



ИВАН ГРИГОРЬЕВИЧ БУБНОВ

К столетию со дня рождения

(6(18) января 1872 г. – 13 марта 1919 г.)

Выдающийся отечественный ученый Иван Григорьевич Бубнов широко известен своими замечательными исследованиями в области механики и математики. Он известен еще и своими основополагающими опытно-конструкторскими работами в области подводного и надводного кораблестроения и, говоря современным языком, его по праву можно считать Главным конструктором и строителем военно-морского флота России.

И.Г. Бубнов родился в Нижнем Новгороде. Окончив реальное училище, он поступил на кораблестроительное отделение Кронштадтского технического училища Морского ведомства, которое с отличием окончил в 1891 г. Затем до 1894 г. служил младшим помощником судостроителя в С.-Петербургском военном порту, участвуя в постройке броненосцев "Сысой Великий" и "Полтава". В 1894–1896 гг. учился на кораблестроительном отделении Военно-морской академии, по окончании которой и до самой смерти работал в ней преподавателем.

В 1898 г. он был назначен старшим помощником судостроителя Балтийского судостроительного и механического завода, где служил до 1915 г. В 1903 г. определен начальником кораблестроительной чертежной Морского технического комитета, а в 1908–1915 гг. служил начальником Опытного бассейна.

И.Г. Бубнов любил преподавание и посвятил ему много сил и времени, работая в Военно-морской академии (1896–1919 гг.) и С.-Петербургском политехническом институте (1903–1915 гг.). Его лекции были посвящены широкому кругу проблем математики, механики, кораблестроения, но главные усилия были направлены на создание курса по теории упругости и строительной механике корабля, по проектированию судов. Изданные им курсы [1, 2] навеяны практикой проектирования и

строительства судов, содержат новые научные мысли о механических моделях стержней, пластин и оболочек и о характере оценки прочности судов. В этих курсах отражены предшествующие публикации автора по килевой качке на волнениях, проблеме спуска судна на воду, непотопляемости судов (проектирование поперечных перегородок), весовому анализу судна, нормам допускаемых напряжений в судостроении.

В 1904 г. И.Г. Бубнову присуждена ученая степень адъюнкта по прикладной механике на основании защиты диссертации. В 1906 г. ему присвоено звание экстраординарного профессора, в 1910 г. – ординарного, а в 1916 г. – заслуженного профессора Военно-морской академии. С 1912 г. он – генерал-майор Корпуса корабельных инженеров.

Умер И.Г. Бубнов в расцвете творческих сил.

Проектно-конструкторская деятельность. Создание рациональной расчетной модели оценки напряженно-деформированного состояния и прочности подводного и надводного корабля при общем и локальном воздействии – трудная научно-техническая проблема. Неумоимо работая в этой области, Бубнов разработал 48 проектов судов.

В 1900–1908 гг. Бубнов проектирует первые российские военные подводные лодки "Дельфин", "Касатка", "Минога", "Акула", "Барс", "Морж". С самого начала ему удалось создать перспективный тип конструкции – прототип, который давал возможность систематически модифицировать конструкцию. Тактико-технические данные лодок Бубнова были лучшими в то время. Лодка "Касатка" участвовала в боевых действиях в Русско-японской войне, а лодки "Акула" и "Барс" – в первой мировой и гражданской войнах.

Неоценимо значение Бубнова в создании новых надводных отечественных кораблей после Русско-японской войны. Он вышел на первое место в Международном конкурсе проектов линкоров, организованном Морским министерством России в 1907 г., после чего провел расчеты, выпустил проект и через два года под его руководством были заложены знаменитые линкоры "Севастополь" (после Октябрьской революции – "Парижская коммуна"), "Петропавловск" ("Марат"), "Полтава" ("Октябрьская революция"), "Гангут" и спустя некоторое время еще три линкора. При проектировании линкоров типа "Севастополь" Бубнов разработал продольную (стрингерную) систему набора, получившую вскоре название русской системы. Это был принципиальный шаг в сторону пересмотра архитектуры корабля, доставшейся от деревянного судостроения, что позволило существенно усилить продольную прочность корабля, снизить толщину обшивки корпуса, уменьшить массу поперечного набора и за счет этого укрепить корабль более мощной броней. Кроме того, Бубнов обосновал разделение корабля на отсеки, указал способ оптимального размещения вооружения на корабле, а также и выбора непроницаемых перегородок и палуб, оценил прочность судового набора, обосновал нормы допускаемых напряжений в элементах конструкций. Позднее (в 1911г.) Бубнов дал проект тяжелого крейсера типа "Измаил". Расчеты по линкорам опубликованы в пяти томах [3]. Общеизвестно, что указанные надводные корабли были в свое время лучшими в мире.

