты рождения оболочек и нелинейной теории оболочек. Информация об основателях нелинейной теории оболочек. Некоторые направления развития.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: оболочки, тонкостенные конструкции, Х.М. Муштари, К.З. Галимов, М.С. Корнишин.

N.M. Yakupov – doctor of the technical sciences, professor, chief laboratory

Laboratory Nonlinear Mechanics of Shell Institute Mechanical engineers and Machine building of Kazan Scientific Centre of Russia Academy of Sciences

**THE NONLINEAR MECHANICS OF SHELLS:
HISTORY, FOUNDERS, DEVELOPMENT DIRECTIONS.**

To Kh.M. Mushtari's 110 anniversary, K.Z. Galimov's 100 anniversary, M.S. Kornishin's 90 anniversary

ABSTRACT

Fragments of a birth of covers and the nonlinear theory of covers. The information on founders of the nonlinear theory of covers. Some directions of development.

KEYWORDS: shells, thin-walled construction, Kh.M. Mushtari, K.Z. Galimov, M.S. Kornishin.

1. Улица Муштари. Одна из красивейших улиц Казани носит имя Муштари (рис. 1). Кто же такой Муштари? Чем он прославился? За какие заслуги его имя так возвеличили?



Рис. 1. Улица Муштари

Мы постараемся кратко ответить на эти и другие вопросы, связанные с деятельностью Х.М. Муштари, его соратников и последователей, а также расскажем о некоторых направлениях развития его идей.

2. Оболочки, оболочечные конструкции, тонкостенные конструкции. Эти слова каждый из нас слышит с малых лет. Они уже привычны для нас. Мы с детства знакомы с природными оболочками – это и скорлупа яйца, это и орехи, это и ракушки, это и корпус морских гребешков, это и панцирь черепахи, это и убежище улитки, это и стебель колоса злаков и т.д. (рис. 2). Эти природные конструкции, предназначенные для выполнения определенных функций, очень прочны и относительно легки.

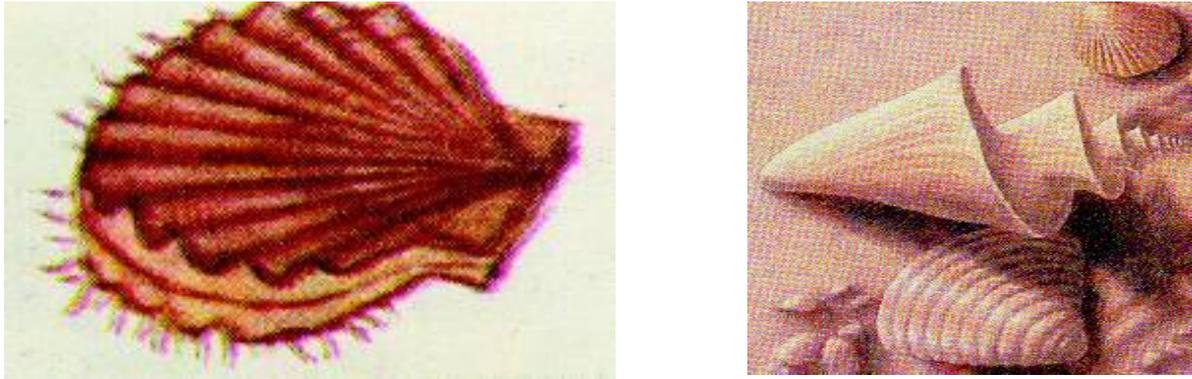


Рис. 2. Природные оболочки

3. Рукотворные оболочки, тонкостенные конструкции. Если земные природные конструкции появились сотни тысяч лет назад, то история рукотворных тонкостенных конструкций очень коротка. Тонкостенные конструкции, сочетающие в себе легкость с высокой прочностью, начали находить широкое применение в строительстве и машиностроении буквально в XIX-XX веках нашей эры. Это покрытия зданий и сооружений, корпуса летательных аппаратов и судов, резервуары и трубопроводы (рис. 3).

