

*Судьба оказалась благосклонной к авторам статьи и подарила им редкую возможность участвовать в реконструкции в связи с 300-летием Санкт-Петербурга всемирно известного символа величественного города – флюгера “Ангел” на шпиле Петропавловского собора, являющегося одной из главных исторических достопримечательностей и архитектурных доминант Санкт-Петербурга. Детальное изучение исторических материалов, связанных с сооружением архитектором Д. Трезини Петропавловского собора и его реконструкцией инженером Д.И. Журавским в 1857–1858 годах, послужило основанием для написания статьи, в которой авторы попытались передать дух тех времен и рассказать о “великих сынах Отечества” – архитекторах, строителях, инженерах и простых “рабочих” людях, чьи творения уже три века радуют наш взор...*

***А.И. Боровков, В.А. Пальмов***

## **Прикладная механика и реконструкция шпиля Петропавловского собора. Часть 1. История Петропавловского собора. Конструкция шпиля и ангела**

... Россия в составе Северного союза с 1700 года вела Северную войну со Швецией за выход к Балтийскому морю...

В начале мая 1703 года, как следует из “Журнала” Петра Великого [1, 2, 3], устье Невы полностью находилось под контролем русской армии. Но угроза вторжения врага еще оставалась, и это заставило Петра I немедленно приступить к строительству крепости на небольшом (750 на 360 метров) острове Заячий (шведское название – Луст-Эланд – Веселая Земля, финское название – Енисаари – Заячий), расположенном в самом широком месте течения Невы. В “Журнале” Петра Великого имеется запись: “капитанъ бомбардирской изволилъ отыскать в устье Невы единый островъ, зело удобный положением места, на которомъ, а именно мая 16 день, въ неделю пятидесятницы, фортецию заложили и нарекли имя оной *Санкт-Питер-Бурх*” [4]. Поясним, что “капитанъ бомбардирской” – военный чин Петра I в то время, “неделя пятидесятницы” – праздник Святой Троицы.

Дату 16 мая (27 мая по новому стилю) 1703 года, когда произошла закладка крепости, принято считать днем основания Санкт-Петербурга – города Святого Петра.

Наречение крепости произошло 29 июня (12 июля) 1703 года, когда Русская православная церковь отмечает день святых *апостолов* Петра и Павла (“Петров день”); *апостолы* (от греч. *apostolos* – посол) в раннехристианской литературе – бродячие проповедники христианства. С деятельностью двенадцати апостолов и Павла христианское предание связывает

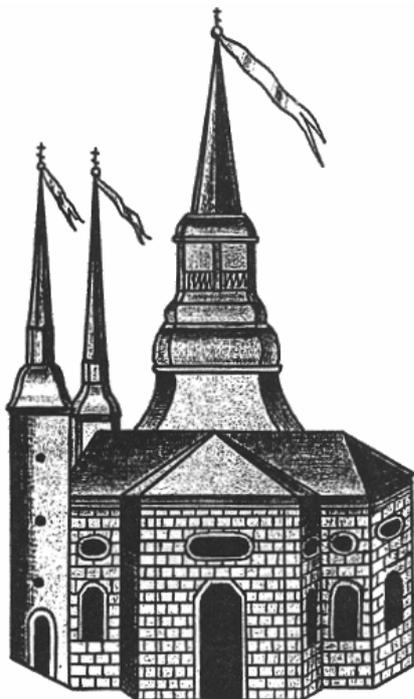
распространение христианства. В этот день в крепости была заложена деревянная церковь. Первого апреля 1704 года Новгородский архиепископ Иов, в ведении которого находился Приневский край, освятил этот первый в будущей столице храм – деревянную церковь Святых апостолов Петра и Павла [5] “об одном на голландский манер шпице”. *Шпиц или шпиль* (голл. *spil*, нем. *Spille*) – вертикальное остроконечное завершение зданий в виде сильно вытянутого вверх конуса; *шпиль* часто увенчивается флагом, скульптурным или резным изображением.

Санкт-Петербургская крепость возводилась по плану, составленному Петром I, и создавалась как опорный стратегический пункт на территории, где проходили военные действия. Строительство по тому времени было грандиозным, равным которому по масштабам и сложности в истории России еще не было. Эта стройка так увлекла Петра I, что он даже поселился рядом в маленьком домике – единственном строении раннего Петербурга, построенном на соседнем Березовом острове (позднее Городовой остров, ныне – Петроградская сторона) и сохранившимся до наших дней. Строительство крепости шло “съ крайнимъ поспешаніем”, на ее сооружении от зари до зари работало более 20 тысяч “работныхъ людей” и “подкопщиковъ” – русских крепостных и солдат, присылаемых по указам Петра I из различных уездов и губерний, а также пленных шведов. Ценой титанических усилий и больших жертв (“*при тогдашней необыкновенной дороговизне съестныхъ припасовъ и недостатке в одежде люди, какъ мухи, умирали отъ голода и холода и тамъ же хоронились*”) к осени 1703 года крепость была возведена из земли и дерева.

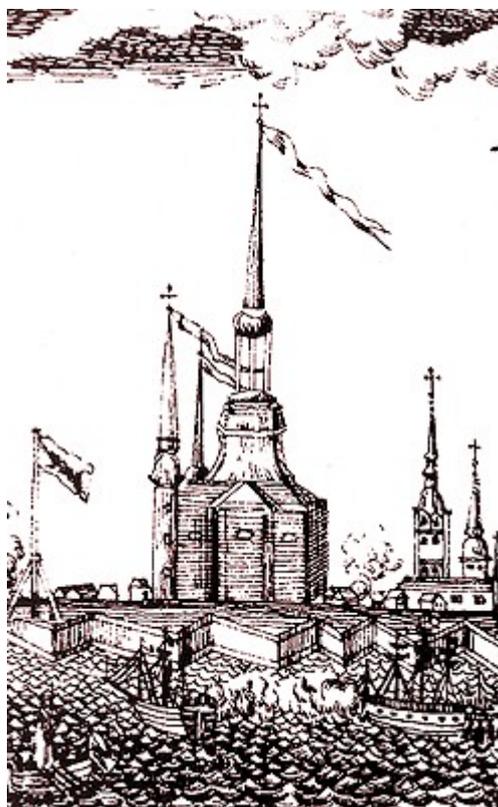
Еще ничего нет, выросли только земляные валы крепости толщиной стен до 20 метров и высотой – 12 метров, а царь Петр уже видит в мечтах будущую столицу – в конце сентября 1703 года он радостно извещает “сердешнаго друга” Алексашку Меншикова: “Мы чаемъ въ три дни или четыре быть в столицу (Питербурх)” [6]. Это первое письменное свидетельство о будущем призвании любимого дитя Петра I, о чем позже А.И. Герцен написал: “*любимое дитё царя, отрѣкшегося отъ своей страны для ея пользы и угнетавшего ея во имя европеизма и цивилизации*”.

В 1710 году в деревянной церкви состоялось первое большое торжество: были внесены трофейные шведские знамена, взятые в бою под Выборгом. В этот же период церковь несколько видоизменяется: на гравюрах 1712 года она уже изображается с двумя башнями у входа, фигурным куполом и колокольней со шпилем над серединой здания. На планах крепости тех лет собор имеет крестообразную форму. Первый историограф Санкт-Петербурга А.И. Богданов пишет, что церковь “*видомъ крестообразная о трехъ шпицахъ, на которыхъ по*

*воскресным дням и праздничным подымались вымпелы, расписана была под каменный вид  
желтым мрамором...”*



**Рис. 1. Первоначальный вид Петропавловской церкви о трех шпицах.  
Рисунок XVIII века.**



**Рис. 2. Первоначальный вид Петропавловской церкви о трех шпицах.  
Гравюра XVIII века.**

“Соборъ (*собор* – в христианской культовой архитектуре главный храм города) во имя святыхъ апостоловъ Петра и Павла заложенъ былъ Петромъ Великимъ въ следъ за основаніемъ петербургской крѣпости. Первоначально соборъ, окрашенный подъ камень, былъ выстроень деревянный, съ тремя шпицами, на одномъ изъ которыхъ, служившемъ колокольнею, днемъ и ночью били часы” [7]. Отметим, что первый из апостолов – Петр – был чтим на христианском Западе, а второй – Павел – на Востоке. Поэтому Петропавловский собор символизирует собой внутреннее единство христианского мира [5].

Зимой 1706 года Петр I повелел начать перестройку земляной Петропавловской фортеции в кирпиче. Перестройку государь поручил “архитекту цивилии и милитарии” Доминико Трезини (1670–1734). Кстати, большинство историков почему-то пишет “Доменико”, хотя сам архитектор всегда подписывался *Dominico Trezzini* [6]. С 1710 года Доминико Трезини во многих канцелярских бумагах архитектора именуют на российский манер – Андрей Яковлевич Трезин. Доминико Трезини прибыл в Россию менее трех лет назад, но к этому времени он уже построил морскую фортецию Кроншлот (Коронный замок), благодаря которой было одержано несколько “викторий” и не дожившую до наших дней, а также триумфальные “Петровские” ворота в Нарве в честь победы Петра над шведами в 1704 году.

30 мая 1706 года после торжественного молебна под пушечную пальбу перед строем полков царь Петр заложил первый камень в основание будущей кирпичной цитадели. Работы по строительству каменной крепости продолжались около 35 лет...

В 1710 году в память Александра Невского Петр I основал Александро-Невский монастырь, разработать проект постройки которого он поручает Трезини. В том же 1710 году архитектор Трезини приступает к строению каменного Летнего дома Петра I, дабы исполнить его “доброю архитектурною работою”, которую он и завершает в 1711 году.

В 1712 году Санкт-Петербург становится столицей Российского государства – сюда переезжает Сенат, учрежденный 22 февраля 1711 года указом Петра I и заменивший Боярскую думу в качестве временного коллегиального органа управления страной в отсутствие царя, в Петербург переезжают царский двор и иностранные послы. Город строился и украшался, и в центре крепости нельзя было далее сохранять старое и обветшалое здание деревянной церкви – столице России нужен был главный кафедральный собор.

Петр I желал, чтобы главное строение столицы поднялось выше колокольни Ивана Великого в Московском Кремле и церкви Архангела Гавриила (Меншиковой башни), которую возвели на пожертвования Александра Меншикова неподалеку от Мясницких ворот в Москве. Убедившись, что проект Трезини отвечает его желаниям, государь начертал на чертеже: “С Божей помощью быть по сему”.

В том же 1712 году деревянную Петропавловскую крепость разобрали и бережно перевезли на остров Городовой (ныне – Петроградская сторона), где вновь собрали, поставили на каменный фундамент и наименовали храмом Апостола Матфея. Перестроенный позже в камне, храм простоял до Великой Отечественной войны там, где сквер, – между улицами Большой Пушкарской, Кронверкской и Матвеевским переулком [6].

“Въ 1712 году на мѣстѣ деревяннаго собора Петръ Великій положилъ основаніе каменному, поручивъ постройку его подѣ личнымъ своимъ наблюдениемъ архитектору “Трезино” [7]...

Сентября 23 дня 1716 года Трезини отправляет письмо Петру I, отъехавшему после тяжелой болезни на лечение в Европу: “Петра и Павла Святыя церкви колокольня... сделана вышины всего... 140 футовъ (~42,5 м) отъ земли”. Часы, вопреки желанию царя, еще не установлены, но есть еще время нагнать, успеть...

Напомним, что *фут* (англ. *foot* – ступня; единица длины русской системы мер, отмененной в 1918 году) равен:  $1 \text{ фут} = \frac{1}{7} \text{ сажени} = 12 \text{ дюймам} = 0,3048 \text{ м}$ .

Канцелярия городских дел 2 августа 1717 года доносит царю: “Колокольня Святыя Петра и Павла камнемъ вся отделана... и шпиць связываютъ”. Голландские мастера Форзант, Герц и Хиль уже возились с часовым механизмом и готовили его к подъему на колокольню. За часы, специально купленные для собора в 1715 году в Амстердаме, государь заплатил 45 000 рублей. Чтобы оценить эту сумму, отметим, что “архитектъ цивилии и милитарии” Трезини получал в то время жалованье в 1000 рублей в год, а царь Петр, который после победы над шведским флотом при мысе Гангут был пожалован званием вице-адмирала, – 2240 рублей [6].

В 1717 году по проекту, разработанному двумя годами ранее, Трезини начинает строительство Александро-Невского монастыря, в архитектурный ансамбль которого входят Благовещенская церковь (1717–1722, правое крыло монастыря, архитекторы Д. Трезини, Т. Швертфегер), Федоровская церковь (1742–1750, левое крыло монастыря, архитектор Пьетро Трезини – сын Доминико Трезини). Но петербургским монастырям, в отличие от московских (в Москве был построен 21 монастырь), не везло с завершением строительства. В Петербурге в то время было всего два монастыря – Александро-Невский и Смольный, но первый соорудили 73 года, а второй – 90 лет.

А тем временем на площади собирают и скрепляют по частям секции деревянной конструкции огромного шпица, но эти секции еще надо поднять наверх, укрепить, позолотить медные листы и обить ими шпиц.

В 1719 году для покрытия деревянного шпица в Санкт-Петербург были приглашены рижские мастера: Ф. Циферс заготовил в Риге 887 медных кровельных листов, а И. Штейн-

бес и В. Эбергард осуществили их покрытие золотом *“через огонь”* [4]. Затем уже позолоченными листами покрывался деревянный шпиль.

В августе 1720 года сооружение колокольни в основном завершается, заиграли часы на колокольне – 35 больших и малых колоколов разлили окрест свой мелодичный перезвон, в завершение которого гулко пробили двенадцать раз.

Государь с приближенными прибыл в Санкт-Петербургскую крепость утром 21 августа 1720 года и поднялся на самый верх колокольни, переведя дух, оглянулся и замер в радостном восторге – внизу во всей красе раскинулась столица. Петр I перебежал от окошка к окошку и радостно восклицал: *“Парадиз! Истинный парадиз!”*. Довольный царь с чувством обнял стоявшего рядом и молчавшего Трезини...[6].

Уже в этом же 1720 году Трезини начинает работы по превращению Стрелки Васильевского острова (ранее Лосинога острова) в главную площадь города и триединый центр столицы – административный, торговый, научный.

30 августа 1721 года была завершена Северная война, которая продолжалась 21 год, и со Швецией был заключен долгожданный Ништадтский мир. Сенат единогласно постановил *“поднести”* Петру титул Императора, Отца Отечества и Великого, это постановление было одобрено и Синодом. Великие торжества по случаю *“виктории”*, длившиеся в Санкт-Петербурге более месяца, завершались 22 октября 1721 года, когда в Троицком соборе старейший из сенаторов канцлер граф Гавриил Головкин произнес речь: *“Да благоволите от нас, в знак малого нашего признания толиких отеческих... показанных благодеяний, титул Отца Отечества, Петра Великого, Императора Всероссийского принять”* – Россия объявляла себя одной из крупнейших европейских держав. До 1721 года существовали империи – Римское государство, Византия, Франкское государство, средневековая Священная Римская империя со столицей в Вене. Ништадтский мирный договор 1721 года породил императора Всероссийского Петра Великого и новую империю – Российскую империю. По этому договору Россия получила земли по Неве, в Карелии и Прибалтике с городами Нарвой, Ревелем, Ригой, Выборгом и др.

В следующем 1722 году достраивается каменная колокольня Петропавловского собора, которая по замыслу Петра I и архитектора Трезини стала одним из главных символов новой Российской империи. Высота Петропавловского собора была *112 метров* – на *32 метра* выше колокольни Ивана Великого, как того и желал Петр Великий. По воспоминаниям ганноверского посланника Х. Вебера, храмовое сооружение оценивалось *“как прекрасное, подобно чему в России пока еще найти нельзя”*. Деревянный шпиль колокольни имел позолоченную медную кровлю и был увенчан *“яблоком”* и фигурой ангела (архангела) с крестом.

Известно, что *ангелы* (греч. *Ángelos* – вестник) в христианской, иудейской, мусульманской и в некоторых других мифологиях – существа, промежуточные между богом и людьми, посредники между ними. Согласно мифологии *ангелы* обладают знанием будущего, могущественны и бессмертны. В христианской мифологии пользовались наибольшим почитанием *архангелы*: Михаил – вождь небесной рати (покровитель князей, царей и императоров), Гавриил – вестник бога, Рафаил – целитель и Уриил – ангел раскаяния. *Архангелы* (греч., ед. ч. *archángelos*) в христианской мифологии одна из высших категорий (чинов) *ангелов*. В конце IV века в христианском искусстве утвердилось представление о бестелесности *ангелов* и их стали изображать крылатыми.

Многие сотни чертежей исполнил за свою жизнь “архитектор цивилии и милитарии” Трезини, а до наших дней уцелели единицы и только один рисунок на палевой от времени бумаге – летящий ангел держит в руках большой крест. Внизу у креста – кугель, шар, который венчает шпиль. Под ангелом прозаическая надпись: “фигура длиною 7 футов английских” (~ 2 м 13 см).



Рис. 3. Первый ангел. Рисунок Трезини. 1722 год

Этот рисунок был приложен к донесению архитектора Трезини генерал-губернатору Петербурга светлейшему князю Меншикову, отвечавшему за все строения в городе: “... посылаю ныне рисунокъ ангела, который будетъ поставлень на верху кугеля на Святой церкви Петра и Павла, по которому ныне делаютъ из меди таком же виде, толщиною на 4 дюйма (~10,16 см). А ежели де-

лать... круглую фигуру, то... от великой тягости железо будет гнуться, на котором крест поставится... 1722 г. апреля 12. Dominico Trezzini]” [6]. Это донесение составлено ровно через десять лет после начала сооружения каменного собора...

Напомним, что *дюйм* (от голл. *duim*, буквально – большой палец) – дюймовая единица длины в английской и американской системах мер, в которых за исходную единицу длины принят *фут*,  $1 \text{ дюйм} = \frac{1}{12} \text{ фута}$ . По международным соглашениям *дюйм* принят равным  $0,0254 \text{ м}$  (точно). *Дюйм* входил также в старую русскую систему мер и составлял  $\frac{1}{28}$  часть *аршина*.

В записке в Канцелярию городских дел, написанной в то же самое время, архитектор Трезини предлагает “делать из листовой меди ангела летающего, который будет поставлен на кугель шпица..., который будет держать в руках крест” – за образец ангела Доминико Трезини выбрал ангела на башне ратуши в голландском городе Маастрихте.

