



# ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРОКОВ СЛУЖБЫ ДЕРЕВЯННЫХ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

---

**Александр Григорьевич Черных**

Заведующий кафедрой металлических и  
деревянных конструкций СПбГАСУ

д.т.н., профессор

Екатеринбург

20.10.2022 г.



# ЧТО ТАКОЕ ОСТАТОЧНЫЙ РЕСУРС?

**ГАММА-ПРОЦЕНТНЫЙ РЕСУРС** - суммарная наработка, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с вероятностью, выраженной в %.

**ОСТАТОЧНЫЙ РЕСУРС** - суммарная наработка объекта от момента контроля его технического состояния до момента достижения объектом предельного состояния. (ед. изм. – лет)

---



# ЧТО ТАКОЕ СРОК СЛУЖБЫ?

**ГАММА-ПРОЦЕНТНЫЙ СРОК СЛУЖБЫ** - календарная продолжительность эксплуатации, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с вероятностью, выраженной в %.

**РАСЧЕТНЫЙ СРОК СЛУЖБЫ** – установленный в строительных нормах или в задании на проектирование период использования строительного объекта по назначению до капитального ремонта и (или) реконструкции с предусмотренным техническим обслуживанием. Расчетный срок службы отсчитывается от начала эксплуатации объекта или возобновления его эксплуатации после капитального ремонта или реконструкции [ГОСТ 27751-2014 ].

---



# СРОК СЛУЖБЫ

продолжительность нормальной эксплуатации  
строительного объекта с предусмотренным техническим  
обслуживанием и ремонтными работами (включая  
капитальный ремонт) до состояния, при котором его  
дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна

---

ГОСТ 27751-2014



# ПРОБЛЕМА

существующие методы прогнозирования работоспособности деревянных конструкций не позволяют определять расчетный срок службы и остаточный ресурс.