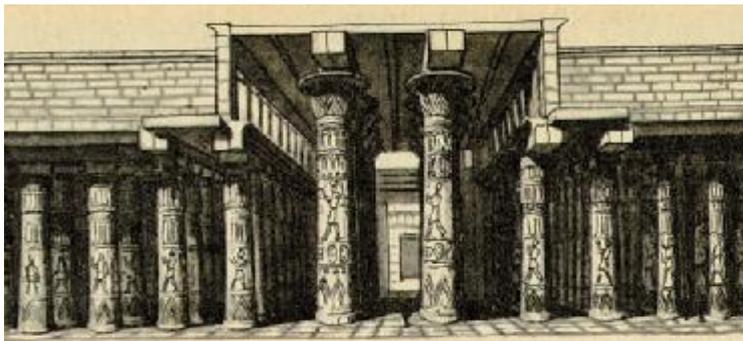


Рис. 3. Рукотворные оболочки

4. Из истории рождения оболочек. Путь человечества к современным тонкостенным конструкциям был непростым. Фрагменты из истории рождения строительных конструкций отражены, в частности, в книгах [1-2].

В Древнем Египте сооружали грандиозные каменные пирамиды и массивные храмы (рис. 4 а, б). Древние греки прославились строительством великолепных храмов (рис. 4 в). Они, как и древние египтяне, имели представление об арках и сводах.

а)



б)



в)



Рис. 4. Рукотворные оболочки

Однако эти конструкционные элементы получили широкое распространение лишь в Древнем Риме, чему способствовало изобретение бетона. «Симфониями» из арок являются акведуки (рис. 5) и Колизей. Применение арочных структур было началом использования пространственных искривленных конструкций в строительном деле, когда для обеспечения прочности впервые «запрягли» форму поверхности.

В Древнем Риме был сделан большой скачок в строительном деле – появились первые крупные каменные полусферические купола – первые оболочки из камня. Ярким примером каменного купола стало одно из величественных зданий Рима – Пантеон (рис. 6), который до XIX века нашей эры был непревзойденным примером большого пространственного покрытия.

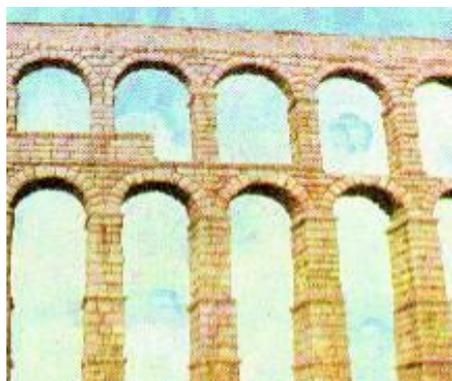


Рис. 5. Римские акведуки

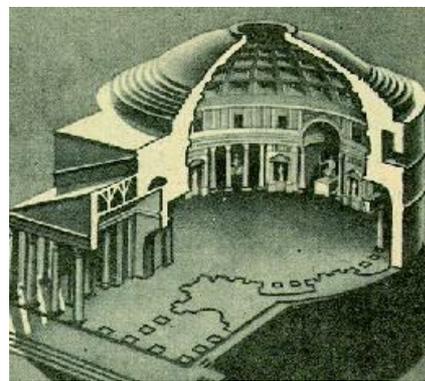


Рис. 6. Римский пантеон (макет)

В архитектуре исламских стран, наряду с полусферическими куполами, широкое распространение получили пологие купола, появились арки с заостренным контуром. Новые формы имели большую выразительность и выгодно отличались в прочностном отношении. Начиная с XII века, начали строить двухслойные купола, между которыми размещали деревянные элементы связи. За счет этого прочность конструкций значительно повышалась. Появились и купола с различной гофрировкой по окружной координате, что значительно упрочняло конструкцию купола в целом (рис. 7).



Рис. 7. Арки с заостренным контуром и купола

Архитекторы эпохи Возрождения, используя колоннады, арочные галереи, своды и купола, придали своим постройкам величественность и гармоничность. Затем пришел стиль барокко, рококо и классицизм (рис. 8). Произошел возврат к античным строительным конструктивным элементам на новом уровне, их сочетание и противопоставление, а также вариация конструктивных элементов из различных эпох и стилей.



Рис. 8. Купола эпохи Возрождения

Крупный скачок в строительном деле был сделан в середине XIX века. Здесь революционную роль сыграл железобетон. Относительная толщина покрытий значительно снизилась. Следующим шагом было использование металлических покрытий (рис. 9). Они выгодно отличаются относительной легкостью, удобством сборки и позволяют реализовать сложные формы. К металлическим покрытиям относятся и мембранные покрытия. Если сравнить тонколистовое мембранное покрытие с пространственным железобетонным покрытием, то эффект очевиден – достигается выигрыш в массе на порядок.