В 1724 году архитектор Трезини победил на конкурсе на лучший проект здания “Двенадцати коллегий” (так при Петре I назывались органы государственного управления) и составил для Петра I список, “когда какое здание начали в Петербурге строить”.

В конце 1724 года установкой на шпиль ангела, парившего параллельно земле и несшего в вытянутых руках крест, были завершены работы по возведению стройной многоярусной колокольни, которую во всем своем величии успел увидеть Петр I.

Но Петру I не суждено было дожидаться окончания строительства собора, так как через три месяца – 28 февраля 1725 года – он умер...

Не исключено, что Петр I, замышляя строительство каменного Петропавловского собора, собирался превратить его в усыпальницу для себя и членов своей семьи. В феврале 1725 года гроб Петра Великого поставили в небольшой деревянной церкви, временно возведенной внутри каменных стен. Петра I похоронили в Петропавловском соборе, где к этому времени уже были похоронены двое его сыновей и четыре дочери от Екатерины Алексеевны.

Устремленный ввысь шпиль Петропавловского собора символизировал выход России к просторам Балтики и рождение величественного города на Неве. Петропавловский собор ярко выражал дух и смысл всей эпохи Петра Великого – эпохи великих реформ.

Первого января 1726 года при активном содействии светлейшего князя Александра Меншикова Императрица Екатерина I жалует архитектору Трезини звание инженера-полковника. Это звание в соответствии с табелем о рангах соответствовало VI классу и давало право на титул “ваше высокоблагородие” и российское потомственное дворянство. *Табель о рангах* был установлен в 1722 году Петром I для определения порядка чиновничества в военной

и гражданской службе не по знатности, а по личным способностям и заслугам. Архитектору Трезини устанавливается жалование 1700 рублей в год.

Так творение архитектора Трезини – Петропавловский собор с его сияющим шпилем стал одной из главных исторических достопримечательностей и архитектурных доминант Санкт-Петербурга. Санкт-Петербургская крепость стала называться Петропавловской. Важно отметить, что крепость была поставлена Петром I так удачно, что ей не пришлось сделать ни одного выстрела по противнику.

Лишь через два года после смерти Петра I архитектору Трезини удалось завершить все работы, связанные с великолепным иконостасом, который резали и золотили в Москве под наблюдением Ивана Зарудного. Внутренняя отделка собора была завершена в 1733 году уже в царствование императрицы Анны Иоанновны.

19 февраля 1734 года в возрасте 64 лет Доминико Трезини – первый архитектор Санкт-Петербурга, инженер-полковник фортификации – скончался. Он умер в пять утра, в тот час, когда обычно в течение долгих десятилетий начинал трудовой день... Последнее пристанище Доминико Трезини нашел на небольшом иноверческом кладбище между Сампсониевским проспектом и Ньюстадтской улицей (ныне Лесной проспект). Во второй половине XVIII столетия иноверческое кладбище застроили, след могилы Доминико Трезини потерялся...

Санкт-Петербург и сегодня хранит замечательные творения градостроительной деятельности Доминико Трезини. Петропавловская крепость и Петропавловский собор с его блистательным шпилем, Васильевский остров с его планировкой и зданием “Двенадцати коллегий”, Летний дворец Петра I и общий замысел Александро-Невской лавры навсегда останутся памятниками первому архитектору Санкт-Петербурга – Доминико Трезини.

Шпиль Петропавловского собора неоднократно страдал от штормовых ветров и гроз – в 1736 и 1748 годах деревянный шпиль загорался от ударов молнии в него, но пожар успевали погасить. “Высокій съ металлическою кровлею шпиць колокольни, не снабженный громоотводомъ, не однократно привлекалъ на себя громовые удары; самый гибельный изъ нихъ былъ въ 1756 году, ночью 30 апрѣля; отъ этого удара шпиць загорѣлся и горящія бревна при паденіи своемъ разрушили колокольню” [7]. Температура в ее верхней части, где были установлены часы “съ курантами въ 35 колоколовъ», оказалась так высока, что “по свидѣтельству современниковъ, колокола, висѣвшіе въ колокольнѣ, отъ жара расплавились” [7], а первый ангел Трезини погиб в пламени. К счастью, “пожаръ не проникъ внутрь собора, гдѣ все ограничилось нѣкоторыми не значительными поврежденіями, исправленными въ скоромъ времени по велѣнію Императрицы Елисаветы Петровны” [7].

“Въ 1757 году приступлено было къ постройкѣ вновь колокольни на мѣстѣ разрушенной пожаромъ” [7], которая продолжалась около двадцати лет. Обсуждались проекты самых выдающихся архитекторов того времени – Ж.Б.М. Валлен-Деламота, Антонио Ринальди, Ю.М. Фельтена, С.И. Чевакинского и др.

*Краткая справка. Ж.Б.М. Валлен-Деламот (1729–1820, Vallin de la Mothe) – профессор (1759) Петербургской Академии художеств. Построил Гостиный двор (1761–1785), католическую церковь Св. Екатерины (1763–1783, совместно с А. Ринальди) на Невском проспекте, строил Академию художеств (1764–1788, совместно с А.Ф. Кокориновым), Малый Эрмитаж (1764–1775, совместно с Ю.М. Фельтеном) и арку “Новой Голландии” (1765–1780, совместно с С.И. Чевакинским). В 1762–1766 годах строил дворец графа К.Г. Разумовского, бывшего свыше 50 лет Президентом (1746–1798) Петербургской Академии наук.*

*А. Ринальди (1709–1794, Rinaldi) – придворный архитектор (1756–90). Построил в Ораниенбауме (ныне г. Ломоносов) Петерштадт (дворец Петра III с Петровским парком, 1758–1762), Китайский дворец с Верхним парком (1762–1768), павильон «Катальная горка» (1762–1774), построил дворец в Гатчине (1766–1781) и дворец графа Г.Г. Орлова (“Мраморный дворец”) в Петербурге (1768–1785). С 1768 года по проекту Ринальди сооружался третий (после деревянной (1710) и каменной (1717) Исаакиевской церкви) Исаакиевский собор, превосходная модель которого хранится в музее Академии художеств. Однако строительство собора завершено не было, так как первоначальный замысел собора был значительно искажен императором Павлом I, и потому в 1816 году собор решили разобрать из-за архитектурных несовершенств. В 1777–1778 годах спроектировал третий ангел-флюгер Петропавловского собора.*

*Ю.М. Фельтен (1730–1801) – главный архитектор «Канцелярии от строений» (1762), профессор Петербургской Академии художеств (1772; в 1789–1794 годах – директор), строил Малый Эрмитаж (1764–1775, совместно с Ж.Б.М. Валлен-Деламотом). Построил лютеранскую церковь Св. Екатерины (1768–1771), армянскую церковь (1771–1780) и церковь Анны (1775–1779), Чесменский дворец (1774–1777) и Старый Эрмитаж (1775–1784). В 1770-е годы перестраивал интерьеры Большого дворца в Петергофе, создал пьедестал для памятника Петру I (памятник “Медный всадник”, 1767), проектировал гранитные набережные Невы (с 1769 года) и решётку Летнего сада (1771–1784) в Петербурге.*

*С.И. Чевакинский (1713–1774?80) строил дворцово-парковый комплекс, включая Екатерининский дворец, в Царском Селе (1745–1760), дворец П.Б. Шереметева на Фонтанке (1750–1755), Никольский военно-морской собор (1753–1762) с колокольней (1756–1758), перестраивал Кунсткамеру (1754–1758) и строил арку “Новой Голландии” (с 1765 г., совме-*

стно с Ж.Б.М. Валлен-Деламотом). В 1753–1755 годах строил дворец графа И.И. Шувалова, поддержавшего в “доношении в Сенат” замысел и план М.В. Ломоносова об организации Московского университета (1755), и организовавшего в 1757 году Академию художеств.

Все предложенные проекты предполагали существенную перестройку колокольни и изменение привычного облика шпиля. В конце концов императрица Екатерина II (1729–1796), выслушав всех, постановила – и это сегодня кажется очень мудрым – “делать оную точно такъ, какова прѣжде была, понѣже все прочіе планы не столь красивы”. “Архитектору Фонъ-Баллесу, занимавшемуся въ то время постройками въ Александро-Невской лаврѣ, поручено было составить проэктъ и смѣту на постройку колокольни” [7], а наблюдение за строительством было поручено осуществлять придворному обер-архитектору Ф.Б. Растрелли.

*Краткая справка. Франческо Бартоломео Растрелли (1700–1771, Rastrelli) – итальянец по происхождению, сын скульптора Бартоломео Карло Растрелли, русский архитектор (Варфоломей Варфоломеевич Растрелли), глава русского барокко середины XVIII века, в 1730–1763 годах придворный обер-архитектор. В 1747–1752 годах работал над постройкой Большого дворца в Петергофе, строил дворцы графа М.И. Воронцова (1749–1757) и графа С.Г. Строганова (1752–1754) в Петербурге, перестраивал также Большой (Екатерининский) дворец (1752–1757) в Царском Селе (ныне г. Пушкин). Ликующей мощью и величием проникнуты и две поздние постройки Растрелли – Смольный монастырь (1748–1764) и Зимний дворец (1754–1762) в Петербурге – “для единой славы всероссийской”.*

Каменную часть колокольни строил молодой русский архитектор Дьяков, который и закончил ее возведение в 1770 году. “Въ этомъ году Фонъ-Баллесъ умеръ и наблюдение за окончанием колокольни поручено было Брауеру, архитектору при Петергофскомъ дворцѣ. Брауеру принадлежит проэктъ и постройка высокаго смѣлаго шпица, существовавшего почти безъ всякихъ поправокъ до 1857 года. Деревянный остовъ этого шпица срубленъ былъ на землѣ плотникомъ Антономъ Еремѣевымъ и поставленъ на мѣсто въ теченіи трехъ мѣсяцевъ плотниками М. Воиновымъ и Г. Петровымъ при помощи восьми товарищей. Въ теченіе 1773 и 1774 годовъ шпиць одеть мѣдными позолоченными листами. Шпиць оканчивался въ верху шаромъ, на которомъ утверждены были крестъ и ангель” [7], заново сделанный мастером Форшманом.

В 1776 году на колокольне вновь были установлены часы-куранты, доставленные на берега Невы из Голландии. Часы стоимостью 32 000 тысячи рублей изготовил мастер Оорт Красс, их сложный механизм похож на часы-ходики гигантских размеров – огромные шес-

терни и барабан размещены на двух ярусах колокольни. Вращающийся барабан с 12 120 “нотными дырами” поворачиваясь, приводит в движение 101 молоток и 38 колоколов.

Второй ангел, выполненный также по старому рисунку Трезини, был установлен на кресте неподвижно и имел большую парусность. Десятого сентября 1777 года во время знаменитого наводнения в Санкт-Петербурге северо-западный шторм невиданной силы согнул крест и фигуру жестко закрепленного ангела, оборвал его крылья – “сильною бурей повредило ангела, который прикрѣпленъ былъ къ кресту неподвижно” [7].



**Рис. 4. Современная колокольная система Петропавловского собора,  
воссозданная на рубеже XX и XXI веков.  
Эта и многие нижеследующие фотографии сделаны авторами статьи в августе 2002 года**

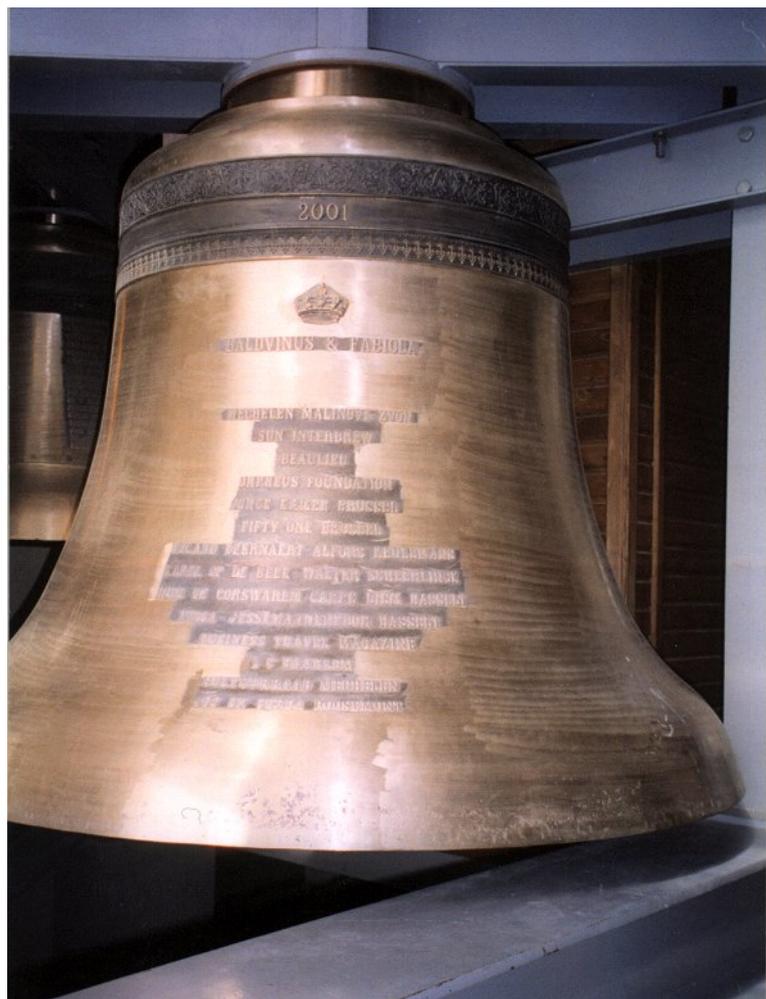


Рис. 5. Большой колокол Петропавловского собора весом около трех тонн



Рис. 6. Часы-куранты Петропавловского собора

Вскоре третий ангел – ангел классицизма екатерининской эпохи, сделанный руками того же Форшмана по проекту знаменитого Антонио Ринальди, был восстановлен и занял свое место, откуда снова благословлял великий город. Примечательно, что была изменена конструкция крепления ангела к шпилю. Фигура летящего ангела, поддерживающего крест, получила возможность под воздействием ветра вращаться вокруг спицы (иглы) шпиля, как флюгер (от нем. *Flügel* или голл. *vieuigel* – крыло). Ангел “могъ отъ дѣйствія вѣтра вращаться около креста” [7] – то есть принимать такое положение, когда плоскость ангела становилась почти параллельной направлению ветра. Для уменьшения парусности Ринальди сократил размах крыльев “божьего посланника” до 3,8 метра, а высота ангела составила 3,5 метра.

Первый поворотный механизм 1777–1778 годов был устроен просто – это были два стержня, жестко прикрепленных к ангелу и имеющих на концах отверстия. Этими отверстиями ангел надевался на спицу шпиля, имеющую соответствующие утолщения. Получалось два “подшипника скольжения” – “при вращеніи фигуры проушина скользила по закраинамъ стержня, сделаннымъ въ обоих мѣстахъ прикрѣпленія къ нему фигуры ангела” [10]. Такая конструкция подшипников ангела проработала без поломок с 1830 года до 1857 года.

В 1778–1779 годах крупные ученые С.Я. Румовский и Крафт под руководством академика Леонарда Эйлера разработали конструкцию молниеотвода для колокольни, который и установил мастер Вебер.

*Краткая справка. С.Я. Румовский (1734–1812) – русский астроном, член Петербургской Академии наук (1767), в 1800–1803 годах – вице-президент Петербургской Академии наук. Обработав свои наблюдения прохождений Венеры по диску Солнца, вывел значение параллакса Солнца, близкое к ныне принятому, руководил картографическими работами в России, составил первый для России сводный каталог астрономических пунктов. После смерти М.В. Ломоносова 30 лет руководил географическим департаментом.*

*Леонард Эйлер (1707–1783, Euler) – математик, механик и физик, с 1727 по 1741 и с 1766 по 1783 год работал в Петербургской Академии наук, член Петербургской, Берлинской и Парижской академий, Лондонского королевского общества и других крупнейших в то время научных учреждений. Л. Эйлер внес фундаментальный вклад во многие разделы математики и механики, в теорию упругости, математическую физику, оптику, теорию музыки, теорию машин, баллистику, морскую науку, страховое дело и т. д. Только при жизни Эйлером было опубликовано около 550 его книг и статей, общий список трудов Эйлера содержит примерно 850 названий. В 1909 году Швейцарское естественнонаучное общество приступило к изданию полного собрания сочинений Эйлера, которое было завершено в 1975 году*

и состояло из 72 томов. По выражению П.С. Лапласа, Леонард Эйлер явился учителем многих математиков второй половины XVIII века. На работах Эйлера основывали свои исследования П.С. Лаплас, Ж.Л. Лагранж, Г. Монж, А.М. Лежандр, К.Ф. Гаусс, позднее О. Коши, М.В. Остроградский, П.Л. Чебышев и др.

В 1829 году во время очередной сильной бури ангел вместе с крестом и со спицей, на которой он держался, наклонился и угрожал падением. Летом 1830 года 24-летний крестьянин-кровельщик “Петръ Телушкинъ совершилъ свой извѣстный подвигъ молодечества, поднявшись на крестъ шпица при помощи одной только веревки и произведя тамъ нужные исправленія” [7]. У основания ангела, преодолев отрицательный уклон шара-яблока, он закрепил веревочную лестницу и в течение шести недель ежедневно поднимался на шпиль для ремонта ангела и креста – за работой сидящего верхом на ангеле Телушкина наблюдали тысячи горожан. Свидетель этого подвига писал: “Нередко мы его видели то поднимающим ангела... то сидящим на его крыле и починивающим оное, то на самой перекладине креста... спокойно прикрепляющим оторванные от него листы. Все это мы видели самым ясным образом посредством подзорной трубы”. Описанию подвига Телушкина посвящена специальная брошюра директора Публичной библиотеки Оленина “О починке креста и ангела (без лесовъ) на шпице Петропавловского собора в Санкт-Петербурге” [9].

За этот смелый поступок Петр Телушкин получил медаль “За заслуги в мирное время” на Анненской ленте и крупную денежную награду – 5000 рублей. Отметим, что подвиг Телушкина народная молва со временем дополнила весьма характерным для России мифом о том, что якобы Петр Телушкин также получил разрешение бесплатно пить во всех кабаках России...

Со временем деревянный шпиль начал подгнивать, положение ангела Ринальди становилось все хуже, и в 1854 году “снова покривился крестъ на шпицѣ и самый шпицъ началъ примѣтно качаться отъ вѣтра” [7]. Третий ангел – ангел Ринальди – продержался довольно долго для сурового петербургского климата, примерно столько, сколько отпущено и человеку – 79 лет.