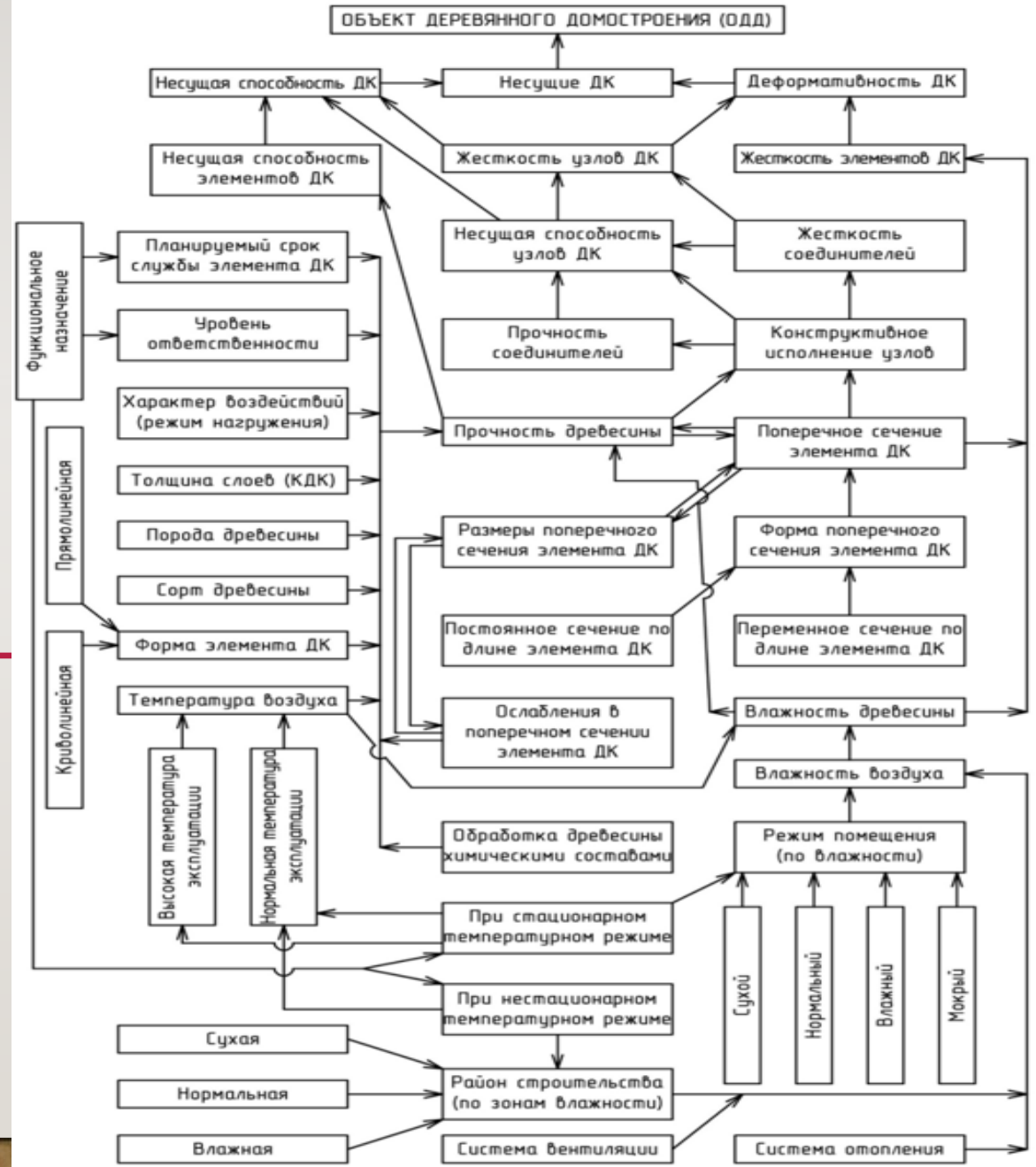
---

## Цель проводимых исследований СПбГАСУ:

разработка методов расчета остаточного ресурса и сроков службы деревянных конструкций.



Структурная схема.  
Взаимосвязь параметров технического состояния ОДД по характеристикам и состоянию несущих ДК





# ОБЗОР И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

$$\lg t = \lg A - 0,166 \cdot \sigma$$

где  $t$  – время до разрушения под постоянной нагрузкой,

$\sigma$  – напряжение, %,

$A$  – постоянная.

---

$$t_{исп} = \frac{t_{max}}{38,2} \quad - \text{Приведенное время}$$

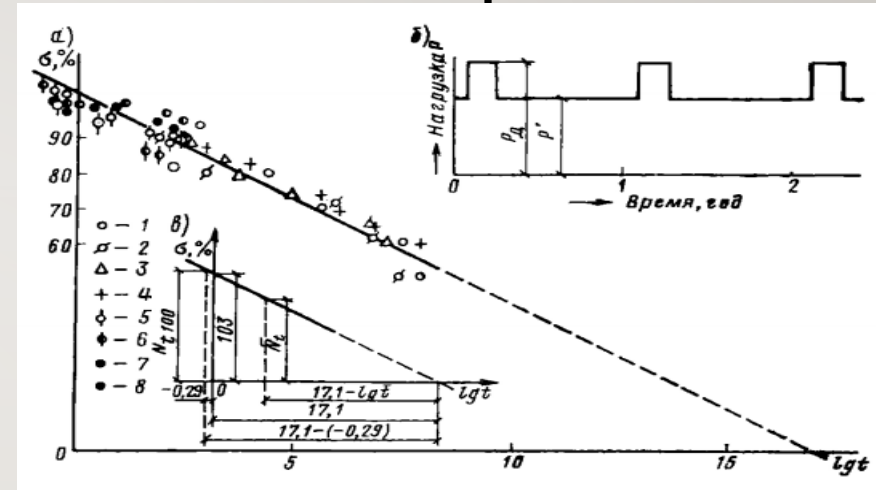
По Рекомендациям  
[Рекомендации по испытанию  
соединений деревянных  
конструкций / ЦНИИСК им. В.  
А. Кучеренко. — М.: Стройиздат,  
1980. — 40 с.]



