

7. Strigin B. Foundation reconstruction technology / B. Strigin, V. Fedorov // XXI<sup>st</sup> International Scientific Conference on Advanced in Civil Engineering: Construction – The Formation of Living Environment, FORM 2018. IOP Conference Series : materials Science and Engineering. – 2018. – P. 062043.
8. Design of foundations of buildings and underground structures : proc. manual / B. I. Dolmatov, V. N. Bronin, A. V. Golli and others. – 2<sup>nd</sup> ed. – М. : АСВ ; СПб. : SPSUACE, 2001. 440 p.
9. Fyodorov V. S., Sidorov V. N., Shepitko E. S. Nonlocal damping consideration for the computer modelling of linear and nonlinear systems vibrations under the stochastic loads / V. S. Fyodorov, V. N. Sidorov, E. S. Shepitko // IOP Conference Series : materials Science and Engineering. – 2018. – P. 012040
10. Fedorov V. S. Modeling of concrete thermal power resistance during the high-temperature heating / V. S. Fedorov, V. E. Levitsky // IOP Conference Series : materials Science and Engineering. – 2018. – P. 012041.
11. Fedorov V. S., Kupchikova N. V. Optimization in the management of investment and construction projects / V. S. Fedorov, N. V. Kupchikova // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2018. – № 3 (25). – P. 14–17.
12. Kosterin E. V. Foundations. – 3<sup>rd</sup> ed. – М. : Higher school, 1990. – 431 p.
13. Silkin A. M. Bases and foundations / A. M. Silkin, N. N. Frolov. – 2<sup>nd</sup> ed. – М. : Agropromizdat, 1987. – 285 p.
14. Rekunov S. S.. The use of controlling-training software in civil engineering bachelors' educational process / S. S. Rekunov, G. V. Voronkova, M. S. Doskovskaya // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 106. – P. 09016.
15. Pshenichkina V. A. Research of the dynamical system "beam – stochastic base" / V. A. Pshenichkina, G. V. Voronkova, S. S. Rekunov // Procedia engineering. – 2016. – Vol. 150. – P. 1721–1728.

© N. V. Kupchikova

**Ссылка для цитирования:**

Kupchikova N. V. New structural and technological solutions for foundations of submerged underwater tunnels // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2021. № 1 (35). С. 12–15.

УДК 666.71:721:691.41

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ИСТОРИЧЕСКИХ ЗДАНИЙ И АНАЛИЗ СОХРАННОСТИ КАМЕННОЙ КЛАДКИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**

**А. Н. Гойкалов, В. И. Щербаков**

*Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия*

Рассмотрена проблема восстановления исторических зданий с учетом фактических физико-механических характеристик материалов каменной кладки, которая эксплуатировалась в сильно агрессивной среде. Приведен пример технического обследования здания церкви Воздвижения Креста в Воронежской области, в котором расчетным путем на основании обмерных работ и инструментального осмотра обоснована дальнейшая эксплуатация кирпичных сводов покрытия. Определены резервы несущей способности каменной кладки и стальных тяжей сводов, а также численные значения их напряжений с учетом фактических прочностных характеристик материалов. Выявлены причины высокой степени сохранности кладки стен и сводов покрытия, которые заключаются в высоком качестве исходных строительных материалов каменной кладки – кирпича и кладочного раствора швов.

**Ключевые слова:** историческое здание, техническое обследование, каменная кладка, кирпич, поверочный расчет.

**STUDY OF THE TECHNICAL CONDITION OF HISTORICAL BUILDINGS AND ANALYSIS OF THE PRESERVATION OF STONE MASONRY OF BEARING STRUCTURES**

**A. N. Goikalov, V. I. Shcherbakov**

*Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia*

The problem of restoration of historical buildings is considered, taking into account the actual physical-and-mechanical characteristics of masonry materials, which were operated in a highly aggressive environment. An example of a technical building inspection of the Church of the Exaltation of the Cross in the Voronezh region is given, in which the further operation of the brick vaults of the covering is justified by calculation based on the measurement work and instrumental examination. The reserves of the bearing capacity of the masonry and steel ties of the vaults, as well as the numerical values of the stresses in the masonry of the vaults, taking into account the actual strength characteristics of the materials, have been determined. The reasons for the high degree of preservation of the masonry of walls and roof vaults are revealed, which consist in the high quality of the initial building materials of the masonry, bricks and masonry mortar of joints.