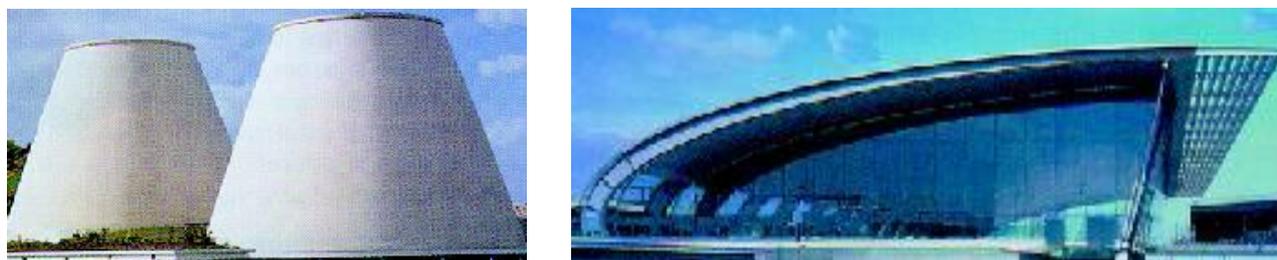


Рис. 9. Металлические покрытия

5. Рождение нелинейной теории оболочек. В связи с запросами практики в начале XX века были заложены основы теории пластин и оболочек. Были сформулированы простейшие геометрические и физические соотношения и получены уравнения равновесия. Это так называемая линейная теория оболочек. Несмотря на использование простейших соотношений, уравнения теории оболочек были сложными и громоздкими. Однако простейшие соотношения, заложенные в линейной теории оболочек, не могли дать ответ на многие вопросы практики. Диалектика развития подсказывала необходимость использования более точных геометрических и физических соотношений. Поэтому естественным направлением развития стала нелинейная теория оболочек: теория оболочек, в которой учитываются нелинейные компоненты в геометрических соотношениях (соотношения между деформациями и компонентами перемещений) и физических соотношениях (соотношения между напряжениями и деформациями). Разрешающие уравнения при этом многократно усложнялись и приводили в ужас человека, который впервые знакомился с ними. Для решения поставленных задач создавались различные научные лаборатории.

В 1946 году во вновь образовавшемся Физико-техническом институте Казанского филиала АН СССР для решения актуальных проблем механики тонкостенных конструкций и развития нелинейной механики тонкостенных конструкций был образован сектор механики, который возглавил профессор Хамид Музафарович Муштари. В апреле 1946 года решением Президиума АН СССР он назначается также директором Физико-технического института Казанского филиала АН СССР. В 1965 году сектор механики преобразуется в отдел теории оболочек (руководитель Х.М. Муштари), а одну из двух лабораторий отдела (лабораторию статики и динамики оболочек) возглавил М.С. Корнишин. В 1971 году лабораторию статики и динамики оболочек переименовывают в лабораторию нелинейной теории оболочек, которая впоследствии получила название лаборатории нелинейной механики оболочек. С 1988 года лабораторию нелинейной механики оболочек возглавляет Н.М. Якупов.

Первыми сотрудниками сектора механики были К.З. Галимов, Г.П. Цыбульский, С.Г. Винокуров, Р.Г. Суркин, несколько позже начали работать И.В. Свирский (1947 г.) и М.С. Корнишин (1951 г.). Наряду с теоретическими выполнялись и экспериментальные исследования. В 1952 году М.С. Корнишин стал руководителем экспериментальных работ по прочности и устойчивости оболочек. Первые экспериментальные исследования были выполнены М.С. Корнишиным, Ф.С. Исанбаевой, М.А. Ильгамовым и Р.Г. Суркиным. Небольшая информация об этом имеется, в частности, в книгах [3-7].



Профессор МУШТАРИ Хамид Музафарович родился 22 июля 1900 года в городе Оренбурге. В 1929 году успешно защитил кандидатскую диссертацию. В 1939-1940 гг. им были составлены сборники татарских терминов по физике и метеорологии.

В научных работах, выполненных в 1934-1938 годах, Х.М. Муштари заложил основы современной нелинейной теории тонких оболочек. Наиболее полно теория представлена в его известной докторской диссертации «Некоторые обобщения теории тонких оболочек с приложениями к задаче устойчивости упругого равновесия» [8], успешно защищенной им в 1938 году в Московском государственном университете.

С 1946 года до конца своей жизни Х.М. Муштари работал в Казанском физико-техническом институте КФ АН СССР, который он возглавлял более четверти века. Скончался Хамид Музафарович 23 января 1981 года.