Однако всерьез обратить внимание на проблему исправления шпиля Петропавловского собора смог лишь великий реформатор XIX века Александр II (1818–1881) – российский император с 1855 года. По его указанию “инженерный департаментъ военного министерства объявилъ конкурсъ на составленіе проэкта лѣсовъ для снятія съ вершины шпица креста и ангела и для осмотра шпица на всей высотѣ его. Осмотръ этотъ имѣлъ целію рѣшить можно ли ограничиться одними исправленіями и укрѣпленіями старого шпица, и если можно, то какими именно, или же нужно разо-

брать старый шпиль и устроить новый. На конкурс избран был проект лесов, составленный инженер-капитаном Г.Е. Паукером (нынѣ полковник), и леса были им построены во время лета 1856 года.

Коммисій, назначенных для осмотра поврежденной старого шпиля было три. Первая, осматривавшая шпиль в ноябрь 1855 года, тотчас по постройкѣ лесов, состояла из военных инженеров: полковников Костомарова и Юкиша, капитана Паукера, штабс-капитана Починского и архитектора академика Рейера.

Вторая, назначенная в апрѣль 1856 года, состояла из гг. архитекторов: Тона, Брюллова, Штакеншнейдера, Желязевича и военного инженер-подполковника Паукера” [7].

*Краткая справка. К.А. Тон (1794–1881) — академик (1830), профессор (1833), ректор по архитектурной части (1854) Петербургской Академии художеств, родоначальник эклектичного русско-византийского стиля. В 1837–1880 годах построил Храм Христа Спасителя в Москве – смертельно больного К.А. Тона на носилках принесли к храму и он смог увидеть свое творение оконченным. В 1883 году, уже после смерти автора, храм освятили. В 1931 году храм был разрушен, в 1995–2000 годах – восстановлен. Построил Большой Кремлевский дворец (1839–1849), Оружейную палату в Кремле (1844–1851), первый в России железнодорожный вокзал Николаевской дороги – Николаевский (ныне Ленинградский, 1849) в Москве и Николаевский (ныне Московский, 1844–1851) – в Петербурге.*

*А.П. Брюллов (1798–1877) – русский архитектор, рисовальщик и акварелист; построил в Петербурге Михайловский театр (1831–1733), лютеранскую церковь на Невском проспекте (1833–1738), Пулковскую обсерваторию (1834–1739) близ Петербурга, здание бывшего штаба гвардейского корпуса (1837–1743) на Дворцовой площади.*

*А.И. Штакеншнейдер (1802–1865) – академик (1834) и профессор (1854) Петербургской Академии художеств, архитектор Высочайшего двора (1867). Построил Маринский дворец (1839–1844), дворец Белосельских-Белозерских (1846–1848), Николаевский дворец (1853–1861) – ныне Дворец труда. Признанный мастер интерьера – оформлял дворцы в Петербурге, Гатчине, Ораниенбауме, Стрельне и Царском Селе. Самый “охраняемый” архитектор Санкт-Петербурга – никто из выдающихся зодчих не создал в центре Петербурга и его пригородах такого числа памятников, состоящих под государственной охраной. Ввел в практику строительства несгораемые металлические покрытия и нанесение штукатурки по железной сетке.*

“Третья комиссия назначена была в декабрь 1856 года из инженеров корпуса путей сообщения: генерал-майора Мельникова, полковника Палябина, подполковника Журавского и военного инженер-подполковника Паукера” [7].

*Краткая справка. П.П. Мельников (1804–1880) – русский инженер и ученый в области железнодорожного транспорта, генерал-майор, почетный член Петербургской Академии наук (1858); в 1825 году “первым по наукам” окончил Институт корпуса инженеров путей сообщения, с 1833 года – профессор по курсу прикладной механики, воспитал большое число высококвалифицированных инженеров. Совместно с Н.О. Крафтом разработал проект железной дороги Петербург – Москва, с 1842 года П.П. Мельников возглавлял Северную дирекцию по ее строительству, с 1862 года – главноуправляющий, а в 1866–1869 годах – министр путей сообщения. На свои средства построил у станции Любань школу и интернат для детей низкооплачиваемых железнодорожников и дом для престарелых женщин, для содержания которых завещал все личные сбережения. В сквере у станции Любань установлен бюст Павла Петровича Мельникова.*

“Результатом осмотра оказалось следующее:

1. Конструкция деревянного остова шпица была весьма несовершенна; некоторые главнейшие части были до чрезвычайности ослаблены вырубками.

2. Лесный материал для постройки старого шпица был употреблен отличного качества; но от небрежной покрышки шпица медными листами во многих местах дерево начало гнить. Так вся вершина шпица на высоту одной сажени совершенно сгнила; начало гниения показалось на протяжении до четырех сажень (~8,5 м) от вершины, а признаки постоянной течи с верху оказывались даже до самого основания шпица. Из восьми коренных стоек шпица, четыре заметно подгнили, а пятая совершенно перегнила в основании, так что находилась на вьсу” [7].

Напомним, что *сажень* – старая русская мера длины, впервые упоминающаяся в русских источниках в начале XI века. Различали *прямую* и *косую сажень*. *Прямая сажень* была определена через размах рук человека от конца пальцев одной руки до конца пальцев другой (152 и 176 см). *Косая сажень*, размером в 216 и 248 см, была определена расстоянием от пальцев левой ноги до конца пальцев правой руки, вытянутой по диагонали. Указом 1835 года размер *сажени* был определен так:  $1 \text{ сажень} = 7 \text{ английских футов} = 84 \text{ дюйма} = 3 \text{ аршина} = 48 \text{ вершков} = 213,36 \text{ см}$ . После Октябрьской революции 1917 года с введением в 1918 году в РСФСР метрической системы мер *сажень* как единица длины перестала употребляться.

3. “Большая часть мѣдныхъ вызолоченныхъ листовъ кровли сохранилась хорошо; на остальныхъ мѣстами сошла позолота, мѣстами оказались значительныя трещины и дыры” [7].

4. Можно было отремонтировать деревянный остов шпиля и его кровлю, однако “во всякомъ случаѣ всѣ эти исправленія не могутъ обезпечить прочность шпица на долгое время, такъ что перестройка вновь всего шпица будетъ неизбежна чрезъ нѣсколько лѣтъ, какія бы ни производились поправки отдѣльных частей, то комиссіи сочли своею обязанностію предложить перестройку вновь всего шпица, принимая во вниманіе и то, что лѣса, построенные уже на колокольнѣ, могли быть служить для разборки и постройки вновь шпица.

5. Если бы пришлось построить шпицъ колокольни вновь, то по мненію комиссій слѣдовало бы построить его изъ желѣза. Желѣзный шпицъ имѣлъ бы въ сравненіи съ деревяннымъ следующія главнѣйшія преимущества:

а) несравненно большую прочность;

б) безопасность отъ огня;

в) возможность устройства сообщенія внутри шпица почти до его вершины или по крайней мѣрѣ до основанія укрепленія креста, что позволило бы имѣть постоянный надзоръ за постройкою и производить своевременныя исправленія поврежденных” [7].



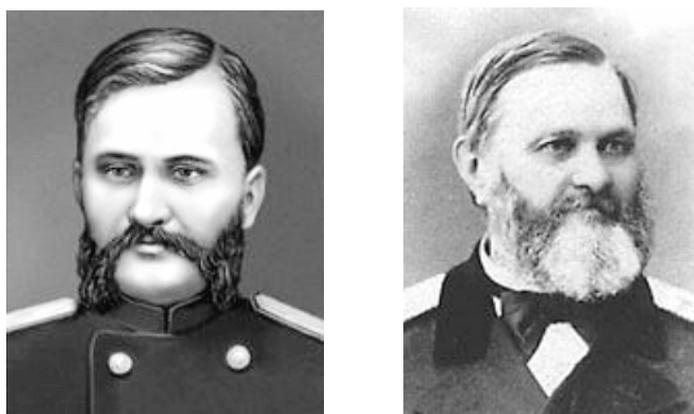
**Рис. 7. Фотография внутреннего строения шпица Петропавловского строения.  
Фотография сделана одним из авторов статьи в августе 2002 года  
с последней ступеньки внутренней лестницы: “изнутри шпица” и “снизу – вверх”**

6. Тщательный осмотр самого здания собора показал, что и в нем имелось множество повреждений. Так что в ремонте нуждался не только шпиль, но и весь собор – “и вообще по недостаточности надзора и ремонта все здание собора было въ большомъ запущеніи” [7].

В 1857 году талантливый военный инженер Д.И. Журавский предложил заменить деревянный шпиль, который требовал частых ремонтов и подновлений, невиданным до той поры в строительной практике металлическим каркасом по принципу мостовых ферм, прочных и легких. Молодой государь Александр II одобрил проект и поручил инженеру-подполковнику Д.И. Журавскому его реализацию.

Учитывая уникальную роль Д.И. Журавского в работах по проектированию и возведению металлического шпиля колокольни Петропавловского собора и по исправлению здания собора, проведенных в 1857–1858 годах, остановимся на описании его жизненного пути.

*Краткая справка. Журавский Дмитрий Иванович (1821–1891)– русский ученый и инженер, специалист в области строительной механики и мостостроения.*



**Рис. 8, 9. Портреты Д.И. Журавского, выполненные в середине и в конце XIX века**

*В 1832–1842 годах Д.И. Журавский учился в Петербургском Институте корпуса инженеров путей сообщения. С 1820 по 1830 год в Институте работали французские инженеры, профессора Г. Ламэ (G. Lamé, 1795–1870) и Б. Клапейрон (B.P.E. Clapeyron, 1799–1864), которые читали курсы по сопротивлению материалов и по теории сооружений, организовали лабораторию испытаний и тем самым заложили основы преподавания прикладной механики. Учителями Д.И. Журавского были выдающийся русский математик М.В. Остроградский (1801–1861, в 1822–1828 годах слушал в Париже лекции О. Коши, П. Лапласа, Ж. Фурье, с 1830 года – профессор Института и академик Петербургской Академии наук) и экспериментатор А.Т. Купфер (1799–1865, первый директор Центральной палаты весов и мер, ор-*

ганизованной в Петербурге в 1849 году). В 1842 году Д.И. Журавский окончил Институт первым в выпуске – его имя занесено на Мраморную доску актового зала.

Будучи по природе человеком недоверчивым и считая, что “расчет безъ проверки опытомъ часто ведетъ въ страну фантазій”, Д.И. Журавский тщательно изучал работу классических конструкций. Он ставил эксперименты, загружая модели ферм, и в результате опытов пришел к выводу, что раскосы, находящиеся вблизи опор, воспринимают бóльшие усилия, чем остальные, находящиеся ближе к центру пролета. Это открытие послужило началом яркого пути естествоиспытателя, ученого и инженера.

Всем, кто изучал курс “Соппротивление материалов”, хорошо известна знаменитая формула Журавского для определения касательных напряжений в изгибаемых балках. Д.И. Журавский был не только ученым-теоретиком, создателем теории касательных напряжений в поперечных сечениях различных элементов строительных конструкций, но и на практике применял разработанные теории, став одним из основоположников научного подхода к строительству мостов.

Под руководством П.П. Мельникова, возглавлявшего Северную дирекцию строительства железной дороги Петербург – Москва, и американского инженера Джорджа Вистлера, который по решению императора Николая I руководил строительством дороги, Д.И. Журавский участвовал в проектировании и строительстве мостовых сооружений на Николаевской железной дороге между Петербургом и Москвой. Им была разработана теория расчета решетчатых деревянных ферм со стальными тяжами, его исследования позволили соорудить и безопасно эксплуатировать раскосные фермы до 60 м длиной. В 1844–1846 годах он провел теоретические и экспериментальные исследования, в результате которых было спроектировано и построено уникальное сооружение – самый протяженный Веребьинский виадук, состоявший из девяти пролетов по 25,5 сажень (~54,5 м) и возвышавшийся на 51 м над поверхностью воды. Мосты через Волхов, Мсту, Тверцу, Волгу и другие реки также проектировались с учетом рекомендаций Д.И. Журавского; всего на железной дороге было возведено 184 моста.

По окончании постройки Веребьинского виадука, Д.И. Журавский издал результаты своих исследований в 1855 году отдельным сочинением “О мостах раскосной системы Гау”. За этот труд, опередивший на многие года зарубежные исследования и над которым он работал около десяти лет, Д.И. Журавский был удостоен полной Демидовской премии – наиболее почетной награды Петербургской Академии наук, присуждавшейся за опубликованные труды по науке, технике и искусству.

*В 1877–1889 годах Д.И. Журавский, будучи директором Департамента железных дорог, осуществил ряд мероприятий по увеличению их пропускной (“провозной”) способности. Приоритет исследований Д.И. Журавского, уже после его смерти, закрепил в своих решениях Международный железнодорожный конгресс, проходивший в 1895 году в Лондоне.*

Обратимся вновь к отчету Д.И. Журавского [7, 10] и, учитывая уникальность текста, постараемся не портить пересказом колоритный инженерный язык середины XIX века, а потому среди всех возможных способов изложения исторического материала, неизвестного инженерному сообществу, предпочтем цитирование. Иногда, и только в необходимых случаях, позволим себе делать некоторые краткие комментарии.

Итак, начнем внимательно изучать отчет Д.И. Журавского 1858 года.

“Постройка шпица изъ желѣза по большой высотѣ сооруженія и особенности системы, такъ и по роду матеріала, сколько намъ извѣстно, въ первый разъ употребленному для шпица большой высоты, выходить изъ ряда обыкновенныхъ строительныхъ работъ, такъ что описаніе ея будетъ, кажется, не безъинтересно для строителей. Кромѣ того, при перестройкѣ шпица и при исправленіи самого зданія собора встрѣчались такія работы и употреблялись нѣкоторые матеріалы, которые мало знакомы большей части строителей. Описаніе этихъ работъ и техническія кондиціи, приложенныя къ нѣкоторымъ изъ нихъ, могутъ послужить съ пользою будущимъ производителямъ подобныхъ работъ” [7].

Отметим, что строительство всемирно известного творения А.Г. Эйфеля – 300-метровой ажурной стальной конструкции, известной как Эйфелева башня, будет завершено в Париже лишь в 1889 году, спустя 30 лет после реконструкции шпиля Петропавловского собора. Эйфелева башня была построена в ознаменование столетней годовщины Французской революции 1789 года и выступала символом технических достижений XIX века на Всемирной выставке 1889 года в Париже. При возведении Эйфелевой башни, так же как и при возведении металлического шпиля Петропавловского собора, был применен ряд прогрессивных для того времени методов монтажа строительных конструкций. Заметим, что Эйфелева башня стала последним большим сооружением из кованого железа.

*Краткая справка. А.Г. Эйфель (1832–1923, Eiffel) французский инженер, создатель башни в Париже, носящей его имя, многих мостов и стальных конструкций. В 1855 году окончил колледж искусства и промышленности в Париже и специализировался на постройке стальных конструкций. В 1877 году Эйфель построил мост через реку длиной 162 м и виадук в Южной Франции, долгое время остававшийся самым высоким в мире (120 м), раз-*

*работал подвижный купол для астрономической обсерватории и стальную конструкцию для статуи Свободы в Нью-Йоркской гавани.*

В отчете Д.И. Журавского приведено детальное описание строения Петропавловского собора

“Колокольня собора, имѣющая съ крестомъ 400 футъ высоты, состоитъ изъ слѣдующихъ частей:

- a) Четырехэтажной башни, высоту 164 фута ( $\sim 49,99$  м)
- b) Купола со слуховыми окнами, высоту 22 фута ( $\sim 6,71$  м)
- c) Доломитоваго (большаго) фонаря, высоту 21 футъ ( $\sim 6,40$  м)
- d) Купола, покрывающего его, высоту 18,66 фута ( $\sim 5,69$  м)
- e) Малаго фонарика, высоту 16 футъ ( $\sim 4,88$  м)
- f) Шпица, высоту 132,34 фута ( $\sim 40,34$  м)
- g) Яблоко, діаметром 6 футъ ( $\sim 1,83$  м)
- и h) Креста с ангеломъ, высоту 20 футъ ( $\sim 6,10$  м)” [7].

Учитывая, что *фут* равен  $0,3048$  м, определим высоту Петропавловского собора –  $121$  м  $92$  см. Отметим, что в литературе чаще всего указывается, что высота Петропавловского собора составляет  $122,5$  м.

“Рѣшеніемъ вопроса о сопротивленіи раскошенной поверхности строитель шпица Д.И. Журавский занимался вмѣстѣ съ штабсъ-капитаномъ Рехневскимъ, которымъ составлена статья, относящаяся къ исчисленію напряженія частей стропиль шпица и сдѣланы всѣ имѣющіяся въ ней исчисленія” [7].

*Краткая справка. Рехневский Станислав Семенович (?–1885) – генерал-лейтенант и писатель, окончил курс в инженерном училище и в Академии Генерального штаба, где состоял профессором геодезии, написал труд “Телеграфы и применение их к военному делу” (СПб., 1872).*

**“Изученіе проэкта для возведенія верхней части колокольни.** При намѣреніи замѣнить въ колокольнѣ дерево прежней надстройки матеріаломъ болѣе долговѣчнымъ, первая мысль инженеровъ и архитекторовъ была обратиться къ желѣзу. Но какъ въ послѣдствіи былъ представленъ г. Тономъ проэктъ надстройки изъ кирпича, кажется лучшимъ рассмотреть и другіе строительные матеріалы, которые могутъ быть употреблены на возведеніе монументальной постройки” [10].

Напомним, что к началу реконструкции Петропавловского собора (1855 год) шестидесятилетний академик К.А. Тон уже был известным архитектором, с 1854 года – ректором по архитектурной части петербургской Академии художеств. Среди творений академика К.А. Тона к тому времени уже значились Большой Кремлевский дворец, Оружейная палата в

Кремле, железнодорожные вокзалы в Москве и Петербурге. В 1855 году по его проекту в Москве полным ходом шло строительство Храма Христа Спасителя. Отметим, что постройки академика К.А. Тона отличались передовыми решениями с использованием крупных металлических конструкций и высоким качеством строительных работ.



**Рис. 10. Петропавловский собор (фото 1960-х годов)**

Именно этим можно объяснить, почему 37-летний инженер Д.И. Журавский детально анализирует возможности построения надстройки из кирпича (проект академика К.А. Тона), камня и чугуна, несмотря на то, что инженерам того времени уже было достаточно очевидно, что строить новый шпиль Петропавловского собора следовало из железа.