**Keywords:** historical building, technical inspection, masonry, brick, verification calculation.

При выполнении работ по оценке технического состояния несущих строительных конструкций исторических зданий следует особо отметить работоспособную категорию каменных конструкций даже при значительных неблагоприятных воздействиях факторов внешней среды. Цель данной статьи – на примере выполненного обследования здания церкви Воздвижения Креста в городе Новохоперске Воронежской области проанализировать причины высокой степени сохранности и достаточной несущей способности каменной кладки стен и сводов покрытия, которые на

протяжении многих десятилетий находились без кровли и были подвержены влиянию атмосферных осадков.

Церковь была построена «восьмерик на четверике» и является объектом исторического и культурного наследия Воронежской области [1, 2]. Здание одноэтажное с подвалом, имеет размеры по осям 22,2 × 48,0 м и высоту до 22,9 м.

В 1930-х гг. церковь была закрыта, а крест с основного центрального свода сорвали трактором в 1960-е, повредив кирпичную кладку этого

свода. Вследствие этого в 1990-е гг. свод обрушился (рис. 1).

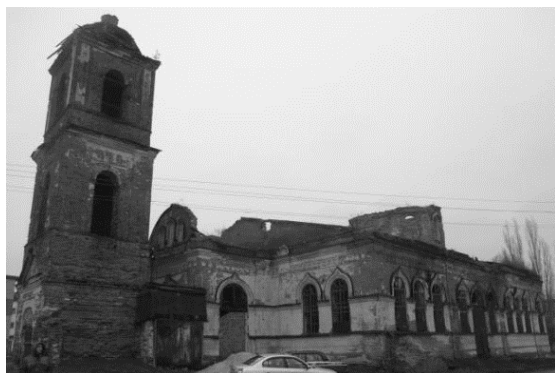


Рис. 1. Общий вид здания церкви на момент обследования

Конструктивная схема здания представляет собой каменный остов с продольными и поперечными стенами и столбами, объединенными в уровне покрытия кирпичными сводами. При выполнении обследования установлено, что наружные стены выполнены однослойной каменной кладкой толщиной 1080 мм (4 кирпича) из керамического кирпича на известковом растворе. Покрытие выложено пониженными кирпичными сводами толщиной 410–430 мм (1,5 кирпича), своды опираются на арки внутренних стен и наружные стены. Распор от сводов воспринимается стальными тяжами сечением 30 × 45 в количестве двух штук на каждую арку (рис. 2). Кровля полностью разрушена, атмосферные осадки на протяжении многих десятилетий замачивали кладку сводов. Согласно определению п. 3.32 ГОСТ 530-2012, кладка сводов и наружных стен здания эксплуатировалась в сильно-агрессивной среде.



Рис. 2. Состояние кладки сводов покрытия. Кладка эксплуатируется в условиях особоагрессивной среды

В настоящее время ведутся работы по восстановлению церкви Воздвижения Креста. При этом у заказчика обследования возник основной вопрос о категории технического состояния каменной кладки здания, согласно определению

ГОСТ 31937-2011, особенно о несущей способности каменных сводов.

Для установления фактической прочности каменной кладки было выполнено определение прочности материалов кладки – кирпича и кладочного раствора. Марка по прочности на сжатие кирпича составляет М75 применительно к ГОСТ 530-2012 при марке кладочного раствора М15 применительно к ГОСТ 28013-98\*.

Практический и научный интерес представляли результаты предстоящих расчетов конструктивных элементов (сводов, простенков), поскольку на момент строительства здания не было научно-обоснованных норм проектирования каменных конструкций, но были древние традиции, эмпирические и графические методы [3]. Только в 1940-х гг. Л.И. Онищик обобщил весь накопленный объем экспериментальных данных, сформулировал специфику работы камня и раствора в кладке. Он создал теорию прочности каменных и армокаменных конструкций [4], которая стала основой современных норм проектирования. Многочисленные экспериментальные исследования с армированием каменных кладок [5, 6], в том числе из мелких ячеистобетонных блоков [7], показали свою эффективность.