Научные результаты, полученные Х.М. Муштари, вошли в золотой фонд науки. В течение ряда лет он возглавлял секцию теории оболочек Научного совета АН СССР по проблеме «Научные основы прочности и пластичности». Будучи крупным ученым, педагогом и организатором, Хамид Музафарович принимал активное участие в общественной жизни. Заслуги Х.М. Муштари отмечены орденами Ленина, Трудового Красного Знамени, «Знак Почета» и многочисленными медалями. Заслуженный деятель науки и техники ТАССР, Заслуженный деятель науки и техники РСФСР.

В 1935-1960 годы под руководством профессора Х.М. Муштари была разработана общая нелинейная теория упругих оболочек – теория, в которой в качестве геометрических соотношений использовались уточненные нелинейные соотношения. Среди фундаментальных работ Х.М. Муштари (рис. 10) [8-11] особое место занимает написанный им совместно с К.З. Галимовым капитальный труд «Нелинейная теория упругих оболочек» [9]. Монография [9], переизданная за рубежом [10], стала настольной книгой для многих специалистов.

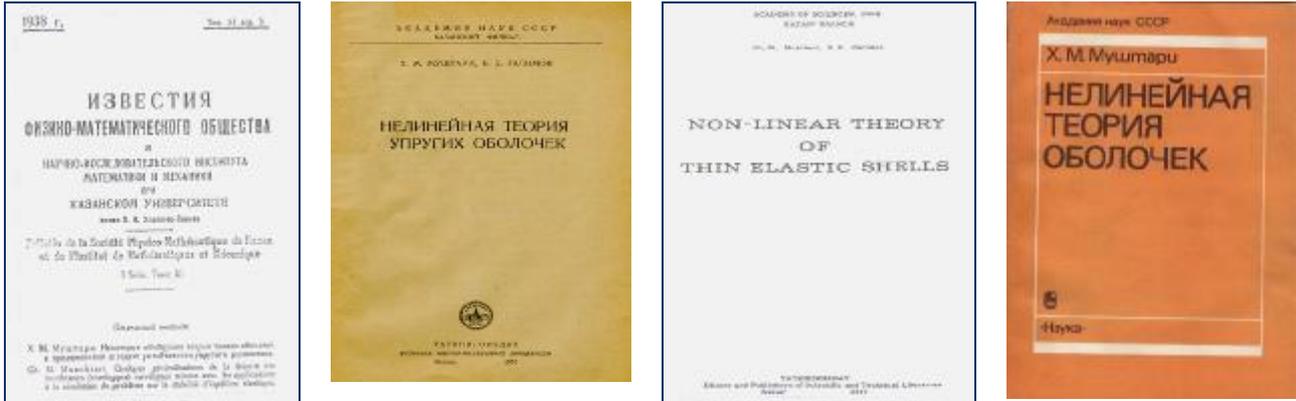


Рис. 10. Фундаментальные труды Х.М. Муштари



Профессор ГАЛИМОВ Курбан Закирович родился 31 декабря 1909 года в д. Сосмак Вятско-Полянского района Кировской области. Осенью 1930 года поступил в Казанский государственный университет. В 1939 году защитил кандидатскую диссертацию по теории пластичности. В 1958 году ему присуждена ученая степень доктора физико-математических наук. Итогом совместных исследований с Х.М. Муштари явилась монография «Нелинейная теория упругих оболочек» [9]. К.З. Галимов – автор монографии [12]. Организатор и редактор сборника «Исследования по теории пластин и оболочек». Награжден медалями «За доблестный труд во время Великой Отечественной войны 1941-1945 гг.» и «Ветеран труда». Заслуженный деятель науки и техники ТАССР, Заслуженный деятель науки и техники РСФСР.

6. Этапы развития:

6.1. Разработка методов расчета на базе нелинейной теории оболочек. Нелинейная теория упругих оболочек интенсивно развивалась. С 1960-1980 годов начался этап применения этой теории для непосредственного решения практических задач. Наряду с решением частных нелинейных задач, развивались методы расчета, рассматривались вопросы сходимости, в частности, в работах М.С. Корнишина и Ф.С. Исанбаевой [13-14].



Профессор КОРНИШИН Михаил Степанович родился 21 ноября 1920 г. в с. Турдаково Чувашской АССР. В 1951 году поступил на работу в сектор механики КФТИ КФ АН СССР. В 1954 году успешно защитил кандидатскую, а в 1963 году – докторскую диссертации в области нелинейной механики оболочек. Прошел путь от младшего научного сотрудника (1951 г.) до заведующего лабораторией (1965-1976 гг.), заведующего отделом теории оболочек (1976-1987 гг.) и главного научного сотрудника (1988-1991 гг.). Скончался М.С. Корнишин 28 апреля 1991 года.