“**Кирпичь.** Кирпичная кладка, предоставленная самой себѣ, не можетъ считаться долговѣчною въ борьбѣ съ разрушительными атмосферными переменами. Множество развалинъ и такъ мало хорошо сохранившихся зданій изъ числа построенныхъ во времена Римлянъ, Грековъ и древнихъ народовъ Азіи, не смотря на благопріятный климатъ, не позволяютъ думать, что бы зданія, построенныя изъ кирпича въ новѣйшее время, пережили много вѣковъ, особенно при разрушительномъ дѣйствиі мороза и оттепели, которымъ мало подвержены постройки южныхъ странъ. Въ нашемъ климатѣ кирпичныя постройки можно считать только тогда долговѣчными, когда онѣ укрыты отъ непосредственнаго дѣйствиія сырости и морозовъ, то есть подъ покровомъ штукатурки, исправляемой или возобновляемой чрезъ нѣкоторое число лѣтъ” [10].

Для того, чтобы понять, почему Д.И. Журавский вынужден был проанализировать вариант надстройки из камня, следует напомнить о выдающихся работах архитектора А.А. Монферрана (Огюст Рикар де Монферран, de Montferriand, 1786–1858, русский архитектор Август Августович Монферран), современником которых являлся молодой инженер, – в этих работах камень играет ведущую роль и как архитектурно-строительный материал, и как декоративный материал.

Так, в 1830–1834 годах по проекту А.А. Монферрана в ознаменование победы в Отечественной войне 1812 года была воздвигнута монументальная Александровская колонна из тёмно-красного гранита, установленная на постамент, украшенный бронзовыми барельефами аллегорического содержания. Подъём колонны весом около 600 т (высота свыше 25,5 м, нижний диаметр 3,66 м, верхний – 3,19 м) продолжался чуть более полутора часов и был чудом инженерной техники. Общая высота Александровской колонны (самой высокой колонны в мире), увенчанной бронзовой капителью и скульптурой ангела с крестом, – 47,5 м. Ангел попирает крестом змею – символ победы добра над злом.

В 1818–1858 годах архитектором А.А. Монферраном был спроектирован и построен Исаакиевский собор – его четвертый вариант. Закладка собора состоялась 26 июля 1819 года. В огромный котлован, площадью более 4000 квадратных метров, было вбито 10 762 заранее просмоленных свай, диаметром 27 см и длиной 6,4 м. Кроме того, в качестве основания для фундамента послужили 13 040 свай десятиметровой длины, которые остались от разборки третьего Исаакиевского собора – собора А. Ринальди. Первоначальный замысел архитектора А. Ринальди был значительно искажен императором Павлом I, и потому собор по предложению ведущих архитекторов того времени А.Н. Воронихина, А.Д. Захарова, Ч. Камерона, В.П. Стасова решили разобрать из-за архитектурных несовершенств. Сваи забивались почти вплотную друг к другу, а поверх свай был уложен сплошной настил-ростверк из гранитных

плит. На плиты был уложен фундамент высотой 7,5 м из мощных гранитных и бутовых блоков – по расчетам А. Монферрана этого было достаточно для возведения храма весом в 300 тысяч тонн. Кладка фундамента была завершена к осени 1820 года.

В период с 20 марта 1828 года по 11 августа 1830 года были установлены 48 огромных колонн (по 16 колонн на северном и южном портиках, по 8 – на западном и восточном). Установка каждой колонны высотой 17 метров, диаметром 1,8 метра и весом 114 тонн требовала около 45 минут – подобного и по сей день никогда и нигде повторить не удалось. Заметим, что всего было установлено 112 монолитных колонн: 48 под портиками, 24 на барабане, 32 в колокольнях и 8 у оконных проемов. Отметим, что выдающимся достижением строительной техники того времени была и установка на 43 метровой высоте (на барабане) 24 монолитных колонн весом 64 т каждая с помощью блоков и канатов.

Перед проектированием самой сложной части Исаакиевского собора – барабана и купола, А.А. Монферран тщательно изучил подобные конструкции знаменитых европейских храмов – собор святого Петра (1586–1593, архитекторы Микеланджело и Дж. делла Порта) в Риме, собор святого Павла в Лондоне (1675–1710, архитектор К. Рен), собор инвалидов (1680–1706, архитектор Ж. Ардуэн-Мансар) и Пантеон (1758–1790, архитектор Ж. Ж. Суфло) в Париже и принял решение создать легкий, но прочный металлический трехсферный купол с внутренним диаметром около 22 метров и наружным диаметром 25,8 метров. В то время еще не были разработаны методы расчета куполов и поэтому в связи со строительством Исаакиевского собора уже упоминавшиеся французские инженеры, подполковники Г. Ламэ и Б. Клапейрон специально разработали теорию арок и метод исследования устойчивости сводов [11], с помощью которого выполнили необходимые расчеты. Вес металлической конструкции купола составил 2226,5 тонны, что значительно легче каменных куполов римского и лондонского соборов.

Строительство Исаакиевского собора высотой 101,52 м было завершено в 1858 году, спустя сорок один год, после того как молодой А.А. Монферран приступил к проектированию собора. Собор был торжественно открыт 30 мая 1858 года, но уже 28 июня 1858 года архитектор А.А. Монферран умер. После смерти А.А. Монферрана гроб с его телом обнесли вокруг собора. В завещании, составленном в 1835 году, зодчий просил похоронить его в одном из склепов Исаакиевского собора, но Александр II отказал ему в этом, и вдова архитектора похоронила его в Париже...

Отметим, что именно в этом же 1858 году была завершена и реконструкция Петропавловского собора.

Достаточно очевидно, что молодой инженер Д.И. Журавский не мог упустить уникальной возможности изучить опыт грандиозного строительства Исаакиевского собора, что, естественно, не могло не повлиять на его работу.

“**Камень.** Надстройка из тесового камня представляла бы неудобство по значительности груза и большой дороговизнѣ. Грузъ надстройки нельзя не принять въ соображеніе потому, что соборъ построенъ безъ свайнаго основанія, на грунтѣ довольно слабомъ” [10].

Отметим, что в истории Петропавловского собора никогда не проводилось обследование состояния основания и фундаментов, поэтому замечание Д.И. Журавского “соборъ построенъ безъ свайнаго основанія, на грунтѣ довольно слабомъ” [10] требует современного комментария и уточнения.

Летом 2002 года впервые была проведена оценка геологических условий площадки собора на основе детального обследования технического состояния основания и фундаментов собора [12]. Результаты бурения 10 скважин (в том числе наклонных) длиной 4–7 м внутри собора, а также скважины на глубину 22 м на расстоянии 8 м от колокольни собора позволили установить:

фундаменты – бутовые, сложены в основном из рваного известняка на известково-песчано-глинистом растворе; глубина заложения фундаментов – 3,1–3,5 м;

под колокольной собора лежит сплошная плита размером 12 м × 12 м, под стенами – ленточные фундаменты с шириной подошвы 3,7 м, под колоннами – столбчатые фундаменты с размером подошвы 3,58 × 3,58 м;

несущий слой фундаментов – среднезернистый песок средней плотности мощностью 3,2 м, имеющий хорошие строительные свойства;

подстилающие грунты – сильносжимаемый мягкопластичный пылеватый суглинок мощностью 2,9 м и ленточный суглинок мощностью 7,1 м;

кровля плотных моренных отложений находится на глубине 20,4 м.

Наконец, отметим один из основных результатов обследования – “учитывая значительные размеры фундаментов, можно считать, что их прочность на действующие нагрузки (на смятие по обрезу и продавливание ступеней) достаточна и усиление фундаментов не требуется. Длительные осадки ползучести грунтов стабилизировались и не превышают в настоящее время 0,4 мм за 10 лет. Поэтому усиливать основание фундаментов собора нет необходимости” [12].

Продолжая анализ применимости в качестве строительного материала камня, Д.И. Журавский пишет: “О чувствительности основанія къ добавляемымъ на колокольнѣ грузамъ можно су-

дить по слѣдующему наблюдению. Весною 1858 года была перештукатурена стѣна вдоль одной изъ прежнихъ трещинъ, идущихъ по фасаду, обращенному къ монетному двору, съ верху къ низу наклонно отъ стѣнъ собственно колокольни къ боковымъ продольнымъ стѣнамъ собора; черезъ нѣсколько недѣль, когда было положено въ фонарикъ колокольни отъ 10 до 15 тысячъ пудовъ ( $\sim 163,8 \text{ т} \dots 245,7 \text{ т}$ ) доломитоваго камня, трещина обнаружилась опять по всей длинѣ прежней трещины, т.е. она увеличилась” [10].

Результаты анализа ежедневныхъ инструментальныхъ измерений в 2001–2002 годахъ ширины самой большой трещины (до 60 мм на северной стене) свидетельствуют [12], что трещина “дышит”. Трещина не только расширяется, но и сужается, причемъ наиболее вероятная причина изменения ширины трещины – сезонные температурные колебания, на которые влияют и ветровые воздействия, охлаждающие стену.

Продолжая анализъ возможныхъ материалов, Д.И. Журавский отмечает: “чугунъ почитается хорошимъ строительнымъ матеріалом, когда онъ назначенъ къ сопротивленію большимъ сжимающимъ усиліямъ, при незначительной длинѣ частей, сравнительно съ поперечными ихъ размѣрами. Сопротивленіе чугуна менѣе желѣза, когда онъ употребленъ въ видѣ длинныхъ тонкихъ брусковъ, изъ которыхъ предстояло сдѣлать стропила шпица, что бы придать имъ, по возможности, меньшій вѣсъ, а слѣдовательно и меньшую стоимость. Но какъ однѣ части стропиль при дѣйствиіи вѣтра по направленію на шпиць подвергаются сжимающимъ усиліямъ, тогда какъ другія должны растягиваться, то, принимая во вниманіе переменчивость направленія вѣтра, употребленіе чугуна было бы тѣмъ безвыгоднѣе, что онъ сопротивляется разрыву въ три раза менѣе желѣза и слѣдовательно частямъ шпица пришлось бы давать гораздо большее сѣченіе, что поглащало бы сбереженіе отъ сравнительно меньшей цѣны чугуна.

И по тому при устройствѣ стропиль шпица отдано предпочтеніе желѣзу.

Форма шпица была задана: усѣченная восьмигранная пирамида, съ правильнымъ восьмиугольникомъ въ горизонтальномъ сѣченіи. Стропила шпица должны были удовлетворять главнымъ условіямъ:

а) Сопротивляться частымъ дѣйствиамъ бурь и выдержать напоръ самого сильнаго урагана, какой возможно ожидать въ нашемъ климатѣ.

б) Выдерживать, кромѣ горизонтальныхъ силъ, производимыхъ порывами бурь, грузы какъ свой собственный, такъ и мѣдной обшивки съ крестомъ” [10].

Отметим, что *буря* – это очень сильный ветер, который наблюдается, какъ правило, при грозе и приводит к большому волнению на море (*шторм*) и к разрушениям на суше, скорость ветра у земной поверхности может превышать 20 м/с. *Шквал* – кратковременные усиления

ветра до скоростей 20–30 м/с, ураган (франц. *ouragan*, от исп. *huracan* – слово заимствовано из языка карибских индейцев) – ветер разрушительной силы (по шкале Бофорта – 12 баллов) и значительной продолжительности, имеющий скорость больше 30 м/с, а отдельными порывами ветер может достигать скорости 50–100 м/с.

Основной нагрузкой на высотное сооружение, каким является шпиль Петропавловского собора, естественно, будет ветровая нагрузка. В связи с этим чрезвычайно интересно отметить, какие исходные данные и рассуждения послужили Д.И. Журавскому основой для выбора скорости ветра и интенсивности ветровой нагрузки.

“При расчетъ устойчивости стропиль шпица принято для наибольшаго давленія, которое может производить вѣтръ: 1 пудъ на 1 квадратный футъ поверхности, что близко подходит к давленію, производимому ураганомъ, т. е. 186 килограммовъ на квадратный метръ (Morin, Résistancé des matériaux, page 283; по наблюденіямъ, сдѣланнымъ в Парижѣ, буря, которая вырвала многія большія деревья съ корнями, производила давленіе 22 фунтовъ на 1 квадратный футъ) или 51,1 пуда на квадратную сажень. Эта величина слишкомъ въ 1½ раза болѣе давленія, производимаго самою сильною бурей, при которой воздухъ движется со скоростію 30 метровъ въ секунду (Claudel, Formules, tables et renseignements pratiques, page 235) и составляетъ только ⅔ давленія, производимаго экваторіальными ураганами, т. е. 277 килограммовъ на 1 квадратный метръ, при скорости вѣтра въ 45 метровъ въ 1 секунду... Важность сооружеія побудила принять высшую величину для давленія вѣтра” [10].

Напомним используемые в отчете Д.И. Журавского [10] единицы измерения.

Пуд – это единица веса (массы), применявшаяся в России и впервые упоминающаяся в документах XII века; 1 пуд = 40 фунтам  $\approx 16,38$  кг.

Фунт (польский *funt*, от немецкого *Pfund* и латинского *pondus* – вес, тяжесть, гиря) – единица массы в русской системе мер, отмененной в 1918 году; 1 фунт (торговый) =  $\frac{1}{40}$  пуда = 32 лотам = 96 золотникам = 9216 долям = 0,40951241 кг.

Вспоминая, что сажень равна 213,36 см, вычислим: 1 пуд/фут<sup>2</sup>  $\approx 176,31$  кг/м<sup>2</sup>; 51,1 пуд/сажень<sup>2</sup>  $\approx 183,87$  кг/м<sup>2</sup> (обратим внимание, что у Д.И. Журавского – 186 кг/м<sup>2</sup>), 22 фунт/фут<sup>2</sup>  $\approx 4,41$  кг/м<sup>2</sup>.

Интересно сравнить скорости ветра и давления, которые легли в основу расчетов Д.И. Журавского и С.С. Рехневского в середине XIX века с соответствующими нормативными данными конца XX века [13–17]. В работе [16] отмечается, что ураганы – атмосферные вихри больших размеров, обладающие энергией порядка  $4 \cdot 10^{16}$  Дж, со скоростью ветра до 120 км/ч ( $\approx 33,33$  м/с), а в приземном слое – до 200 км/ч ( $\approx 55,56$  м/с); в 1928 году в Пуэрто-Рико была зафиксирована скорость ветра – 230 км/ч ( $\approx 64$  м/с) [16]. Для тропических циклонов,

возникающих над океаном по обе стороны от экватора за счет тяги перегретого и влажного воздуха в верхние холодные слои атмосферы и вращения образовавшейся атмосферной воронки, по данным работы [17] характерны скорости ветра 60–70 м/с. Установлено, что в сентябре 1958 года в западной части Тихого океана ураганом “Ида” была достигнута рекордная скорость ветра – 113 м/с (~407 км/ч). Примерами ветров с высокими скоростями могут служить ветер борá на Мархотском перевале под Новороссийском (наблюдаются порывы до 60–70 м/с), ветры на Новой Земле (40–50 м/с) и сильный местный ветер сарма на Байкале.

Разрушительное действие ураганов определяется, в основном, скоростным напором  $q$ , который пропорционален произведению плотности атмосферного воздуха на квадрат скорости воздушного потока  $q_I = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$ .

Согласно Строительным нормам и правилам СНиП 2.02.07-85 “Нагрузки и воздействия” [13, 14] максимальное нормативное значение ветрового давления  $q$  для территории России (VII ветровой район, где расположены города Анадырь и Петропавловск-Камчатский) при плотности воздуха  $\rho = 1,22 \text{ кг/м}^3$  составляет  $q_{VII} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{VII}^2 = 0,85 \text{ кПа} = 86,73 \text{ кг/м}^2$ , что соответствует скорости ветра  $v_{VII} = 37,3 \text{ м/с}$  (~134 км/ч).

Санкт-Петербург расположен во II ветровом районе [13, 14], где также расположены города Екатеринбург, Казань, Пермь, Уфа, Якутск и др., и максимальное нормативное значение ветрового давления в этом регионе принято  $q_{II} = 0,30 \text{ кПа} = 30,61 \text{ кг/м}^2$ , что соответствует скорости ветра  $v_{II} = 22,18 \text{ м/с}$  (~80 км/ч).

Следовательно, “коэффициент запаса ветровой нагрузки” равен  $k = 186 \text{ кг/м}^2 / 30,61 \text{ кг/м}^2 \sim 6,1$ , то есть Д.И. Журавским и С.С. Рехневским, учитывая “важность сооружения”, в середине XIX века в расчетах была принята “высшая величина для давления вѣтра” – ветровое давление было принято в 6,1 раза (!) больше чем то, что рекомендуют в настоящее время Строительные нормы и правила – СНиП 2.02.07-85 “Нагрузки и воздействия” [13].

“Кромѣ силы вѣтра, на ребро дѣйствуетъ еще грузъ самого шпица, отъ чего увеличивается напряженіе сжимаемыхъ и уменьшается напряженіе растягиваемыхъ реберъ. Для большей легкости вычисленія, положимъ, что шпиць по всей высотѣ имѣетъ одинаковый вѣсъ на единицѣ длины; это предположеніе не будетъ вѣрнымъ, такъ какъ въ низу и діаметръ и размѣры частей шпица гораздо болѣе, чемъ въ верху, но допускается по тому, что оно служить въ пользу устойчивости, увеличивая нѣсколько величины напряженія, а слѣдовательно и размѣры частей стропиль” [10].

Чрезвычайно важным является вопрос о соединении стропил шпиля с каменной кладкой колокольни. “Въ первоначальномъ проэктѣ были допущены только связи, заложенные въ каменную

кладку. Во время производства работ, при разборке каменного фонарика, что над алтарем собора, оказалось, что скобы, связывающие между собою камни, были до того повреждены, что ломались и рассыпались в руках; это обстоятельство подало мысль, что и связи, закладываемые в кладку, через некоторое, хотя может быть и довольно продолжительное время, могут тоже поржаветь, как это случилось с укрепляющими цепями висячих мостов, и тогда шпиль потерял бы значительную часть его устойчивости. А по тому сделаны другие открытые связи, которые могут быть осматриваемы, окрашиваемы и тем предохранены от ржавчины” [10].