Отметим работу Бубнова [4], посвященную общим методам проектирования корабля и обсуждению построенного исходного корабля-прототипа на основании тезиса автора, что "всякий пригодный для осуществления проект представляет собою лишь развитие, изменение или усовершенствование уже существующего типа".

Исследования по механике деформируемого твердого тела. Огромную роль в развитии ряда разделов механики деформируемых сред сыграла статья Бубнова "Напряжения в обшивке судов от давления воды" [5] (1902 г.).

В ней впервые в мировой литературе изучаются конечные прогибы длинной тонкой упругой прямоугольной пластины при равномерном поперечном давлении и боковом равномерном сжатии. Автор исследует сопротивление листа при малых прогибах, когда лист следует теории Жермен – Лагранжа, при конечных прогибах, когда необходим учет изгиба и растяжения (сжатия) листа, и при больших прогибах, когда лист работает как мембрана. Последние два случая рассмотрены впервые.

Далее в этой статье Бубнов выводит уравнения конечного прогиба осесимметричной тонкой упругой круговой пластины при равномерном давлении в предположении, что радиальные и кольцевые усилия в плоскости пластины равны; дифференциальное уравнение задачи оказалось линейным, оно проинтегрировано автором. Впоследствии этот результат был положен в основу развития теории нелинейных пластин общего вида и породил обширную литературу. Сам автор изучил случай опертого и защемленного краев, разобрал случай мембраны и обобщил его на упругопластическое поведение материала. Изучив поведение пластической пластины у защемленного контура, он показал, что это закрепление переходит в шарнир. Таким образом, концепция пластического шарнира была дана Бубновым задолго до работы Г. Казинского (1914 г.), которого обычно полагают ее автором. Заметим также, что Бубнов впервые в теории пластичности ввел понятие секущего модуля [5]. Он решил задачу о прогибах жестких пластин при жестко защемленных краях, используя представление прогиба в двойных тригонометрических рядах. Следует отметить также, что уравнение для круговой пластины получено им [5] до работы А. Фёппля (1907 г.) для мембран и Т. Кармана (1910 г.) для гибких пластин. Следовательно, случай Бубнова вытекает из нелинейных уравнений Фёппля – Кармана, но изучен раньше.

Наконец, в той же статье [5] Бубнов изучил поведение удлиненной упругой тонкой пологой цилиндрической панели бесконечного размаха при равномерном поперечном давлении и равномерном боковом сжатии, вывел уравнения задачи и показал, что при сжимающих боковых усилиях возможно скачкообразное изменение прогиба (кривизны). Это не только первое в мире решение нелинейной задачи для оболочки, причем точное решение, но и описание нового процесса устойчивости оболочек путем скачка (или прощелкивания), описание не эйлеровой потери устойчивости при малых прогибах, а потери устойчивости при конечных прогибах. Для пологих стержней этот процесс был разобран позднее С.П. Тимошенко (1925 г. – нагретый биметалл, 1935 г. – однородный стержень). Заметим, что задача о прощелкивании при равномерном радиальном давлении сферической оболочки и при равномерном продольном сжатии цилиндрической оболочки изучена Т. Карманом и С.-С. Цзяном соответственно в 1939 и 1941 гг.

Во второй части задачи курса [2] Бубнов вводит метод расчета на прочность пластин, подкрепленных часто расположенными ребрами, который ныне известен как метод конструктивной анизотропии.

Вопросы устойчивости и поперечного изгиба нагруженных пластин рассмотрим ниже при изложении метода ортогонализации Бубнова.

Перейдем к статье Бубнова [6], в которой анализируется известное решение об эйлеровой форме потери устойчивости всесторонне нагруженной равномерным давлением упругой тонкой круговой цилиндрической оболочки. Введенные им предположения о возможности пренебрежения малыми членами и о значительном числе волн в окружном направлении, образующихся при потере устойчивости, в 30-х годах широко использовались при построении линейной и нелинейной теории оболочек (Х.М. Муштари, Л. Доннелл, К. Маргерр и др.).

Метод Бубнова решения дифференциальных уравнений. В 1911 г. С.П. Тимошенко подал свою монографию [7] на соискание премии имени знаменитого инженера Д.И. Журавского, установленную еще в 1902 г., но ни разу еще не присуждавшуюся. Четыре из представленных письменных отзывов на эту работу были опубликованы [8], присуждение (первое и последнее) премии состоялось в мае 1911 г. В отзыве Бубнова ([8], с. 33–36) и был впервые, не позднее мая 1911 г., сформулирован метод ортогонализации.