Им опубликовано 4 монографии. В конце 1950-х годов для решения задач нелинейной механики оболочек М.С. Корнишин начал использовать электронно-цифровые вычислительные машины

(ЭЦВМ). Заслуги М.С. Корнишина в научной и общественной деятельности отмечены медалью «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг.», Орденом Трудового Красного Знамени и медалями. Заслуженный деятель науки и техники ТАССР, Заслуженный деятель науки и техники РСФСР.

Появились первые работы Х.М. Муштари, рассматривающие вопросы оптимизации пластин и оболочек. Развивались вариационные методы анализа деформации оболочек, например, в работах И.В. Свирского [15]. Открывались новые направления исследования оболочек. Проблемы динамического поведения оболочек, содержащих жидкость и газ, были рассмотрены М.А. Ильгамовым [16]. Некоторые вопросы изгиба и устойчивости тонких пластин и оболочек с учетом ползучести приведены в работах И.Г. Терегулова [17]. Поведение трехслойных оболочек было рассмотрено, в частности, в работах Х.М. Муштари, М.А. Ильганова, Н.К. Галимова и др. [8-11, 18].

Особое влияние на развитие нелинейной теории оболочек оказало бурное вторжение электронно-вычислительных машин в вычислительные процессы. К 1980 годам были созданы численные методы и алгоритмы, которые позволяли решать задачи устойчивости, определять напряженно-деформированное состояние тонкостенных конструкций канонической геометрии.

6.2. Разработка методов расчета оболочек сложной геометрии. Среди тонкостенных конструкций особенно эффективными по своим характеристикам являются оболочки сложной геометрии. В этом отношении особое значение приобретает форма конструкции. Известный испанский архитектор Эдуардо Торроха о значении формы конструкции для обеспечения необходимой жесткости и прочности отмечал: *"Лучшим сооружением является то, надежность которого обеспечивается главным образом за счет его формы, а не за счет прочности его материала"*. Современные конструкции, как строительные, так машиностроительные, могут иметь самые разнообразные геометрические формы и структуру (рис. 11). Возникла необходимость разработки методов расчета оболочек сложной геометрии. Для решения проблемы пытались развивать различные подходы: например, метод конечных элементов (МКЭ) [19], подход предварительной параметризации, развитый, в частности, М.С. Корнишиным, В.Н. Паймушиным, В.Ф. Снигиревым [20].



Рис. 11. Покрытия сложной геометрии

Эффективным оказался сплайновый вариант метода конечных элементов, в котором используется синтез идей предварительной параметризации срединной поверхности оболочек сложной геометрии (рис. 12) и МКЭ [21-27].

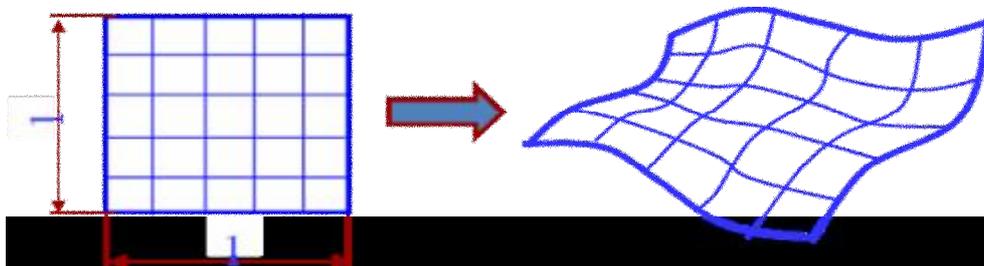


Рис. 12. Покрытия сложной геометрии

Сплайновый вариант метода конечных элементов реализован в виде комплекса программ для ЭВМ и был использован для анализа напряженно-деформированного состояния ряда конструкций из практики [26, 28-39]. Некоторые разработки из этого цикла отмечены в Отчетах РАН в 1999, 2001, 2002, 2004 годах, а также награждены медалями и дипломами Международных салонов и форумов:

- Серебряной медалью и Дипломом на 53-ем Всемирном Салоне инноваций, научных исследований и новых технологий "Брюссель-Эврика-2004", Брюссель (Бельгия);
- Серебряной медалью и Дипломом на 33-ом Международном Салоне изобретений, новой техники и изделий «Женева-2005», 2005 г., Женева (Швейцария);
- Медалью и Дипломом на Шестом Международном форуме “Высокие технологии XXI века” – «ВТ XXI-2005», 2005 г., Москва;
- Серебряной медалью и Дипломом на 12-ом Московском международном Салоне промышленной собственности "Архимед", 2009 г., Москва;
- Серебряной медалью и Дипломом II степени на XVI Международной выставке-конгрессе «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» (Hi-Tech), 2010 г., г. Санкт-Петербург.