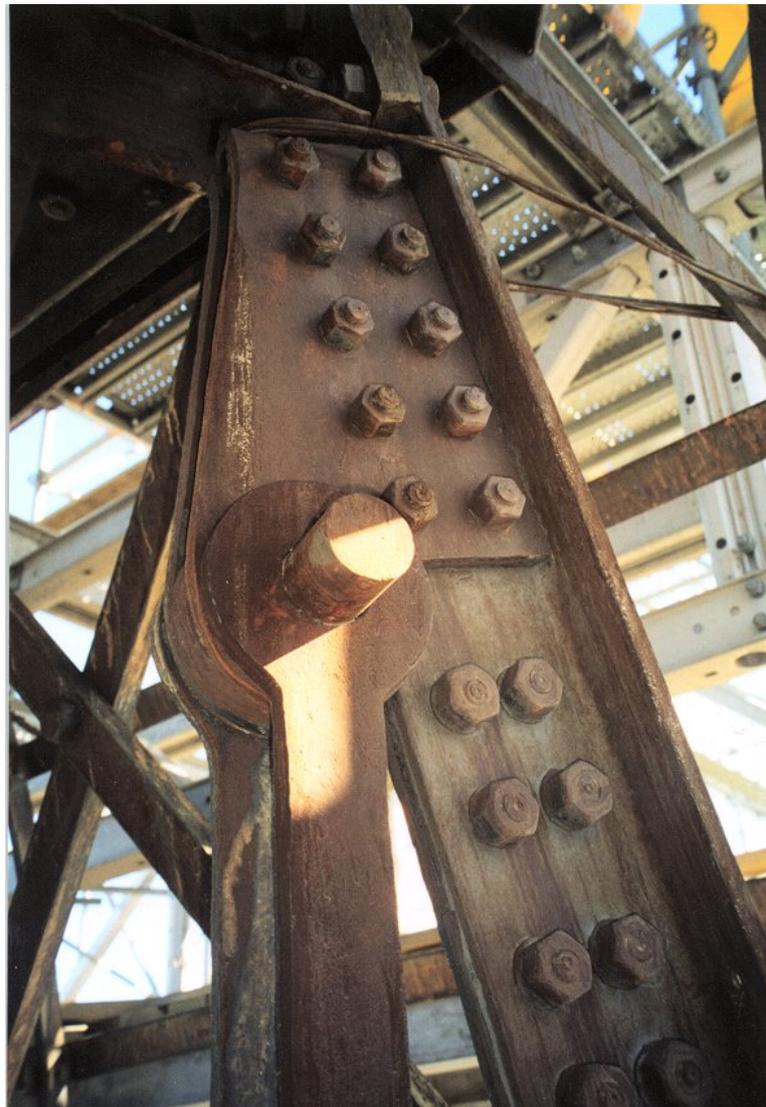
Итак, “стропила шпица привязаны к каменной кладке 8 железными связями, помещенными внутри каменной кладки, и 8 открытыми связями (тяжами), прикрепленными к сильным железным балкам, заданным в стены ниже помещения часов” [7].

“Обе системы связей прикреплены на высоту около 7 сажень (~15 м) от верха каменной кладки, так что весь удерживающего каменного массива больше 60 000 пудов (~982,8 т). Связи, помещенные внутри каменной кладки, состоят из стержня диаметром  $2\frac{3}{8}$  дюйма (~6,03 см), нижний конец которого, проходя сквозь гранитный камень, оканчивается нарезкой и гайкой, служащей для натяжения связи. Открытые или наружные связи составлены из двух железных полос в  $3\frac{1}{2} \times 1$  дюйма (8,89 см × 2,54 см), оканчивающихся вверху проушинами, посредством которых соединяются трехдюймовым круглым шкворнем с двумя листами, обхватывающими ребра и скрепленными с ними 10 дюймовыми (25,4 см) болтами” [10].

“Приготовление и сборка железных стропил шпица Петропавловского собора [10]. Все части стропил шпица приготовлены и предварительно собраны были на Камско-Воткинском железодобывательном заводе в Вятской губернии. Первоначально стропила полагалось изготовить в С.Петербурге и заказать на Воткинском заводе только угловое железо больших размеров, которого здешние заводы не могли прокатать. Но петербургские заводчики или вовсе отказывались от подряда или назначали довольно высокую цену (вся работа, считая вместе с угловым железом, за которое заводу причиталось  $2\frac{1}{2}$  рубля, обошлась бы до 12 рублей с пуда); а по тому было предложено и отдано Воткинскому заводу все приготовление и установка стропил.

При трудности производить работы в морозное время на открытом воздухе, сборка стропил была начата в свободном помещении одного из заводских зданий. В январе и начале февраля производились работы подготовительные, как то: расчерчивание стропил шпица в настоящей их величине, изготовление деревянных моделей всех частей шпица; правка углового железа, пригото-

леніе основанія подъ стропила и т. п. и наконецъ 14 февраля уложено было основное кольцо, а за тѣмъ были собраны и всѣ остальные части стропиль” [10].



**Рис. 11. Фрагмент металлоконструкции шпиля. Открытая связь, составленная из двух железных полос и оканчивающаяся проушиной с “трехдюймовымъ круглымъ шкворнемъ”**

Шпиль Петропавловского собора состоит из следующих частей:

а) “Основное кольцо стропиль – составлено изъ 8 частей, взаимно скрѣпленныхъ въ стыкающихся концахъ помощію планокъ и болтовъ. Для каждой такой части кольца прокатана была доска, длиною въ 9 футовъ ( $\sim 2,74$  м) требуемаго поперечнаго сѣченія  $10 \times 1$  дюймъ ( $25,4$  см  $\times$   $2,54$  см); она разрѣзывалась на двѣ равныя части поперегъ подъ угломъ. Наклонно срѣзанные концы, наложенные одинъ на другой на 4 дюйма ( $\sim 10,16$  см), сваривались по шаблону подъ угломъ, требуемымъ проэктомъ. Сварка пробовалась ударами 20 фунтоваго ( $\sim 8,2$  кг) молота и бросаніемъ съ высоты 4 футовъ ( $\sim 1,22$  м) на острую наковальню. При пробѣ ни одна изъ сваренныхъ частей не дала трещины. Для скрѣпа между собою частей кольца употреблены были вмѣсто болтовъ заклепки въ раскраску, въ по-

тайку, т. е. верхняя головка сдѣлана конической формы и въ гладь съ поверхностію склепываемыхъ частей [10].

Проблема выполнения соединений в строительных конструкциях в различные периоды решалась по-разному. Самый первый вид *сварки* – горновая или кузнечная *сварка* – изделия из железа соединяли путем их нагрева до «сварочного жара» в кузнечных горнах с последующей проковкой молотом, этот способ *сварки* был распространен вплоть до конца XIX века. Именно о такой *сварке* и пишет в отчете Д.И. Журавский.

*Болты и гайки* появились в Европе примерно в середине XVI века, первые резьбонарезные станки для массового производства были созданы в конце XVII века. Около 1830 года появились *заклепки* [14], которые ставились в горячем виде в предварительно образованные в деталях отверстия («дыры»). Внедрение *клепанных соединений* позволило создавать новые конструктивные формы – клепанные балки, фермы, котлы, резервуары. Использование *клепки* как специфического технологического процесса способствовало тому, что изготовление металлических конструкций сосредоточивалось в мастерских и на заводах, так как требовало специального оборудования и квалифицированных рабочих. В *заклепном соединении* не возникает коррозии, гальванических пар и тому подобных процессов, поэтому прочность и надежность соединения не изменяется длительное время. Наибольшее распространение получили клепанные соединения, выполненные заклепками с потайными головками (у Д.И. Журавского – «заклепки въ раскраску, въ потайку»), которые позволяют получить гладкую поверхность изделия («верхняя головка сдѣлана конической формы и въ гладь съ поверхностію склепываемыхъ частей»).

Учитывая, что Д.И. Журавский проектировал металлический шпиль Петропавловского собора в середине XIX века, всего лишь через 20 лет после появления *заклепок*, то именно технология создания клепанных соединений должна быть безусловно признана ярким примером высокой технологии того времени – Hi-Tech XIX века.

б) «*Стропильные ребра*. Каждое изъ восьми стропильныхъ реберъ состоитъ изъ двухъ рядовъ углового желѣза, свинченныхъ между собою болтами» [10].

«Желѣзо поступало въ правку послѣ повѣрки размѣров и предварительнаго осмотра, не имѣеть ли оно какихъ либо наружныхъ пороковъ» [10].

Весьма интересны разъяснения Д.И. Журавского относительно пороков железа: «пороками желѣза называются всѣ его недостатки, какъ то: волосовины, сѣдины, рванины, трещины, непроварки, плены и т. п. Волосовинами и сѣдинами называются наружныя небольшія трещинки и непроварки; рванинами – поперечные трещины, происходящія отъ охлажденія желѣза въ валкахъ, при чемъ во-

локна, не имѣя возможности растягиваться, рвутся; пленами называются всякія болѣе глубокія трещины, углубленія и пустоты.

в) *Кольца*. Кольца составлялись изъ такого же углового желѣза, какъ и ребра. Части колець усилены растяжками, сдѣланными изъ полосоваго желѣза: въ низу шпица сѣченіем  $4 \times \frac{5}{8}$  дюйма ( $10,16 \text{ см} \times 1,59 \text{ см}$ ), далее  $3 \times \frac{1}{8}$  дюйма ( $7,62 \text{ см} \times 0,32 \text{ см}$ ) и наконецъ  $2 \times \frac{1}{8}$  дюйма ( $5,08 \text{ см} \times 0,32 \text{ см}$ ). Дыры для болтовъ, посредствомъ которыхъ кольца скрѣпляются съ ребрами, сверлились трещетками на мѣстѣ сборки за разъ какъ въ кольцахъ, такъ и въ ребрахъ. Дыры для болтов, скрѣпляющихъ кольца съ растяжками, въ растяжкахъ пробивались машиною, а въ кольцѣ сверлились трещетками на мѣстѣ сборки. Всѣ эти дыры, какъ въ кольцахъ, такъ и въ ребрахъ сверлились цилиндрическія, діаметромъ равнымъ наименьшему діаметру конического болта; коническая форма была имъ придаваема уже на мѣстѣ окончательной сборки.

г) *Раскосы*. Раскосы сдѣланы изъ полосоваго желѣза, имѣющаго по концамъ лапы, служащія для скрѣпленія раскосовъ съ ребрами и кольцами. Сварка пробовалась ударами 20 фунтоваго ( $\sim 8,2 \text{ кг}$ ) молота и бросаніем на острую наковальню съ высоты около 4 футъ ( $\sim 1,22 \text{ м}$ ). Впрочемъ доброту сварки узнать подобною пробою трудно, хотя конечно дурная сварка оказывалась трещиною, а если была наклепана, то и ломалась; лучше же всего узнавать доброту сварки во время самой работы; при нагрѣвѣ хорошая сварка почти не будетъ замѣтна, дурная же оттѣнится черною полосой. Для присмотра за кузнецами при сваркѣ раскосовъ приставленъ былъ особый старшій мастеръ. Хорошая сварка въ прочности своей не уступаетъ цѣльному желѣзу; такъ при опытахъ сваренные прутки рвались при той же средней нагрузкѣ въ 22 тонны на квадратный дюймъ, какъ и цѣльныя полосы” [10].

Отметим, что предел прочности, равный “22 тонны на квадратный дюймъ”  $\sim 3410 \text{ кг/см}^2$  отвечает нижнему значению предела прочности для углеродистой горячекатаной стали обыкновенного качества – Ст. 2.

Интересно сопоставить определения наклепа: Д.И. Журавского – “наклепомъ называется глянецъ, наводимый на желѣзо молотомъ при холодномъ его состояніи; отъ наклепа свойства железа измѣнялись; изъ мягкаго оно становилось твердымъ и ломкимъ” [10] и современное – наклепомъ называется технологический процесс создания упрочненного состояния материала холодной поверхностной пластической деформацией; наклеп осуществляютъ специальными способами и на специальномъ оборудовании, например, производятъ обкатку цилиндрическихъ поверхностей роликами, обработку ударными инструментами и др.



**Рис. 12** Фрагмент металлоконструкции шпиля.  
На фотографии представлены стропильные ребра, кольцо и раскосы

д) “Болты. Дюймовые болты готовились из круглого железа толщиной  $1\frac{1}{4}$  дюйма ( $\sim 3,18$  см), а трех-четвертные из 1 дюйма ( $2,54$  см); для образования шляпки один конец болта обваривался и

ему придавалась шестиугольная форма; коническая форма придавалась стержню болта на токарных станках. Болты и гайки нарезывались или машинами или же ручной работой.



**Рис.13. Фрагмент металлоконструкции шпиля.  
На фотографии представлены стропильные ребра, кольцо и раскосы**

**Общий ходъ работъ.** Въ неделю среднимъ числомъ поднимались работою на 17 футовъ (~5,18 м), то есть на одну двойную штагу и два или три яруса раскосовъ и колець. Когда работа была возведена до 8 сажень (~17 м), то есть на высоту зданія, въ которомъ производилась сборка, тогда разобравъ потолокъ и крышу, работали съ лѣсов, поставленных на стены самого зданія, въ этотъ періодъ работы время года позволяло уже работать на открытомъ воздухѣ.

Въ рабочіе дни ставили штаги, кольца, раскосы, сверлили дыры и прочее; а по праздникамъ, снявъ всѣ внутреннія разметки повѣрялась правильность работъ. Окончательная же повѣрка всѣхъ

работы по установке всех стропиль, была сделана опусканием отвеса с самого верха на нижний основной пол.

Дырам в стропилах придаваема была коническая форма развертками, имеющими коническую форму с точно таким уклоном производящих, как и в болтах. Дыры не разворачивались до диаметра, соответствующего толщине болта, так что шляпка до  $\frac{1}{2}$  дюйма (1,27 см) не доходила на свое место; окончательно же болт загонялся ударами молотка. Скрепленная таким образом масса оказывалась до того однородною, что звук издаваемый болтом при ударе молотка, был совершенно подобен звуку, издаваемому цельным сплошным железом.

Работами на Воткинском заводе завывал горный кондуктор Девятов, под непосредственным руководством горного начальника Воткинского завода, инженер-полковник Юсса, со стороны строителей шпица находился на заводе инженер-штабс-капитан Рехневский. При приготовлении и установке ребер и колец находился старший мастер паровозного цеха Ивуков, а при изготовлении раскосов и болтов, равно как и всех слесарных работах – старший мастер цехного цеха Зорин. Все работы окончены были на заводе к 1 мая 1858 года.

Быстрота работ на заводе обязана большим средствам завода, имевшего возможность назначать ежедневно по 400 человек на работы стропиль, не прерывая других работ; а также установлению для работ шпица задельной платы, рассчитанной на том основании, что каждый рабочий за всю произведенную им работу, сверх назначенного ему казенного урока, получал от 40 до 50 копеек за каждый выработанный им лишний урок, то есть в 4 и 5 раз больше получаемого им из казны содержания” [10].

В отчете Д.И. Журавского содержатся интересные сведения и относительно трудоемкости выполняемых работ. “При приготовлении частей и предварительной сборке задаваемы были следующие уроки:

на выправку 1 штаги с обрешкою и выравниванием концов: кузнецов – 1, слесарей – 2, рабочих – 9; на отковку 1 толстой двурогой лапы с пригонкою на место: кузнецов – 5, слесарей – 1, рабочих – 15;

на отковку 8 болтов, длиной от 3 до 5 дюймов, диаметром в 1 дюйм: кузнецов – 1, рабочих – 1; на обточку 5 таких болтов: токарей – 1; на нарезку руками 10 таких болтов: слесарей – 1; на нарезку на машинке 30 болтов: токарей – 1;

на отковку 12 гаекъ къ болтамъ: кузнецовъ – 1; рабочихъ – 1; на нарезку 30 гаекъ руками: слесарей – 1; на нарезку 50 гаекъ на машинѣ: токарей – 1;

на машинное сверленіе 10/6 дыръ въ тонкихъ/толстыхъ раскосныхъ лапахъ: токарей – 1; на ручное сверленіе 4 дыръ въ штагахъ для раскосовъ: слесарей – 1” [10] – здесь указаны лишь некоторые основные уроки.

**“Доставка стропиль шпица въ С.-Петербургъ.** Распятнавъ всѣ части предварительно собранныхъ стропиль, ихъ разобрали, окрасили суриковою масляною краскою и нагрузили на баржу для доставки водою до Твери. Баржа по теченію рѣки Вотки была спущена въ рѣку Кама и оттуда на буксирѣ у парохода “Лоцманъ” доставлена на девятый день въ Рыбинскъ. Далѣе ни пароходъ, ни баржа по мелководію рѣки Волги идти не могли; стропила были перегружены на три “тихвинки” (маленькие баржи), дошедшіе къ 26 мая до Твери на бичевой. Изъ Твери въ С.-Петербургъ стропила доставлены были по Николаевской желѣзной дорогѣ. Вся перевозка 3500 пудовъ (~57,33 т) желѣзныхъ стропиль и 29 мастеровыхъ обошлась до 3300 рублей.

**Установка стропиль шпица на мѣсто.** Для установки стропиль шпица присланы были въ С.-Петербургъ съ завода горный кондукторъ Девятовъ съ 29 человекъ мастеровыхъ. Стropила шпица были доставлены въ С.Петербургъ въ концѣ мая. Нижніе двулапчатые хомуты связей приготавливались въ С.-Петербургѣ на заводѣ Нобеля.

Работы здѣсь, как и на заводѣ, производились въ нѣсколькихъ ярусахъ; в одномъ ставились штаги, въ другомъ кольца, въ третьемъ раскосы и вездѣ развертывались дыры и загонялись коническіе болты. Провѣшиванію здесь, какъ и на заводе, мешалъ вѣтер; и чемъ выше поднимались, темъ болѣе относило отвѣсы; въ следствіе чего для уменьшенія отвѣшиваемой высоты сдѣлана была, какъ и на заводе, на высоте 11 сажень (~23,5 м) отъ основанія стропиль, площадка, по которой производилась провѣска всей верхней части стропиль” [10].