Бубнов полагал ([8], с. 33–36), что не следует прибегать к решению задач устойчивости стержней или пластин энергетическим способом, как это делает Тимошенко [7], а нужно в левую часть дифференциального уравнения $L(x, y) = 0$ ввести приближенное выражение для прогиба, удовлетворяющее контурным условиям и представляющее собой сходящийся ряд, $w(x, y) = a_1\varphi_1(x, y) + a_2\varphi_2(x, y) + \dots a_k\varphi_k(x, y) -$ функ-

ции координат, a_k – постоянные), затем умножить полученное выражение $L^*(x, y)$ на $\varphi_k(x, y)dxdy$ и проинтегрировать по площади срединной поверхности (a, b – размеры пластины в плане), причем

$$L^*(x, y) \neq 0, \quad \int_0^a \int_0^b L^*(x, y) \varphi_k(x, y) dxdy = 0 \quad (k = 1, 2, \dots)$$

Приведенные условия ортогонализации выражения $L^*(x, y)$ и аппроксимируемой функции $\varphi_k(x, y)$ позволяют получить решения задач для выбранного числа членов ряда для $w(x, y)$. Из равенства нулю определителя из коэффициентов при неизвестных $a_1, a_2, \dots$ определяется критическая нагрузка. Таким способом автор вычисляет "силу колонны" для задачи Эйлера из дифференциального уравнения устойчивости Эйлера и критическую силу равномерно односторонне сжатой тонкой упругой прямоугольной пластины с шарнирно опертыми краями из дифференциального уравнения Навье, используя двойной тригонометрический ряд.

В § 22 второй части курса [2] (с. 515–544; перепечатка: [9], с. 190–218) Бубнов рассматривает ряд задач о воздействии равномерного поперечного давления и параллельной одной из сторон линейно распределенной нагрузки в плоскости прямоугольной пластины, применяя метод ортогонализации (используя двойной ряд Навье), а также о воздействии равномерно поперечного давления и равномерных касательных усилий по контуру прямоугольной пластины для свободно опертых краев на основе уравнений Сен-Венана. В обоих случаях (это были новые и трудные задачи устойчивости) определяются критические усилия в зависимости от отношения сторон, подробно анализируется процесс вычисления критических сил. В первом случае он свел дифференциальное уравнение в частных производных к обыкновенному, которое решил методом ортогонализации, а во втором – методом ортогонализации уравнение в частных производных сразу привел к системе линейных алгебраических уравнений.

И.Г. Бубнов развил свой метод как альтернативный методу энергии, поэтому он не обсуждал ряд проблем, которые возникли позднее в связи с применением метода Бубнова. Например, как решать задачу, когда не все контурные условия для аппроксимируемой функции выполнены? Что делать, если порядок уравнения искусственно повышен или понижен? В частности, дифференциальное уравнение осесимметричной круговой пластины для конечных прогибов решено Бубновым точно с помощью функций Бесселя. Но если бы он его решал методом ортогонализации, то это уравнение следовало бы ортогонализировать не к прогибу, а к углу наклона нормали (первой производной по прогибу), так как исходное уравнение задачи четвертого порядка было им предварительно один раз проинтегрировано.

Заметим, что настороженное отношение к методу Бубнова давно осталось позади, он чрезвычайно широко применяется в различных механических и физических моделях, особенно для нелинейных уравнений и их систем, и это применение оказалось весьма эффективным. Подробное обсуждение метода Бубнова дано в работе автора этих строк [11].

* * *

Своим творческим наследием (перепечатка его работ содержится в книгах [9, 10]) И.Г. Бубнов внес крупнейший вклад в науку и технику, вписал свое имя в историю отечества.

Им был спроектирован и построен весь отечественный подводный флот того времени, его надводные корабли были оригинальными и послужили образцом для проектирования кораблей в других странах. Созданная И.Г. Бубновым наука – строительная механика корабля – послужила и при разработке методов расчета авиационных конструкций. Он впервые развил теорию потери устойчивости упругих поверхностей при конечных прогибах, рассмотрел другие задачи нелинейного сопро-

тивления пластин. И.Г. Бубнов первым приступил к формулировке уравнений конечных прогибов тонких поверхностей, известных впоследствии как уравнения Фёппля – Кармана – Маргерра, ввел понятие секущего модуля, разработал метод конструктивной анизотропии. Наконец, создания только метода ортогонализации – метода интегрирования дифференциальных уравнений – было бы достаточно, чтобы имя И.Г. Бубнова вошло в науку яркой звездой.