Определение усилий в каменных сводах покрытия был выполнен методом конечных элементов с применением вычислительного комплекса «Лири 9.6 PRO». Расчетные схемы принимались с учетом фактических прочностных характеристик материалов, линейных размеров, полученных на основании выполненных обменных работ (рис. 3), статической схемы, условий опирания, выявленных на момент обследования дефектов и повреждений кладки.

Результаты выполненных поверочных расчетов несущей способности кладки каменных сводов на действующие нагрузки показали (рис. 4, 5);

- напряжения в кладке с учетом временных нагрузок по СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия» не превышают 0,11 МПа при сжатии. Значительно меньше расчетного сопротивления сжатию кладки, равного  $R = 1,3$  МПа;
- растягивающие усилия составляют 0,009 МПа. Они также не превышают расчетного сопротивления растяжению кладки, равного  $R_t = 0,08$  МПа, определенного согласно СП 15.13330.2012 «Каменные и армокаменные конструкции».

Максимальное усилие, которое возникает в стальном тяже, расположенном в уровне низа свода, составляет  $N = 130,15$  кН. В несколько раз меньше расчетного сопротивления стали. Расчет кирпичного простенка минимального поперечного сечения и максимальной грузовой площади показал достаточную несущую способность.

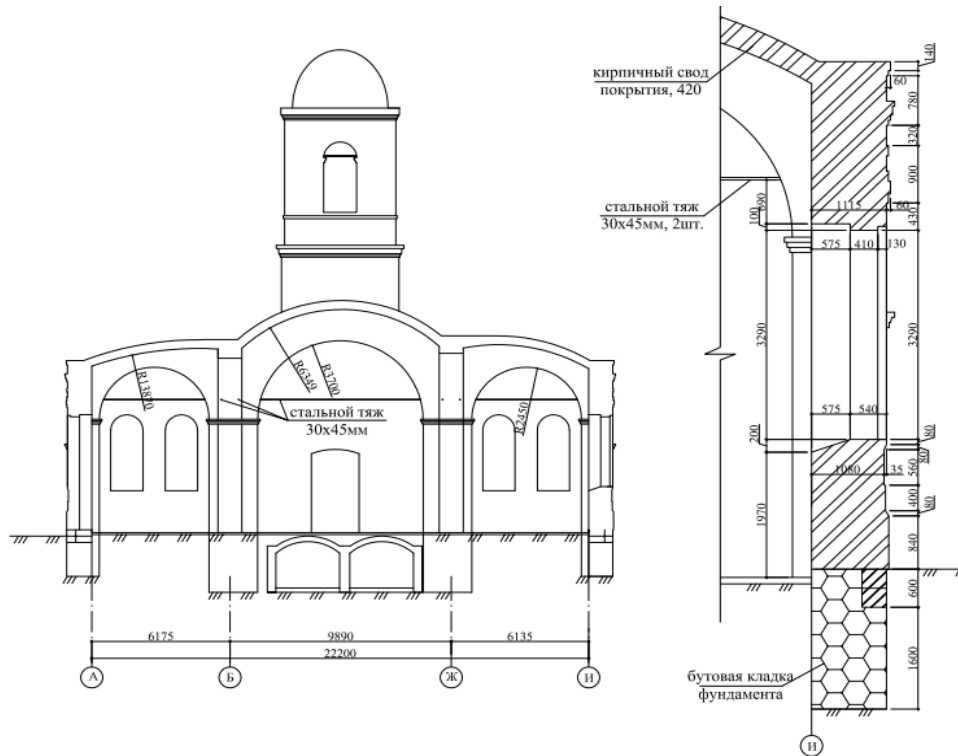


Рис. 3. Фрагменты обмерных чертежей – разрезы здания

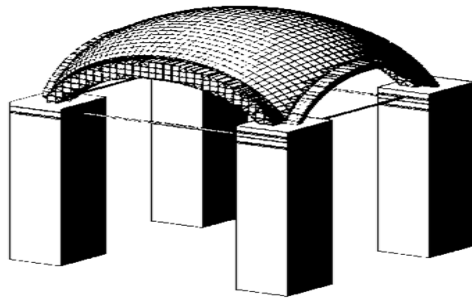


Рис. 4. Пространственная конечно-элементная модель свода

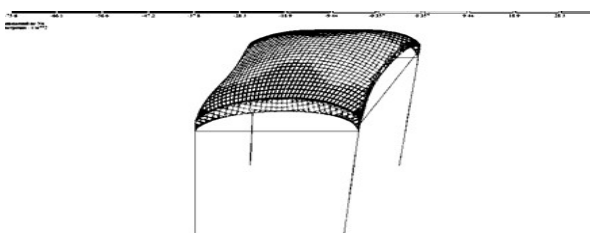


Рис. 5. Мозаика напряжений по  $N_x$  в каменной кладке свода

Сам факт такой сохранности исторического здания и значительных резервов несущей способности конструктивных элементов объясняется высоким качеством выполнения каменных работ, исходных строительных материалов каменной кладки – кирпича и кладочного раствора швов.

Несмотря на то, что кирпич является основным строительным материалом, технологическая сторона старинного кирпичного производства до сих пор остается недостаточно изученной [8, 9]. Изготовление кирпича было достаточно примитивным, малопроизводительным и трудо-

емким делом, в то же время требовало специальных знаний и большого опыта. Основными минералами для получения кирпича являются глина и песок. Глину для производства кирпича, добытую в карьере, доставляли к заводу, где ее сваливали в бурты. В осенний период глину подвергали дальнейшей обработке: выветривали, вымораживали, а затем замачивали.