В отчете Д.И. Журавского [10] содержится также смета, в которой представлены 38 статей расходов, наименования всех работ и “сколько уплачено за работы”. Общая стоимость работ составляет 312 209 рублей и 39¼ копеек. Вспомним, что “вся перевозка 3500 пудовъ желѣзныхъ стропиль и 29 мастеровыхъ” из Вятской губернии до С.-Петербурга “обошлась до 3300 рублей”, то есть составила примерно 1/100 часть от общей стоимости работ. В этой же смете указаны “Административные расходы, какъ то: содержаніе строителю шпица, его помощникамъ и прочимъ чинамъ, при постройкѣ состоявшимъ, наемъ десятниковъ, порціоны, прогоны и подъемныя деньги, канцелярскія потребности и награды по окончаніи работъ”, которые составили 20 701 рубль

71½ копейку. Легко вычислить, что накладные расходы, или, как тогда говорили, “административные расходы”, в середине XIX века составляли всего ~ 6,63% от общей стоимости работ, что значительно (по крайней мере, в 2-3 раза) меньше современных накладных расходов.

В процессе реконструкции Петропавловского собора в 1857–1858 годах ангела Ринальди спустили со шпиля на землю. Приговор инженеров и мастеров был беспощаден – третьему ангелу уже не летать. Тогда-то и был сделан четвертый ангел, фигуру которого спроектировал скульптор академик Р. Залеман. Этот, всем нам знакомый ангел, по-видимому, является точной копией ангела Ринальди. Именно для четвертого ангела Д.И. Журавский предложил оригинальную конструкцию поворотного механизма флюгера.



Рис. 14. Флюгер “Ангел” на шпиле Петропавловского собора

“Фигура ангела сдѣлана изъ мѣдныхъ листовъ въ  $\frac{1}{16}$  дюйма ( $\sim 1,6$  мм) толщины. Для легкаго вращенія фигуры ангела вокругъ стержня креста необходимо, что бы центръ тяжести фигуры и его внутреннихъ раскрѣпъ находился на оси стержня. Прежняя фигура ангела была поставлена внѣ

стержня, въ разстояніи от него около фута, и была съ нимъ связана въ верху и въ низу фигуры брускомъ железа, надѣтымъ проушиною на круглую часть стержня такъ, что при вращеніи фигуры проушина скользила по закраинамъ стержня, сделаннымъ въ обоих мѣстахъ прикрѣпленія къ нему фигуры ангела. При такомъ способѣ соединенія и скользенія желѣза по желѣзу, вращеніе фигуры требовало значительной силы для преодоленія тренія, тѣмъ болѣе, что ось стержня, около котораго происходило вращеніе, находилась внѣ плоскости фигуры ангела. Первоначально фигура ангела была неподвижна на крестѣ; но какъ стержень креста былъ сломанъ ударомъ ветра на значительную поверхность, представляемую фигурою, то было устроено вращеніе ангела по способу только что описанному и представлявшему также большіе недостатки. Вновь сделанная теперь фигура ангела поставлена такъ, что ось стержня приходится въ плоскости фигуры, а центр тяжести всей вращающейся системы приведенъ на ось стержня добавленіемъ до 10 пудовъ ( $\sim 163,8$  кг) свинца внутрь фигуры, представляющей неровныя поверхности по обѣимъ сторонамъ оси, съ тою цѣлью, чтобы фигура была послушнѣе дѣйствію вѣтра и передавала стропиламъ шпица, въ слѣдствіе своего сопротивленія вращенію, удары вѣтра, которыхъ дѣйствіе было бы тѣмъ значительнѣе для стропиль, что оно происходило бы на огромномъ рычагѣ, въ мѣстѣ наиболѣе отдаленномъ отъ основанія стропиль, гдѣ ихъ можно разсматривать вдѣланными въ стѣну. Фигура ангела составлена изъ нѣсколькихъ штукъ, связанныхъ между собою мѣдными болтиками; голова, руки и ноги сдѣланы гальванопластически, остальные части штампованы изъ листовъ мѣди” [10].

Д.И. Журавскимъ была предложена новая конструкция поворотного механизма – теперь вес ангела вместе съ противовесомъ воспринимался специальнымъ цилиндрическимъ выступомъ на спице. Поворотный механизмъ содержалъ четыре опорныхъ узла – одинъ упорный и три радиальныхъ. Упорный узелъ содержалъ четыре ролика съ горизонтально расположенными осями – “железная муфта имѣетъ внутри четыре маленькихъ катка, вращающихся на стальныхъ горизонтальныхъ осяхъ” [10] и опирающихся на цилиндрический выступ. Въ каждомъ изъ трехъ радиальныхъ опорныхъ узловъ (нижнемъ, среднемъ и верхнемъ) было по восемь роликовъ съ вертикально расположенными осями, расположенныхъ въ два ряда – “катковъ, облегчающихъ вращеніе фигуры ангела вокругъ стержня креста” [9]. Къ разъемнымъ корпусамъ радиальныхъ опорныхъ узловъ крепился каркасъ ангела – съ одной стороны для верхнего узла и съ двухъ сторонъ для среднего и нижнего опорныхъ узловъ.

Все намеченные работы по реставрации Петропавловского собора, установке нового металлического шпиля и флюгера “Ангел” на нем были “окончены въ теченіе полутора года, и соборъ освященъ 30 ноября 1858 года” [7].

Несомненно, что новая система подвески и конструкция поворотного механизма ангела была лучше всех предыдущих. Важно подчеркнуть, что эта уникальная конструкция поворотного механизма флюгера “Ангел”, предложенная Д.И. Журавским, исправно проработала свыше 130 лет! Это был самый длинный безремонтный период в жизни Петропавловского собора...

Чрезвычайно интересно отметить, что с именем русского инженера Д.И. Журавского тесно связаны имена выдающихся ученых-механиков Политехнического института императора Петра Великого: В.Л. Кирпичева (1845–1913, профессор Политехнического института с 1903 года), И.Г. Бубнова (1872–1919, преподавал в Политехническом институте с 1904 года, профессор с 1909 года), С.П. Тимошенко (1878–1972, с 1903 года вел семинарские занятия по курсу профессора С.И. Дружинина “Сопротивление материалов” и курсу профессора И.В. Мещерского “Теоретическая механика”). В феврале 1911 года профессор С.П. Тимошенко за противодействие правительственной политике управления учебными заведениями был отстранен от государственной службы. В том же году, с целью получения средств для существования, С.П. Тимошенко подал свои работы “Об устойчивости плоской формы изгиба двутавровых балок” (130 страниц) и “Об устойчивости упругих систем” (182 страницы) на соискание премии имени Д.И. Журавского, равной годовому профессорскому окладу. Предполагалось, что эта премия будет присуждаться один раз в десять лет, однако после 1917 года премия не присуждалась, и поэтому это было первое и последнее присуждение премии имени Д.И. Журавского.

Отзыв профессора В.Л. Кирпичева, опубликованный в Известиях С.-Петербургского Политехнического института в 1911 году [18], содержал следующее заключение: “Я полагаю, что за эти труды С.П. Тимошенко вполне заслужилъ первую премию настоящаго конкурса. Премія эта учреждена въ память Д.И. Журавскаго, самаго знаменитаго русскаго инженера путей сообщенія, занявшаго навсегда почетное мѣсто въ исторіи европейской науки и получившаго широкую извѣстность за границей, среди спеціалистовъ. Я не сомнѣваюсь, что С.П. Тимошенко и теперь уже вполне заслуживаетъ того, чтобы его имя было связано съ именемъ Журавскаго, и, подобно своему знаменитому предшественнику, занять почетное положеніе в европейской наукѣ”.

В соответствии с отзывами профессоров И.Г. Бубнова, Н.А. Белелюбского, С.И. Белзецкого, В.Л. Кирпичева, Г.В. Колосова и Г.Н. Соловьева и на основании решения жюри про-

фессору С.П.Тимошенко в 1911 году была присуждена премия имени Дмитрия Ивановича Журавского. В 1913 году в “Сборнике Института инженеров путей сообщения” были опубликованы отзывы И.Г. Бубнова, С.И. Белзецкого, В.Л. Кирпичева и Г.В. Колосова.

Важно заметить, что в отзыве профессора И.Г. Бубнова был предложен новый общий метод решения дифференциальных уравнений – метод И.Г. Бубнова. Год публикации отзыва – 1913 год – считается годом создания метода И.Г. Бубнова, в действительности, метод был сформулирован на два года раньше – отзыв И.Г. Бубнова, представленный в 1911 году в жюри, идентичен тому, который был затем опубликован. Этот отзыв содержал заключение [19]: *“работа С.П. Тимошенко кладет прочное основание для дальнейшего прогресса многих отраслей инженерного дела и потому в полной мере заслуживает премии имени Д.И. Журавского”*.

Отдавая дань выдающемуся вкладу Д.И. Журавского в строительную механику и теорию сооружений, в 1950 году С.П. Тимошенко публикует статью “D.I. Jourawski and his contribution to theory of structures”, перевод которой на русский язык можно найти в сборнике трудов С.П. Тимошенко по вопросам прочности и колебаний элементов конструкций [20].

Отметим, что подход И.Г. Бубнова получил известность и широкое распространение после публикации в 1915 году результатов своих исследований [21] другим выдающимся ученым-политехником – академиком Б.Г. Галеркиным (1871–1945). В связи с этим общий метод решения дифференциальных уравнений называют методом Бубнова – Галеркина. Трудно переоценить основополагающее значение подхода Бубнова – Галеркина для развития спустя несколько десятилетий другого эффективного численного метода – метода конечных элементов и, говоря словами автора метода, подход Бубнова – Галеркина *“кладет прочное основание для дальнейшего прогресса многих отраслей инженерного дела”*.

... В годы Великой Отечественной войны 1941–1945 годов Петропавловский собор сильно пострадал от бомбежек и обстрелов, поэтому весной 1956 года начали первую серьезную реставрацию собора. Однако реставрационные работы не затрагивали конструкцию флюгера “Ангел” и шпиля собора – проводилось только его золочение.

В 1991 году во время очередной реставрации нашли два послания в капсулах, причем первое написано мастерами Д.И. Журавского, гордыми за хорошо выполненную работу, а второе оставили в 1957 году альпинисты – тогда на качественную реставрацию денег не хватило: *“Мы... работали по реставрации шпиля Петропавловского собора. Работа сделана плохо, так как начальство не заботилось о нас. Платили мало. Сроки были сжатые. Остается пять дней до сдачи объекта, а конца работы и не видать...”*.

В 1991 году ангела заклинило и его демонтировали с помощью вертолета. Ангела с помощью вертолета невозможно было просто поднять: препятствовали выступы, специально устроенные на спице шпиля. Единственный способ снять ангела со спицы – разобрать верхний, средний и нижний опорные узлы. После их развинчивания ангел легко снялся с иглы. Можно ли после этого установить истинную причину заклинивания ангела? Если это был отломившийся ролик или кусок его оси, то при снятии ангела со спицы он, разумеется, упал и потерялся. Следовало провести экспертизу всех снятых опорных узлов и проверить все ли ролики на своих местах. Если нет, то это и есть самая вероятная причина заклинивания.

Обследование деталей снятого со спицы поворотного механизма ангела показало, что они основательно изнашивались и прокорродировали или, говоря проще, проржавели. Оси роликов или перестали существовать или сделались заметно тоньше. Многие ролики прочно приржавели к корпусам и не вращаются – подшипники Д.И. Журавского превратились в подшипники скольжения без смазки. Некоторые ролики стали существенно меньших размеров, некоторые из них вообще отсутствовали. В результате всего этого внутренние поверхности опорных узлов стали непосредственно контактировать с ответными поверхностями спицы – трение качения фактически превратилось в трение скольжения. Но даже в таком состоянии конструкция ангела была бы вполне работоспособна, если бы не отламывающиеся фрагменты роликов. Они вполне могли попасть в пространство между боковой поверхностью спицы и радиальными опорными узлами и тем самым вызвать заклинивание ангела.

Оси других роликов проржавели настолько, что перестали фиксировать ролики на своих местах. Эти ролики или их обломки получили возможность смещаться в пределах опорного узла. Именно они явились наиболее вероятной причиной заклинивания ангела в 1991 году.

Однако изнашивались и прокорродировали не только узлы поворотного механизма, но и цилиндрические поверхности спицы, по которым надлежало бегать роликам. Эти когда-то цилиндрические поверхности приобрели эллиптичность, а, кроме того, на них сохранились дорожки от роликов, когда-то еще функционировавших.

Было решено изготовить новые опорные узлы и дополнительно специальные стальные вкладыши идеальной цилиндрической формы, по которым должны были бегать ролики. Так в подшипниках Д.И. Журавского появились новые детали, каких раньше не было – цилиндрические вкладыши. Так как такие вкладыши нельзя просто надеть на спицу шпиля, потому что на ней есть выступы для фиксации ангела и креста, все три цилиндрических вкладыша разрезали по диаметру, что существенно ухудшило конструкцию, и затем установили их, состоящими из двух половинок. Вдобавок толщина верхнего вкладыша была сделана слишком малой.



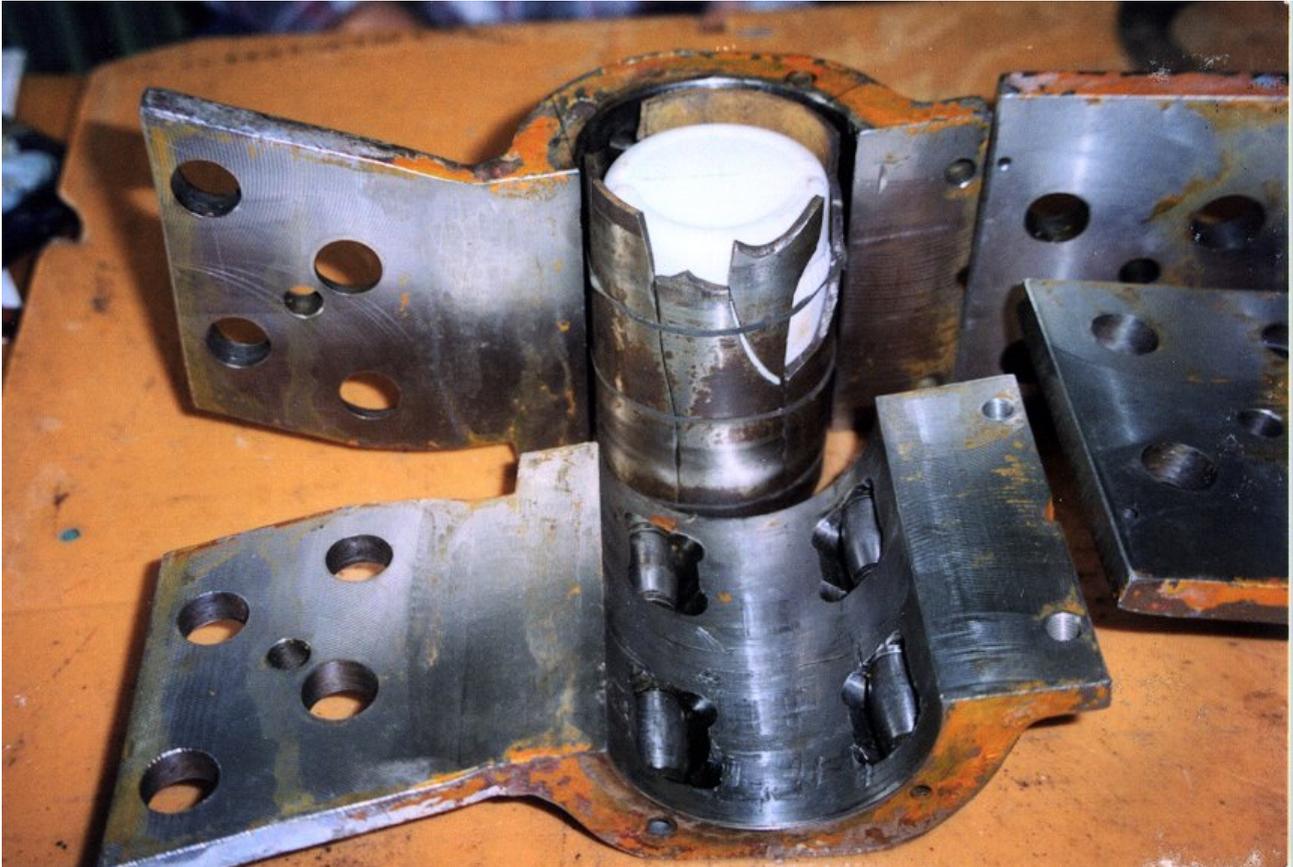
**Рис.15. Подшипники Д.И. Журавского 1858 года. На фотографии, сделанной авторами статьи в августе 2002 года, отчетливо видно, что в упорном узле трех роликов нет вовсе**

Отреставрированного ангела в ноябре 1995 года установили на шпилье с помощью вертолета и, через некоторое время, произошло то, что и должно было произойти – раскололся на мелкие кусочки цилиндрический вкладыш верхнего опорного узла. Обломки вкладыша попали под ролики и стали затруднять вращение ангела.

В январе – феврале 2002 года специалисты ЗАО “Акме дек”, возводившие леса для реставрации Петропавловского собора, заметили, что ангел на шпилье поворачивается с большим трудом, реагируя лишь на очень сильные порывы ветра. После увеличения высоты лесов с заранее запланированной отметки *106,4 м* до отметки *125 м* и демонтажа флюгера, выяснилось, что в верхнем опорном узле цилиндрический вкладыш, облегающий спицу, разрушился на фрагменты и флюгер заклинило – царапины на внутренней поверхности корпуса верхнего опорного узла убедительно это подтверждают.

Летом 2002 года со шпиля были сняты медная позолоченная кровля, ангел, крест и яблоко – металлоконструкции шпиля предстали перед реставраторами и инженерами во всей своей рациональной красоте. Поверхности элементов шпиля немного прокорродировали и поэтому металлоконструкции подвергли тщательной пескоструйной обработке, которая позво-

лила убрать грубые и крупные куски ржавчины. Далее с целью превращения мелких кусочков ржавчины в защитный слой, препятствующий дальнейшей коррозии, металлоконструкции подвергли антикоррозионной обработке. Наконец, их покрыли защитным слоем суриковой краски, то есть металлоконструкции шпиля прошли такую же обработку, которую проходят стальные мосты.



**Рис. 16. Фотография подшипников 1995 года, сделанная авторами статьи в августе 2002 года. Отчетливо видно, что один из цилиндрических вкладышей раскололся, и его обломки явились причиной заклинивания ангела в 2002 году**

Можно с уверенностью утверждать, что шпиль Петропавловского собора хорошо подготовлен к длительному стоянию в нашем суровом климате и если вновь позолоченная кровля шпиля не будет допускать большого количества протечек, то это обеспечит надежное функционирование шпиля в течение многих десятилетий и даже веков.