"Заслуги Ивана Григорьевича Бубнова делают его имя незабвенным в летописях нашего отечества, и польза его трудов еще долго будет сказываться при постройке как военных, так и коммерческих судов" – писал академик А.Н. Крылов о своем замечательном ученике.

Э.И.Григолюк

ЛИТЕРАТУРА

1. Бубнов И.Г. Теория упругости и строительная механика корабля. Лекции, читанные на кораблестроительном отделении СПб. политехн.ин-та. СПб.: Изд. кассы студ. взаимопомощи. Литогр. И. Трофимова, 1906. 244 с. Изд. 2, 1908. Ч. I. С. 1–150; Ч. II. С.151–438. Дополнение к курсу строительной механики корабля. 1909. 141с. Дополнение к курсу "Строительная механика корабля", измененное и дополненное / Под ред. П.Ф. Папковича. Л.: Научно-техн. кружок кораблестроителей Ленингр. политехн. ин-та, 1930. 176 с. Перепечатка Дополнения: [10], с. 5–120.
2. Бубнов И.Г. Строительная механика корабля. СПб.: Типография Мор. мин-ва. Ч. I, §§ 1–14, 1912. 330 с; Ч. II. §§ 15–25. 1914. С.331–640. Строительная механика корабля. §§ 26 и 27¹ // Тр. Всесоюз. научного инж.-техн. о-ва судостроения. 1948. Т. 5. Вып. 4. С.3–62.
3. Бубнов И.Г. Расчеты по линейным кораблям типа "Севастополь" (1907–1908 гг.). СПб.: Изд. Техн. судостроит. бюро Балтийского завода, 1913–1914. Т. 1. 247 листов; Т. 2. 201 лист; Т. 3. 147 листов; Т. 4. 159 листов; Т.5. 209 листов.
4. Бубнов И.Г. Об одном методе определения главных размеров проектируемого судна // Ежегодник Союза морских инженеров. 1916. Т. 1. С. 243–256. Перепечатка: [10], с. 390–403.
5. Boobnoff I.G. On the stresses in a ship's bottom plating due to water pressure // Trans. Inst. of Naval Archit. 1902. V. 44. March. P.15–46; 51–52. Отд.оттиск. 1902. 32р. См. также: Бубнов И.Г. Напряжения в обшивке судов от давления воды // Морской сб. 1902. Т. 311. No. 8. С. 117–141; Т. 312. No. 9. С. 111–139; Т. 312. No. 10. С. 119–138; Т. 313. No. 12. С. 107–130. Отд. оттиск. СПб.: Типолитогр. А.Э. Венике, 1904. 93с. Перепечатка: [9], с. 11–100.
6. Бубнов И.Г. Критическое давление для тонкостенной трубы, подкрепленной ребрами // Ежегодник Союза морских инженеров. 1916. Т. 1. С.257–263. Перепечатка: [10], с. 128–135.
7. Тимошенко С.П. Об устойчивости упругих систем // Изд. Киев. политехн. ин-та. 1910. Кн. 4. С. 375–560. Отд. оттиск. Киев: Тип. С.В. Кульженко. 188с. То же; 1911. Перепечатка: Тимошенко С.П. Устойчивость стержней, пластин и оболочек. М.: Наука, 1971. С. 128–383.
8. Отзывы профессоров Кирпичева, Белзецкого, Бубнова и Колосова о сочинениях профессора Тимошенко, удостоенных премии Д.И. Журавского. Сб. Ин-та инженеров путей сообщения. СПб.: Изд.Ин-та инженеров путей сообщения. Тип. Ю.Н. Эрлих, 1913. Вып. 81. С. 1–40. Отзыв И.Г. Бубнова в разд. 3 на с. 33–36. Перепечатка отзыва И.Г. Бубнова: [10], с. 136–139 под заголовком редактора "Отзыв о работе проф. С.П. Тимошенко "Об устойчивости упругих систем".
9. Бубнов И.Г. Труды по теории пластин. М.: Гостехтеоретиздат, 1953. 424с.
10. Бубнов И.Г. Избранные труды. Л.: Судпромгиз, 1956. 439с.
11. Григолюк Э.И. Метод Бубнова. Истоки. Формулировка. Развитие. М.: Изд-е НИИ Механики МГУ, 1996. 58 с.

¹ Рукопись 1913–1914 гг.