После зимнего замораживания и оттаивания из глины вымывались соли и органические вещества. При наличии в глине камней её просеивали и смешивали с песком и водой в деревянном ящике, вкопанном в землю. Состав смеси определялся мастером и зависел от качества и жирности глины, речного или карьерного песка, воды (подземной или поверхностной). После приготовления требуемого состава в ящике начиналась самая трудная операция – перемешивание до получения однородной массы, пригодной для формования. Трамбовали глину в формах ногами, откуда пошло название «подпяточный» или «пяточный» кирпич. Формовщик вдавливал руками глиняную массу в форму и смоченной в воде деревянной лопаткой срезал излишки. Другой помощник относил заполненную форму на место сушки, выдавливал заготовку из формы и укладывал на постель или лоток на открытой площадке, а в дождливую погоду под навесом.

После нескольких дней просушки кирпич-сырец переворачивался на другую грань, при этом формовщик корректировал форму бракованных заготовок. В летний период под действием солнца глиняный кирпич-сырец, су-



шился в течение 10–15 дней. Высушенный кирпич складывался в штабеля в напольных печах-временках таким образом, чтобы при обжиге горячий воздух свободно проходил между рядами. Топили такие печи соломой, дровами, антрацитовой пылью или углем.

С середины XIX в. производство кирпича на многих заводах механизировалось, появились кольцевая обжиговая печь Гофмана и ленточный пресс, глиномятки, вальцы, паровые двигатели. Это привело к облегчению труда рабочих и значительному увеличению производительности кирпичных заводов. Кроме того, машинный кирпич имел ровные углы и кромки, одинаковый размер, что способствовало получению более качественной кладки и швов раствора одинаковой толщины.

В конце XIX – начале XX вв. в Воронеже действовало более 50, а в Воронежской губернии около 2000 кирпичных заводов, продукция которых вполне удовлетворяла потребностям города в строительном кирпиче [10, 11]. Предприниматели в сфере переработки полезных ископаемых, особенно владельцы кирпичных заводов, представляли три социальные группы: купцы, помещики и крестьяне. На кирпичных заводах работало от 12 до 700 наемных сезонных рабочих и в год производилось от 200 до 1200 тыс. штук кирпича.