6.3. Применение соотношений нелинейной теории оболочек для определения механических характеристик пленок и мембран. Среди тонкостенных конструкций особо выделяются пленочные и мембранные конструкции [40, 41]. Они находят широкое применение во всех отраслях производства и жизнедеятельности. Область применения мембранных конструкций постоянно расширяется.



Рис. 13. Пленочные конструкции

Современные достижения науки и техники дают реальную возможность получения и производства материалов со сложной структурой материала. Возникает проблема определения физико-механических свойств пленочных композиций сложной структуры и с неплоской исходной геометрией.

Стандартный способ испытания на растяжение неприменим [42]. В связи с этим разработан экспериментально-теоретический метод определения механических характеристик таких композиционных структур [40, 43-55]. При этом используются нелинейные соотношения теории оболочек и теории пластичности, получаемые из нелинейной теории оболочек, разработанной школой Х.М. Муштари.



Рис. 14. Примеры пленок со сложной структурой

Разработки по исследованию механических характеристик пленок и мембран выполняются в рамках программ Президиума РАН и Отделения ЭММПУ РАН (координаторы программ: академик РАН Морозов Н.Ф. и академик РАН Горячева И.Г.). Руководитель проектов – Н.М. Якупов (автор статьи).

Полученные результаты в составе комплексной разработки были отмечены в Отчете РАН за 2006 год: «Разработан экспериментально-теоретический метод определения механических характеристик пленок и мембран при двухосном нагружении... (ИММ КазНЦ РАН)», награждены **Серебряной медалью и Дипломом Всемирного Салона "Женева-2007"**. Высокий уровень разработки отмечен также Дипломом Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якупов Н.М., Галимов Ш.К., Хисматуллин Н.И. От каменных глыб к тонкостенным конструкциям. – Казань: Изд-во "SOS", 2001. – 96 с.
2. Якупов Н.М. Строительные конструкции: этапы и перспективы развития. Учебное пособие / Под ред. проф. Сучкова В.Н. – Казань: КазГАСУ, 2006. – 154 с.
3. Якупов Н.М. О некоторых работах по расчету оболочек сложной геометрии // Исследования по теории оболочек: Труды семинара. Вып. 25. КФТИ КФАН СССР, 1990. – С. 43-55.
4. Ганеева М.С., Якупов Н.М. Исследования по теории пластин и оболочек в КФТИ – ИММ КНЦ РАН (1946-1995) // Обзоры исследований по механике сплошной среды. К 50-летию КНЦ РАН. – Казань: КНЦ РАН, 1995. – С. 7-46.
5. Ильгамов М.А. Профессор Х.М. Муштари. – М.: Наука, 2001. – 192 с.
6. Якупов Н.М. Лаборатория нелинейной механики оболочек: история и разработки последних лет. ИММ КазНЦ РАН. – Казань: Изд-во КГУ, 2006. – 98 с.
7. Ильгамов М.А. Портреты современников. – М.: Физматлит, 2009. – 276 с.
8. Муштари Х.М. Некоторые обобщения теории тонких оболочек с приложениями к задаче устойчивости упругого равновесия // Изв. Физ.-мат. общества и НИИ математики и механики при Казанском ун-те. Сер. 3. 1938. Т. 11. – С. 71-150.
9. Муштари Х.М., Галимов К.З. Нелинейная теория упругих оболочек. – Казань: Таткнигоиздат, 1957. – 431 с.
10. Mushtari Kh.M., Galimov K.Z. Non-linear Theory of thin elastic Shells. Academy of Sciences, USSR Kazan Branch Tatknigoizdat. Editors and Publishers and Technical Literature. – Kazan, 1957.
11. Муштари Х.М. Нелинейная теория оболочек. – М.: Наука, 1990. – 223 с.
12. Галимов К.З. Основы нелинейной теории тонких оболочек. – Казань: Изд-во КГУ, 1975.
13. Корнишин М.С. Нелинейные задачи теории пластин и пологих оболочек и методы их решения. – М.: Наука, 1964. – 192 с.
14. Корнишин М.С., Исанбаева Ф.С. Гибкие пластины и панели. – М.: Наука, 1968. – 260 с.
15. Свирский И.В. Методы типа Бубнова-Галеркина и последовательных приближений. – М.: Наука, 1968.
16. Ильгамов М.А. Колебания упругих оболочек, содержащих жидкость и газ. – М.: Наука, 1969.
17. Терегулов И.Г. Изгиб и устойчивость тонких пластин и оболочек при ползучести. – М.: Наука, 1969.
18. Ильгамов М.А., Иванов В.А., Гулин Б.В. Прочность, устойчивость и динамика оболочек с упругим наполнителем. – М.: Наука, 1977. – 331 с.
19. Голованов А.И., Корнишин М.С. Введение в метод конечных элементов статики тонких оболочек. – Казань: КФТИ, 1989.
20. Корнишин М.С., Паймушин В.Н., Снигирев В.Ф. Вычислительная геометрия в задачах механики оболочек. – М.: Наука, 1989.
21. Якупов Н.М. Об одном методе расчета оболочек сложной геометрии // Исследования по теории оболочек. Труды семинара. – Казань: КФТИ КФАН СССР, 1984. Вып. 17. Ч. II. – С. 4-17.
22. Корнишин М.С., Якупов Н.М. Сплайновый вариант метода конечных элементов для расчета оболочек сложной геометрии // Прикладная механика, 1987, Т. 23, № 3. – С. 38-44.