Однако еще не решена проблема работоспособности поворотного механизма (подшипников) ангела, который является самым ненадежным элементом всей конструкции Петропавловского собора. Исторический опыт убедительно свидетельствует, что ангел должен свободно поворачиваться так, чтобы его плоскость могла легко становиться параллельной ветру. И здесь на первый план вышла проблема надежности поворотного механизма, с помощью которого флюгер “Ангел” крепится к спице шпиля.



**Рис. 17. Фотография расколовшегося верхнего цилиндрического вкладыша, обломки которого стали причиной заклинивания ангела в 2002 году**

Какие же выводы можно сделать из приведенных описаний и рассуждений? Причиной двух последних аварий ангела явилось заклинивание поворотного механизма. А это значит, что, чем меньше в опорных узлах элементов, тем меньше вероятность заклинивания.

В процессе анализа аварии Комитет по государственному контролю и охране памятников истории и культуры (КГИОП) настаивал на том, чтобы новый поворотный механизм ангела был бы идентичным историческому поворотному механизму Д.И. Журавского. Горький опыт прошлого отверг только идею цилиндрических вкладышей. Но ролики остаются – когда-то в будущем ролики или их оси изнасятся, и образовавшиеся обломки могут стать причиной нового заклинивания. Когда это произойдет? Лет через 130, если новые подшипники будут сделаны идентичными подшипникам Д.И. Журавского, как по материалам, так и по конструкции.

Однако, все это рациональные рассуждения, основанные на мысленных экспериментах: к сожалению, современная промышленность не умеет проектировать и создавать узлы трения, которые будут бесперебойно работать сотни лет. Достаточно очевидно, что все в конст-

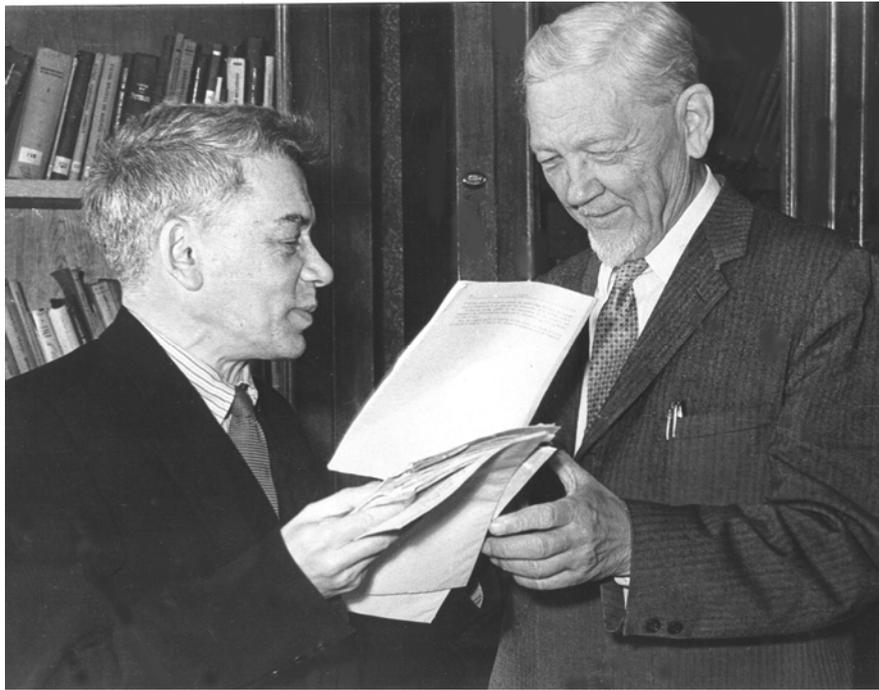
рукции должно быть так просто, как в конструкциях дверей старинных соборов, замков и крепостей: никаких шариков, никаких роликов, никаких сепараторов – только “подшипники скольжения”.

Если все конструкторы и инженеры, участвующие в ремонте, принимают идею КГИОП – идею точного воссоздания подшипников Д.И. Журавского, то следует предусмотреть возможность периодической инспекции подшипников и даже возможность их замены, как это делается в автомобилях, тракторах и других объектах современной техники, содержащих подшипники.

Учитывая, что в процессе последней реставрации предстояло не только золотить шпиль и ангела, но и исправлять конструкцию поворотного механизма, ЗАО “Акме дек” привлекло ряд фирм для разработки предложений по восстановлению работоспособности поворотного механизма ангела. Из предложенных вариантов на конкурсной основе было выбрано решение ФГУП “Конструкторское бюро специального машиностроения” (ФГУП КБСМ). Вариант главного конструктора ФГУП КБСМ В.Г. Гиммельмана основывался на восстановлении прекрасно зарекомендовавшей себя безупречной длительной работой конструкции поворотного механизма Д.И. Журавского, что являлось обязательным условием Комитета по государственному контролю и охране памятников истории и культуры.

Для исследования проблем механики поворотного механизма флюгера “Ангел” и шпиля Петропавловского собора были привлечены сотрудники кафедры “Механика и процессы управления” физико-механического факультета СПбГПУ. В работе [22] приведена схема развития и современная структура физико-механического факультета СПбГПУ, основанного в 1919 году академиком А.Ф. Иоффе. Из этой схемы следует, что кафедра “Механика и процессы управления”, получившая свое современное наименование в 1960 году, является одним из прямых потомков специальности “Механика”, состоявшей в 1919 году из двух специализаций: “Аэрогидродинамика” и “Механика”. В свою очередь, специальность “Механика” была организована на основе кафедры “Теоретическая механика” (1902), которой заведовал профессор И.В. Мещерский, Кораблестроительного отделения (1902), на котором преподавали И.Г. Бубнов, А.Н. Крылов, и Механического отделения (1907) С.-Петербургского Политехнического института императора Петра Великого. Отметим, что кафедрой “Механика и процессы управления” (ранее – кафедра “Динамика и прочность машин”), около сорока лет заведовал крупнейший ученый-механик член-корреспондент АН СССР А.И. Лурье – выпускник физико-механического факультета 1925 года. В июне 1958 года Степан Прокофьевич Тимошенко побывал на кафедре “Динамика и прочность машин” у А.И. Лурье, о встрече с которым он потом рассказывал в Институте инженеров железнодорожного транспорта 12

июня 1958 года: “В Петербурге я уже побывал в Политехническом институте у Анатолия Исаковича Лурье; хотелось бы встретиться с ним еще раз. Собираюсь быть у академика Абрама Федоровича Иоффе. Ведь с ним меня связывает большая и давняя дружба, начавшаяся еще с первого класса реального училища в Ромнах ... Я бы хотел встретиться с Анатолием Исаковичем Лурье еще раз и поговорить о вещах, сейчас наиболее меня интересующих, - о динамике машин” [23].

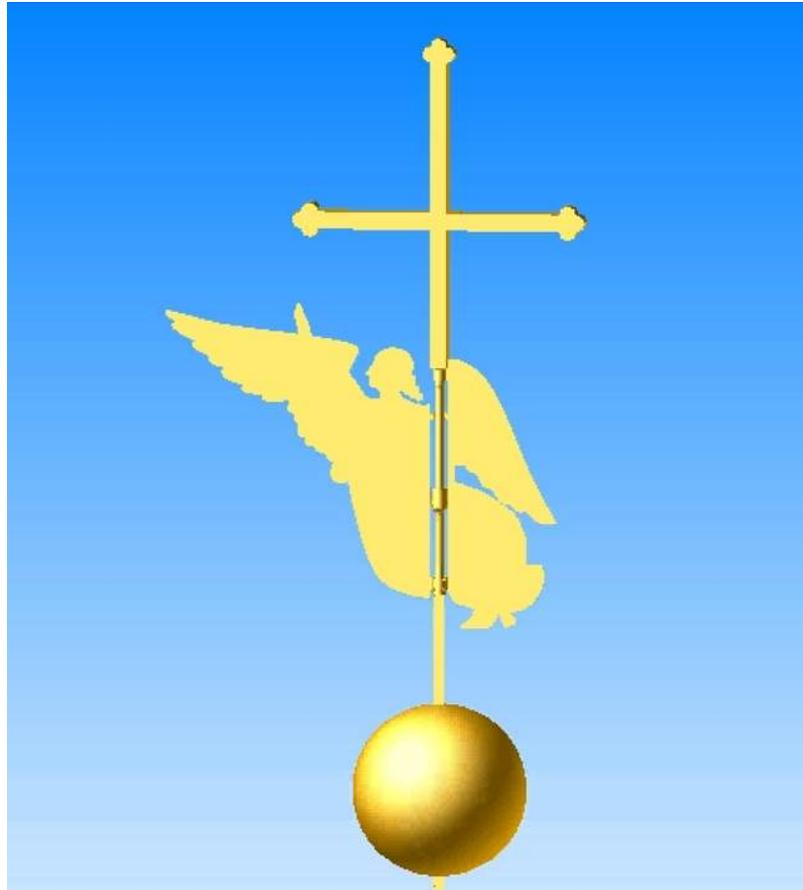


**Рис. 18. Профессор А.И. Лурье (слева) и профессор С.П. Тимошенко во время визита последнего на кафедру “Динамика и прочность машин” в июне 1958 года**

В лаборатории “Вычислительная механика” кафедры “Механика и процессы управления” СПбГПУ с целью всестороннего анализа динамического поведения уникальной конструкции “спица с яблоком и крестом – поворотный механизм – каркас – ангел”, находящейся под действием нестационарной ветровой нагрузки, была разработана пространственная конечно-элементная модель конструкции флюгера “Ангел”.

Разработанная уникальная пространственная конечно-элементная модель ангела специально ориентирована на применение передовых *LS-DYNA*-технологий [24], обладает высокой степенью адекватности реальному объекту, не имеет аналогов в мировой инженерной практике и предназначена для выполнения многомодельных, многовариантных и многопараметрических компьютерных экспериментов. Модель флюгера “Ангел” служит для оценки прочности конструкции флюгера на основе анализа полей динамических напряжений в конструкции и полей локальных динамических напряжений в зонах множественного контактно-фрикционного взаимодействия роликов опорных узлов и цилиндрической поверхности

спицы. Модель позволяет исследовать динамическое контактное взаимодействие и зависимость величины зазоров между роликами опорных узлов и цилиндрической поверхностью спицы от времени.



**Рис. 19. Модель конструкции  
“спица с яблоком и крестом – поворотный механизм – каркас – ангел”**

Результаты конечно-элементного моделирования, которые были использованы в процессе воссоздания поворотного механизма Д.И. Журавского, как и результаты конечно-элементного исследования напряженно-деформированного состояния шпиля, будут изложены в следующих частях настоящей публикации.

Над восстановлением конструкции поворотного механизма флюгера “Ангел” Петропавловского собора работали коллективы из разных организаций Санкт-Петербурга: анализ исходных материалов спицы и подшипников Д.И. Журавского был выполнен специалистами ЦНИИ материалов и ГНЦ ЦНИИ конструкционных материалов “Прометей”;

конструкция радиальных опорных узлов и упорного подшипника поворотного механизма была разработана в ФГУП КБСМ;

многовариантные расчетные исследования были выполнены сотрудниками лаборатории “Вычислительная механика” кафедры “Механика и процессы управления” СПбГПУ;

изготовление и хромирование деталей поворотного механизма было выполнено на “Обуховском заводе”.

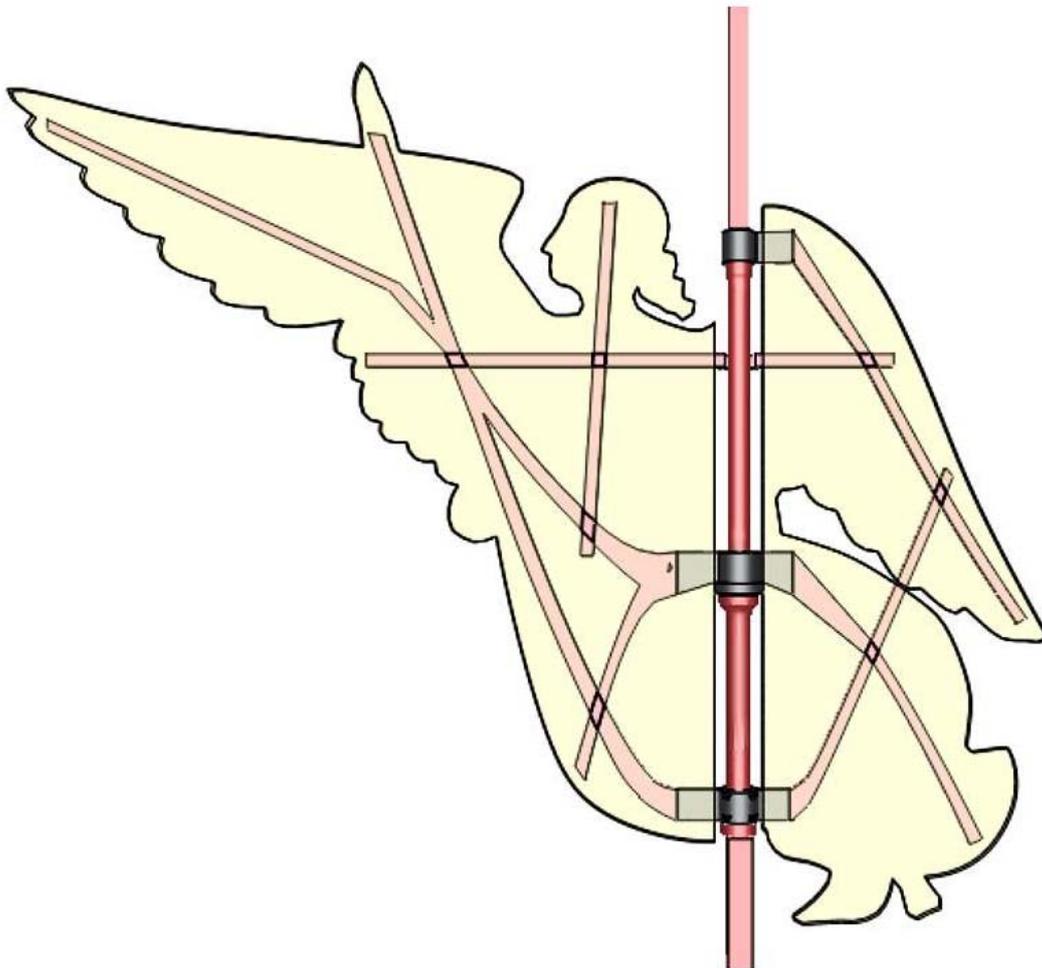
Поворотный механизм флюгера “Ангел” содержит все основные элементы исторической конструкции Д.И. Журавского и не содержит “лишних деталей”:

четыре опорных узла – 3 радиальных и 1 упорный;

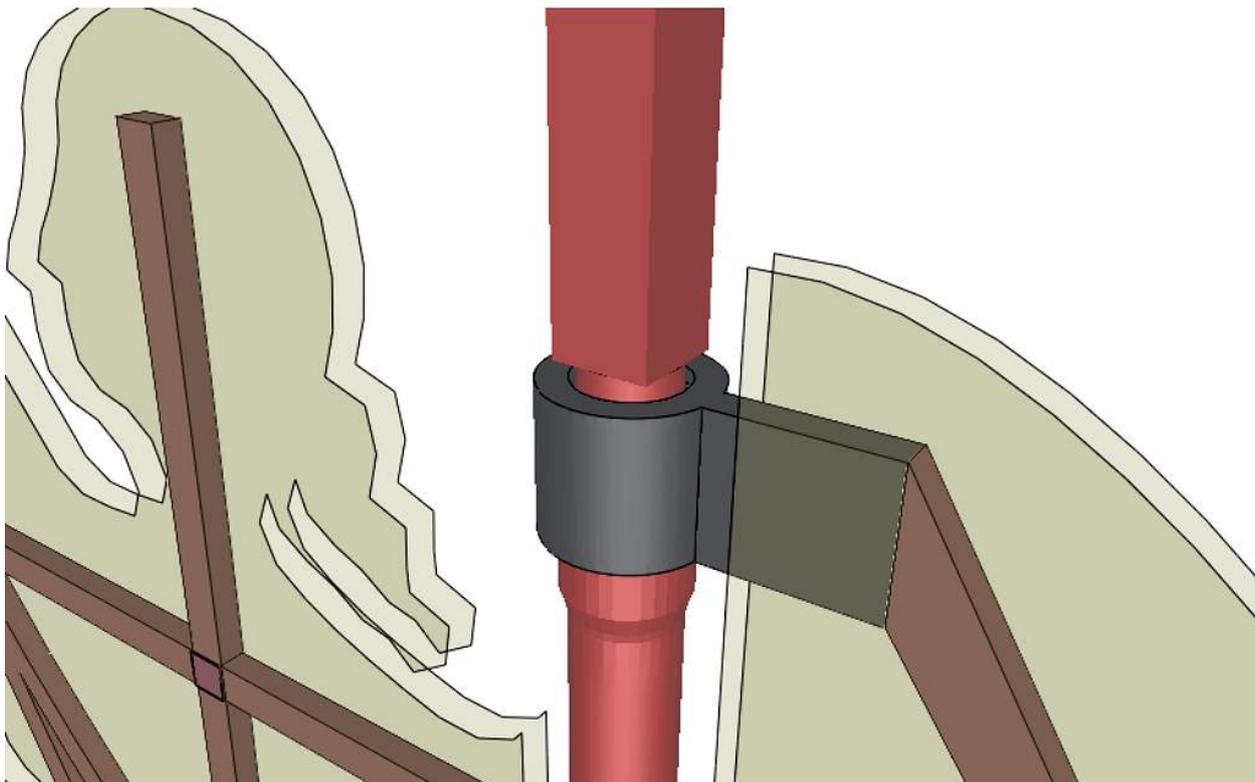
8 роликов, расположенных в 2 ряда, с вертикальными осями в каждом радиальном опорном узле;

4 ролика с горизонтально расположенными осями в упорном узле;

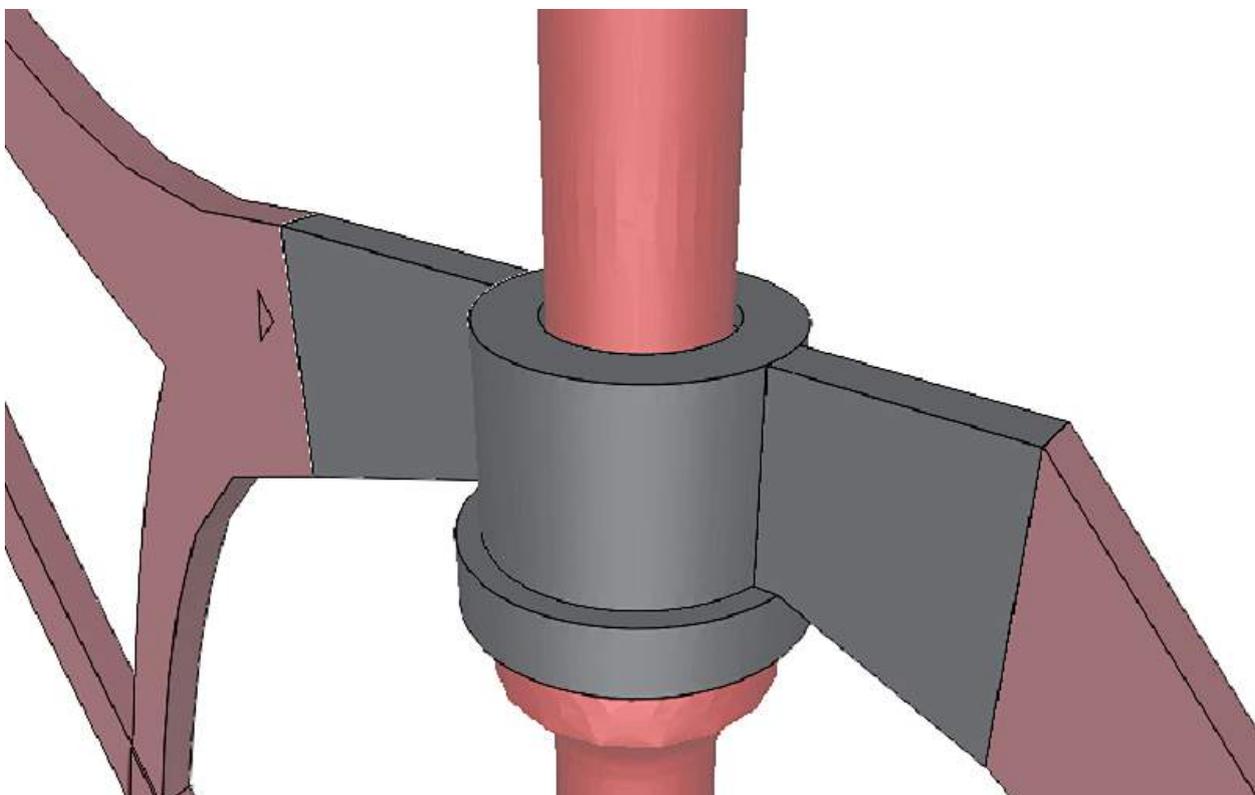
разъемные корпуса радиальных опорных узлов с элементами крепления к ним каркаса ангела – односторонним креплением в верхнем узле и двусторонними креплениями в среднем и нижнем узлах.