Сегодня кирпич является также одним из основных строительных материалов. Изготовлением кирпича занимаются тысячи кирпичных больших и малых предприятий, разработаны и применяются новые технологии и оборудование. Вряд ли кто сможет утверждать, что современный кирпич прослужит сто и более лет, как тот, который изготовлялся нашими предками кустарным способом. Ученым и производителям кирпича следует более внимательно исследовать на наноуровне состав сырья и технологию получения старинного кирпича, влияющих на его прочность и долговечие.

К сожалению, ещё многое в этой истории остается не известным, не определены некоторые владельцы кирпичных заводов, имеющих личное клеймо, не найдены клейма известных производителей кирпичных изделий, хотя прошло всего немногим более столетия. На рисунке 6 представлен кирпич с клеймом в виде выпуклой буквы П на его постели, который отобран из обследуемого здания. Размеры кирпича определены по ГОСТ 530-2012 и составляют 265 × 134 × 71 мм. В настоящее время производитель данного кирпича не идентифицирован.



Рис. 6. Кирпич с клеймом завода-изготовителя на постельной грани

Большинство старинных построек в Воронеже и области были разрушены во время войны, а оставшиеся незаконно уничтожаются и в наши дни, как, например, здание хлебозавода № 1 с трубой конца XIX в., расположенного по ул. Фридриха Энгельса, 88.

При восстановлении исторических зданий очень важно знать состав и способ изготовления кирпича, геометрические размеры, цвет, тип кладки, место добычи глины и песка, состав строительного раствора [12]. Все это позволяет проводить реставрационные работы в соответствии с проектами архитекторов и технологиями старых мастеров-каменщиков. К старинному кирпичу в последнее время проявляют интерес дизайнеры, «Loft»-стиль используют в интерьерах ресторанов, банков, парикмахерских и даже в особняках и квартирах. Несмотря на то, что многие современные заводы изготавливают кирпич «под старину», предпочтение отдается кирпичу с разобранных старых зданий, особенно имеющих клеймо завода-производителя.

**Заключение.** Анализ результатов выполненного технического обследования каменных конструкций исторического здания показал работоспособное состояние несущих конструкций, которые несколько десятилетий эксплуатировались в сильноагрессивной среде. Повторные расчеты несущей способности кладки каменных сводов и простенков на действующие усилия показали многократные резервы несущей способности. Высокая степень сохранности каменных конструкций исторического здания объясняется высоким качеством выполнения каменных работ, исходных строительных материалов каменной кладки – кирпича и кладочного раствора швов, производство которых осуществлялось по специальной трудоемкой ручной технологии.

#### Список литературы

1. Кригер Л. В. Церковь Воздвижения Креста : мат-лы Свода памятников истории и культуры Российской Федерации. Воронежская область. Лискинский, Новохоперский районы. – М. : Российский институт культурологии, 1993. – Вып. 3, ч. 2. – С. 100–101.

2. Кригер Л. В. Архитектура исторических городов Воронежской области / Л. В. Кригер, Г. А. Чесноков. – Воронеж: Центр духовного возрождения Черноземного края, 2002. – С. 166–167.
3. Караулов Е. В. Каменные конструкции. Их развитие и сохранение / Е. В. Караулов. – М.: Госстройиздат, 1966. – 248 с.
4. Онищик Л. И. Прочность и устойчивость каменных конструкций: в 2 ч. / Л. И. Онищик. – М.: ОНТИ, 1937. – Ч. I: Работа элементов каменных конструкций.
5. Камейко В. А. Прочность кирпичной кладки, включенной в обойму / В. А. Камейко, Р. Н. Квитницкий // Исследования по каменным конструкциям: сб. ст. – М.: Стройиздат, 1957. – С. 14–51.
6. Материалы по истории строительной техники. Работы американцев Гиатта и Уорда по созданию железобетона. – М., 1962. – Вып. 2. – С. 92–99.
7. Гойкалов А. Н. Несущая способность стен из мелких ячеистобетонных блоков с косвенным армированием / А. Н. Гойкалов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2005. – № 12. – С. 20–21.
8. Инчик В. В. Кирпичный наряд Невского проспекта / В. В. Инчик. – СПб., 2016. – 180 с.
9. Инчик В. В. Высолы и солевая коррозия кирпичных стен / В. В. Инчик. – СПб., 1998. – 324 с.
10. Фиш Л. М. Фабрики и заводы всей России / Л. М. Фиш. – Киев, 1913. – С. 1107.
11. Указатель фабрик и заводов Европейской России и Царства Польского. – СПб., 1887. – С. 287.
12. Щеглов А. С. Инженерная реставрация памятников архитектуры: учеб. пос. / А. С. Щеглов, А. А. Щеглов. – М., 2018. – 520 с.