23. Корнишин М.С., Якупов Н.М. Сплайновый вариант МКЭ в сферических координатах // Прикладные проблемы прочности и пластичности, 1988. – С. 74-80.
24. Корнишин М.С., Якупов Н.М. К расчету оболочек сложной геометрии в цилиндрических координатах на основе сплайнового варианта МКЭ // Прикладная механика, 1989, Т. 25, № 8. – С. 53-60.
25. Якупов Н.М., Серазутдинов М.Н. Расчет упругих тонкостенных конструкций сложной геометрии. – Казань: ИММ КазНЦ РАН, 1993. – 206 с.
26. Якупов Н.М. Прикладные задачи механики упругих тонкостенных конструкций. – Казань: ИММ КНЦ РАН, 1994. – 124 с.
27. Якупов Н.М., Киямов Х.Г., Галявиев Ш.Ш., Хисамов Р.З. Методы и подходы исследования напряженно-деформированного состояния конструкций сложной геометрии // Строительство. Известия вузов, 2002, № 8 (524). – С. 14-18.
28. Якупов Н.М., Галявиев Ш.Ш., Хисамов Р.З. Метод исследования напряженно-деформированного состояния конструкций сложной геометрии // Актуальные проблемы механики сплошной среды. – Казань: ИММ КазНЦ РАН, 2001. – С.147-158.
29. Якупов Н.М., Галявиев Ш.Ш. Метод исследования НДС тонкостенных конструкций сложной геометрии // Монтажные и специальные работы в строительстве, 2001, вып. 8-9. – С. 32-37.
30. Якупов Н.М., Галявиев Ш.Ш., Хисамов Р.З. Метод исследования напряженно-деформированного состояния конструкций сложной геометрии // Вестник РУДН. Инженерные исследования, 2002, вып. 1. – С. 27-31.
31. Низамов Х.Н., Сидоренко С.Н., Якупов Н.М. Прогнозирование и предупреждение коррозионного разрушения конструкций. – М.: Изд-во РУДН, 2006. – 355 с.
32. Якупов Н.М., Киямов Х.Г., Киямов И.Х., Якупов С.Н. Расчет напряженно-деформированного состояния элементов оболочек сплайновым вариантом метода конечных элементов // Известия КазГАСУ, 2007, № 1(7). – С. 35-42.
33. Якупов Н.М., Нургалиев А.Р., Нуруллин Р.Г., Якупов С.Н. Предотвращение разрушения строительных конструкций крупногабаритной градирни СК-1200 // IX Всероссийский съезд по теоретической и прикладной механике. – Н. Новгород: Изд-во Нижегородского государственного университета, 2006. – С. 160-161.
34. Корнишин М.С., Якупов Н.М. Сплайновый вариант МКЭ в сферических координатах // Прикладные проблемы прочности и пластичности. Всесоюзный межвузовский сборник, 1988.
35. Якупов Н.М., Сагадеев Р.Г. Расчет лопатки компрессорного колеса // Труды семинара. Вып. 21. – Казань, Горький, 1988.
36. Корнишин М.С., Якупов Н.М. Параметризация и расчет оболочек сложной геометрии // Матем. моделиров., методы решения и оптимальное проектир. гибких пластин и оболочек. Межвуз. науч. сб. Саратовского ун-та, 1988.
37. Yakupov N.M. The structures elements under the effect of the Temperature field // Research in hypersonic flows and hypersonic technologies, TsAGI, 1994.
38. Якупов Н.М., Киямов Х.Г., Якупов С.Н., Киямов И.Х., Мифтахутдинов И.Х. Способ параметризации поверхностей сложной геометрии // Математические методы в технике и технологиях. ММТТ-20. Сборник трудов. Том 4. Секция 5. – Ярославль: Изд-во Ярославского гос. технического университета, 2007. – С. 21-24.
39. Якупов Н.М., Нуруллин Р.Г., Якупов С.Н., Мифтахутдинов И.Х., Киямов Х.Г. Экспериментальный способ параметризации минимальных поверхностей со сложным контуром: Патент на изобретение РФ № 2374697. Опубл. 27.02.2009.
40. Якупов Н.М., Якупов С.Н. Методы расчета пленочных элементов конструкций: Учебное пособие. – Казань: КазГАСУ, 2007. – 117 с.
41. Якупов Н.М., Якупов С.Н. Пленки неоднородной структуры // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений, 2009, № 1. – С. 60-70.
42. Куприянов В.Н. Пленочно-тканевые материалы для строительных конструкций. – Казань: КИСИ, 1989. – 94 с.
43. Якупов Н.М., Нуруллин Р.Г., Галимов Н.К., Галявиев Ш.Ш. Способ определения прочностных свойств пленочных материалов: Патент РФ № 2184361 на изобретение.
44. Якупов Н.М., Нуруллин Р.Г., Нургалиев А.Р., Якупов С.Н. Способ определения прочностных свойств тонкослойных материалов: Патент РФ № 2310184 на изобретение.