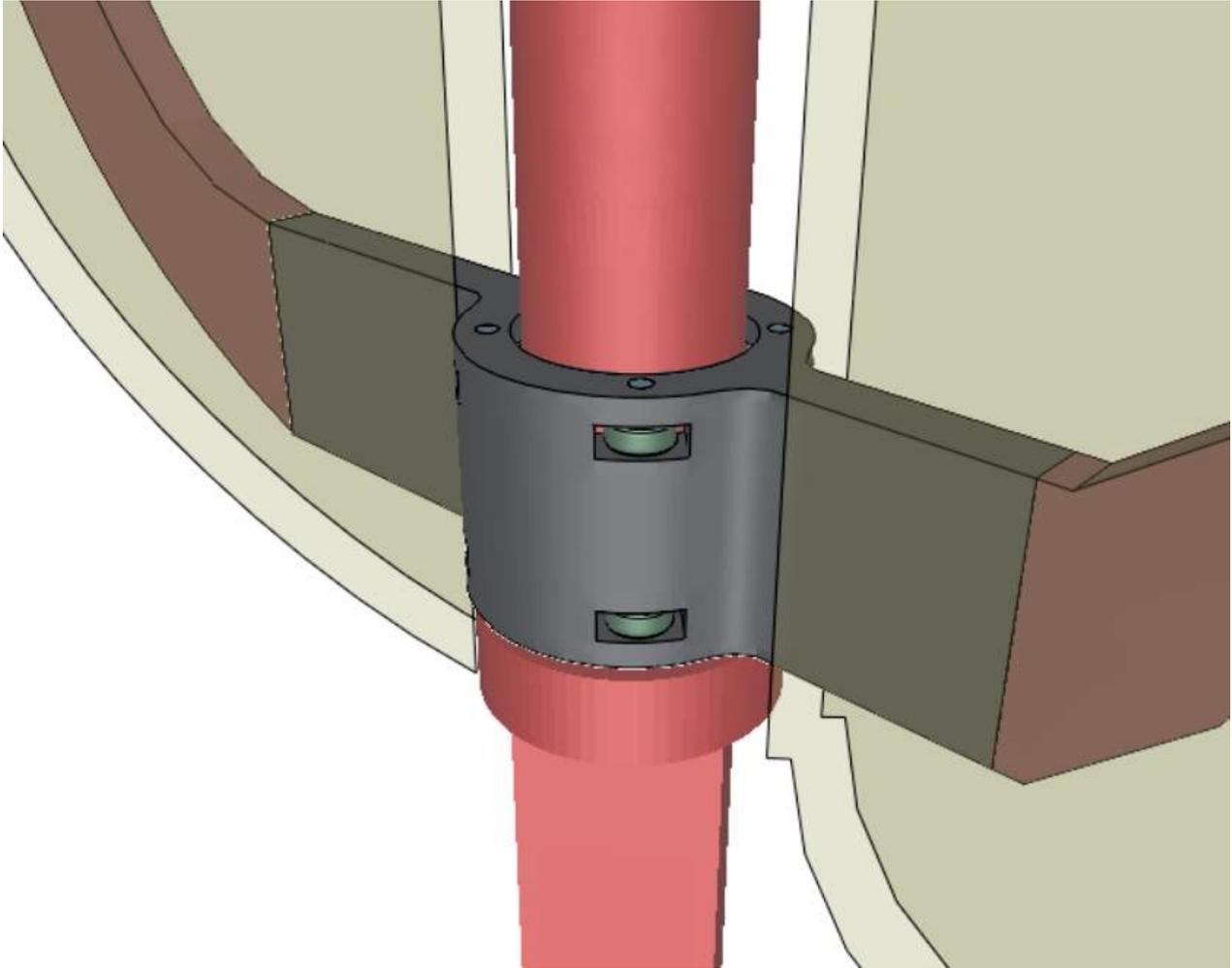
**Рис. 20. Модель конструкции “шпиль – поворотный механизм – каркас – ангел”.  
Особенности крепления ангела на каркасе**



**Рис.21. Модель конструкции “спица – поворотный механизм – каркас – ангел”.**  
**Особенности модели верхнего радиального опорного узла**  
**с односторонним креплением каркаса ангела**



**Рис. 22. Модель конструкции “спица – поворотный механизм – каркас – ангел”.**  
**Особенности модели среднего радиального опорного узла**  
**с двусторонним креплением каркаса ангела**



**Рис.23. Модель конструкции “спица – поворотный механизм – каркас – ангел”.  
Особенности модели нижнего радиального опорного узла  
с двусторонним креплением каркаса ангела**

В разработанной конструкции детали поворотного механизма изготовлены из современных сталей, подобранных из условий удовлетворения критериям минимизации механического износа и разности потенциалов контактирующих материалов, определяющих развитие контактной эрозии. С целью исключения электрохимической коррозии в качестве защитных покрытий на деталях поворотного механизма были применены хромирование, цинкование, азотирование, грунтовка и окраска. Ролики и их оси изготовлены из особо прочных сталей с последующей термической обработкой. На рабочие поверхности роликов нанесено двухслойное хромовое покрытие, торцевые поверхности роликов покрыты с помощью газодинамического метода цинком.

Результаты расчетных исследований и проверка работоспособности поворотного механизма в процессе контрольной сборки на специально изготовленном технологическом стенде подтвердили правильность выбора конструктивных решений и материалов.

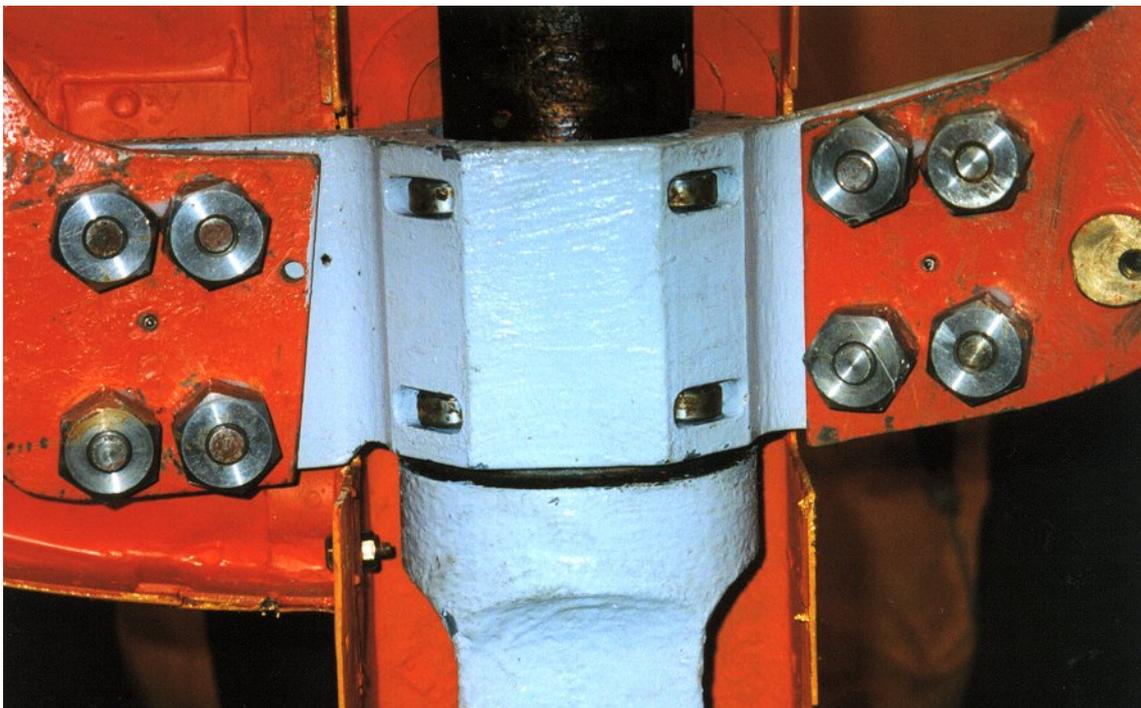
В ноябре 2002 года на технологическом стенде, обеспечивающем возможность разворота флюгера “Ангел” вокруг вертикальной оси и возможность проверки уравниваемости конструкции в плоскости каркаса относительно упорного подшипника, были выполнены контрольные сборки ангела, которые убедительно свидетельствуют, что:

размеры вновь изготовленных корпусов поворотного механизма, узлов крепления и каркаса обеспечивают собираемость обшивки ангела, состоящей из нескольких частей;

вновь изготовленный поворотный механизм обеспечивает плавное вращение флюгера;

вновь изготовленный противовес обеспечивает такую погрешность неуравновешенности флюгера, которая не превышает величину трения качения.

Для обеспечения требуемых зазоров между боковой поверхностью спицы и роликами опорных радиальных узлов специалистами ФГУП КБСМ и ЗАО “Петромаш” был изготовлен специальный станок, устанавливаемый последовательно на каждую опорную шейку спицы и позволяющий заново отшлифовать боковую поверхность спицы в зонах контактного взаимодействия роликов и спицы. Поверхности радиальных опорных узлов и спицы были идеально отшлифованы и после этого были окончательно уточнены размеры роликов. Центрирование сепаратора упорного узла осуществлено не относительно спицы шпиля, что в первоначальной конструкции привело к значительной выработке металла на шейке спицы, а относительно корпуса среднего радиального опорного узла.



**Рис.24. Новый нижний радиальный опорный узел с двусторонним креплением каркаса**

В январе-феврале 2003 года специалисты ЗАО “Акме дек”, ФГУП КБСМ и ЗАО “Петромаш” провели сборку поворотного механизма и самого ангела на шпиле собора. Одиннадцатого февраля 2003 года монтажные работы, связанные с установкой отреставрированных ангела, креста и яблока на шпиле Петропавловского собора, были завершены и успешно сданы Государственной комиссии. Для ~750 килограммового флюгера “Ангел” момент “трогания” с места составил 3 кг·м, момент вращения – 2 кг·м.

Тринадцатого февраля 2003 года, несмотря на сильный ветер с мокрым снегом, настоятель Петропавловского собора, в полном соответствии с церковными канонами и хором певчих, провел освящение флюгера “Ангел” на высоте 120 м.

Отреставрированный символ Санкт-Петербурга – флюгер “Ангел” – к 300-летию города вновь взлетел на шпиль Петропавловского собора и снова, как и три века до этого, благословляет величественный город святого Петра, чьи слова-обращение в утро Полтавской битвы сопровождают и поныне сыновей земли русской:

*“Сыны отечества, чады мои возлюбленныя!*

*Потом трудов своих создал я вас;*

*без вас государству, как телу без души, жить невозможно.*

*Вы имея любовь... к Отечеству, славе и ко мне не щадили живота своего...*

*Дела наши никогда не будут забвенны у потомства”*

*Петр Великий.*

## Список литературы

1. Журнал, или Поденная записка... Петра Великого с 1698 г. даже до заключения Нейштатского мира. Санкт-Петербург. 1770 – 1772.
2. Даринский А.В., Старцев В.И. История Санкт-Петербурга. СПб.: Глагол, 2002.
3. Анисимов Е.В. Время петровских реформ. Л.: Лениздат, 1989.
4. Туйск Ю.В. Каменные грани Петербурга. СПб.: Искусство–СПБ, 2000.
5. Антонова В.В., Кобак А.В. Святыни Санкт-Петербурга. Историко-церковная энциклопедия в 3-х томах. Т.1. СПб.: Изд-во Чернышева, 1994.
6. Овсянников Ю.М. Великие зодчие Санкт-Петербурга. Трезини. Растрелли. Росси. СПб.: Искусство–СПб, 2001.
7. Строительное искусство и практическая механика. Описание работ по возведению верхней части колокольни Петропавловскаго собора въ С.-Петербургской крѣпости и по исправленію зданія Собора, произведенныхъ в 1857 и 1858 годахъ. Т. XXX. Ч. I – введение. Изъ отчета завѣдывавшаго работами инженеръ–полковника Д.И. Журавскаго. С.-Петербургъ. 1858.
8. Журавский Д.И. Шпиль Петропавловскаго собора // Журнал Министерства путей сообщения. 1860.
9. Анисимов Е.В. Летающий ангел. <http://www.art.spb.ru/an-angel.html>
10. Строительное искусство и практическая механика. Описание работ по возведению верхней части колокольни Петропавловскаго собора въ С.-Петербургской крѣпости и по исправленію зданія Собора, произведенныхъ в 1857 и 1858 годахъ. Т. XXXI. Ч. II – изучение проэкта для возведенія верхней части колокольни. Ч. III – определение напряженія частей желѣзныхъ стропиль шпика. Ч. IV – приготовление и сборка желѣзныхъ стропиль шпика Петропавловскаго собора. Изъ отчета завѣдывавшаго работами инженеръ–полковника Д.И. Журавскаго. С.-Петербургъ. 1858.
11. Ламэ Г., Клапейрон Б. Об устойчивости сводов. Журнал Министерства путей сообщения. 1826, книжка вторая, месяц август, С. 16–28; книжка третья, месяц сентябрь, С. 39–54.
12. Белый Г.И., Бронин В.Н., Лапшин Б.С. Ради чего “ломали копыя” и бурили скважины? // Дизайн и строительство. 2002. № 4. С. 22–23.
13. Строительные нормы и правила. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. М., 1996.
14. Металлические конструкции: В 3 т. / В.В. Горев, Б.Ю. Уваров, В.В. Филиппов, Г.И. Белый и др.; Под ред В.В. Горева. М.: Высшая школа, 2001–2002. Т. 1.: Элементы конструкций. 2001. Т. 2: Конструкции зданий. 2002. Т. 3: Специальные конструкции и сооружения. 2002.
15. Динамический расчет зданий и сооружений / М.Ф. Барштейн, В.А. Ильичев, Б.Г. Коренев и др.; Под ред. Б.Г. Коренева, И.М. Рабиновича. М.: Стройиздат, 1984.

16. Котляревский В.А. Ураганы, торнадо, грозы // Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Кн. 1 / Под. ред. К.Е. Кочеткова, В.А. Котляревского и А.В. Забегаева. М.: Изд-во АСВ. 1995.
17. Петров А.А. Расчет сооружений на интенсивные ветровые воздействия // Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Кн. 4 / Под. ред. В.А. Котляревского и А.В. Забегаева. М.: Изд-во АСВ. 1998.
18. Кирпичевъ В.Л. О работах профессора С.П. Тимошенко: 1) Объ устойчивости плоской формы изгиба двутавровой балки; 2) Объ устойчивости упругих систем // Известия С.-Петербургского Политехнического Института Императора Петра Великого. 1911 годъ. Томъ XVI. С. 293–304.
19. Бубнов И.Г. Отзыв о работе проф. С.П. Тимошенко “Об устойчивости упругих систем” // Избранные труды. Л.: Судпромгиз. 1956. С. 136–139.
20. Тимошенко С.П. Д.И. Журавский и его вклад в теорию сооружений // Прочность и колебания элементов конструкций. М.: Наука. 1975. С. 644–651.
21. Галёркин Б.Г. Стержни и пластинки. Ряды в некоторых вопросах упругого равновесия стержней и пластинок // “Вестник инженеров”. 1915. т. 1. № 19. С. 897–908.
22. Пальмов В.А., Топтыгин И.Н., Уханов Ю.И. ФизМех: 80 лет, отданные на благо России // Научно-технические ведомости СПбГТУ. 2000. № 2. С. 9–23.
23. Филин А.П. Пять часов в обществе классика науки (о встрече со Степаном Прокофьевичем Тимошенко во время его посещения ЛИИЖТ 12 июня 1958 г.) // Изд-во Петербургского государственного университета путей сообщения. 1993. 36 С.
24. Hallquist J.O. *LS-DYNA*. Theoretical Manual. Livermore Software Technology Corporation. 1998.