© А. Н. Гойкалов, В. И. Щербаков

**Ссылка для цитирования:**

Гойкалов А. Н., Щербаков В. И. Исследование технического состояния исторических зданий и анализ сохранности каменной кладки несущих конструкций // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2021. № 1 (35). С. 15–19.

УДК 624.036.621.87

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО АНАЛИЗА СИСТЕМЫ «ЗДАНИЕ – СВАЙНЫЙ ФУНДАМЕНТ – ГРУНТОВОЕ ОСНОВАНИЕ» С ПОМОЩЬЮ «MIDAS GTS NX»**

**Н. В. Купчикова, А. Н. Сычков**

*Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Россия*

Рассмотрен поэтапный процесс создания модели «здание – свайный фундамент – грунтовое основание». Показана подготовка 3D-модели здания в программных комплексах «САПФИР» и «ЛИРА-САПР», её экспорт в комплекс по решению сложных геотехнических задач «MIDAS GTS NX» с помощью встроенного конвертора. Продемонстрировано создание модели «грунтовое основание» в программном комплексе «MIDAS GTS NX» путем формирования заготовки для грунта в виде объемного тела; разделение массива основания и выемки на слои, которые соответствуют слоям грунта; добавление скважин, а также объединение массива основания с выемкой. Отражено задание свойств интерфейса для всех свай проекта, а также связывание свойств каждой части свай со слоем грунта, который она пронизывает. Задана стадийность, которая включает в себя расчет массива основания до выемки и после выемки грунта, возведения фундамента и здания. Выполнен анализ напряженно-деформированного состояния системы «здание – свайный фундамент – грунтовое основание».

**Ключевые слова:** *грунтовое основание, свая, свайный интерфейс, программный комплекс, модель здания, массив основания, напряженно-деформированное состояние.*

**RESULTS OF NUMERICAL ANALYSIS OF THE "BUILDING – PILE FOUNDATION – GROUND FOUNDATION" SYSTEM USING THE "MIDAS GTS NX"**

**N. V. Kupchikova, A. N. Sychkov**

*Astrakhan State University of Architecture and Construction, Astrakhan, Russia*

The step-by-step process of building-soil foundation model creation is considered. The preparation of the building model in «SAP-PHIR» and «LIRA-SAPR» software complexes is shown, the model is exported from «LIRA-SAPR» software complex to «MIDAS GTS NX» software complex using an integrated converter. The creation of the «soil base» model in the program complex «MIDAS GTS NX» is shown, by forming a blank for soil in the form of a volume body, creating an excavation, dividing the base mass and excavation into layers that correspond to soil layers, adding wells, as well as combining the base mass with excavation. Specifies the pile interface properties for all piles in the project, and links the properties of each part of the pile to the soil layer it penetrates. The staging which includes calculation of the mass of the basis before dredging, calculation after dredging, calculation after construction of the base and calculation after construction of the building is set. This model was calculated and the stress-strain state of the building-soil foundation model was analyzed.

**Keywords:** *the soil basis, a pile, the pile interface, a program complex, building model, the mass of the basis, the intense deformed state.*

Развитие компьютерных технологий и увеличение вычислительных возможностей позволило расширить объемы решаемых задач и сократить время их вычислений, в особенности при проектировании сложных геотехнических задач. Все это вызвало появление большого количество специализированных геотехнических программных комплексов (ПК), которые позволяют моделировать и проводить расчеты грун-

тового массива, а также оценивать его напряженно-деформированное состояние (НДС – история нагружения, деформации пластического течения, реологические свойства грунта и т. д.) [1–16].

Современные нормы проектирования оснований и фундаментов не дают четкого ответа как спрогнозировать или оценить поведение грунтового массива на всех этапах строительства, так как аналитическими методами расчета