45. Якупов Н.М., Куприянов В.Н., Нуруллин Р.Г., Якупов С.Н. Способ определения прочностных свойств тончайших пленок и нанопленок и устройство для его осуществления. Заявка на патент № 2007149083 / 28.
46. Якупов Н.М., Галимов Н.К., Леонтьев А.А. Экспериментально-теоретический метод исследования прочности полимерных пленок // Механика композиционных материалов и конструкций, 2000, т. 6, № 2. – С. 238-243.
47. Нурғалиев А.Р., Нуруллин Р.Г., Якупов Н.М., Якупов С.Н. Предотвращение разрушения строительных конструкций крупногабаритной градирни СК-1200 // IX Всероссийский съезд по теоретической и прикладной механике. Аннотации докладов. – Н. Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета им. Н.И. Лобачевского, 2006. – С. 160-161.
48. Якупов Н.М., Галявиев Ш.Ш., Нурғалиев А.Р., Якупов С.Н. Состояние конструкций градирен и предотвращение их разрушения // Проблемы энергетики, 2006, № 7-8. – С. 36-42.
49. Якупов Н. М., Куприянов В.Н., Якупов С.Н. К исследованию механических характеристик пленок и пленочных структур // Известия КазГАСУ, 2008, № 1(9). – С. 106-112.
50. Якупов Н.М., Нурғалиев А.Р., Якупов С.Н. Методика испытаний пленок и мембран в условиях равномерно распределенного поверхностного давления // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2008, т. 74, № 11. – С. 54-56.
51. Якупов Н.М., Нуруллин Р.Г., Якупов С.Н. Методология исследования механических характеристик тонких пленок и нанопленок // Вестник машиностроения, 2009, № 6. – С. 44-47.
52. Якупов Н.М., Якупов С.Н. Определение механических характеристик пленок с порами, нановключениями и нанопокрывтиями // Сборник тезисов докладов участников Второго Международного форума по нанотехнологиям. – М.: РОСНАНО, 2009. – С. 427-429.
53. Якупов С.Н. Способ определения механических характеристик тонких покрытий в системе «покрытие – подложка» // Сборник тезисов докладов участников Второго Международного конкурса научных работ молодых ученых в области нанотехнологий. – М.: РОСНАНО, 2009. – С. 488-489.
54. Yakupov N.M., Yakupov S.N. Definition of mechanical characteristics of films with the pores, nano-inclusions and nanocoatings // Abstracts. The second Nanotechnology International Forum. – М.: Rusnanotech, 2009. – P. 344-346.
55. Yakupov S.N. Way of definition of mechanical characteristics of thin coverings in system «the covering – the substrate» // Abstracts. The second International Competition of Scientific Papers in Nanotechnology for Young Researchers. – М.: Rusnanotech, 2009. – P. 439-440.