# ОБЗОР И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

1) не ясна физическая основа объединения всех экспериментальных результатов в обобщенную линейную зависимость;

2) предельная долговечность (при  $\sigma = 0$ ) не зависит от вида материала (древесина или фанера), вида нагружения, количества влаги, ориентации волокон;



3) не учитывается различие структуры исследуемых материалов;

4. не согласуется с наступлением предела длительного сопротивления древесины

5) не учитывается температура эксплуатации.





# ОБЗОР И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

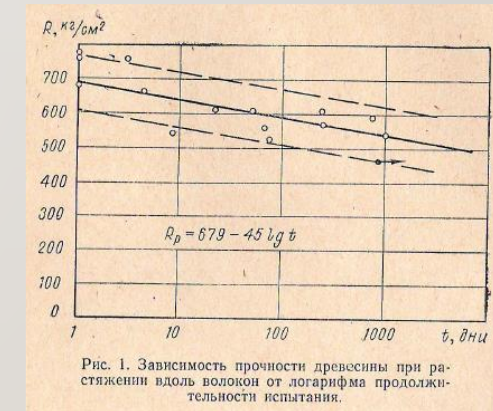
$$\sigma = a \cdot t^b$$

$$\sigma = a - b \cdot \lg t$$

где  $\sigma$  – величина длительной прочности;

$t$  – долговечность (продолжительность испытаний, дни);

$a, b$  – коэффициенты.





# ОБЗОР И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Существует иной подход, где долговечность измеряется вероятностью безотказной работы.

Функция называется функцией долговечности. Если резерв несущей способности изменяется по нормальному закону, то функция долговечности перед моментом наступления отказа вычисляется по формуле:

Среднее значение резерва несущей способности определяется по формуле:

где  $t_\gamma$  – гамма-ресурс конструкции, т.е. время работы конструкции при заданной величине  $\gamma$  вероятности безотказной работы;  $v_L(t)$  – среднее значение скорости увеличения нагрузочного эффекта  $L$ ;  $v_R(t)$  – среднее значение скорости уменьшения сопротивления  $R$ .

$$P(t) = P(\tau > t)$$

$$P(g_n > 0) = 0,5 + \Phi(\beta_n)$$

$$\bar{g}_n = \bar{R}_0 - \bar{L}_0 - (\bar{v}_R + \bar{v}_L) \cdot t_\gamma$$

$$\beta_n = \frac{\bar{g}_n}{S_{g_n}} \quad \text{где индекс надежности равен}$$

---

$$\bar{\tau} = \frac{\bar{R}_0 - \bar{L}_0}{\bar{v}_R + \bar{v}_L}$$

Гамма-ресурс конструкции  $t_\gamma$  должен быть меньше среднего значения наработки  $\tau$ :  $t_\gamma < \tau$ .

Это неравенство следует из условия долговечности:  $g > 0$ . Среднее значение наработки  $\tau$  определяется из уравнения  $g = 0$ .

*Приведенный алгоритм достаточно прост, но подготовка исходных данных при неосуществима. Экспериментальное определение скоростей  $v_L(t)$ ,  $v_R(t)$  чрезвычайно затруднительно, потому что для непосредственного измерения величин  $L$  соответствующих приборов.*



# АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ОБЪЕКТОВ ДЕРЕВЯННОГО ДОМОСТРОЕНИЯ, РАЗРАБОТАННЫЙ В СПБГАСУ





# РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧЕТА ГАММА-ПРОЦЕНТНОГО РЕСУРСА И ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Вероятность безотказной работы  $P_a$  конструкции в течение срока службы конструкции « $\tau_c$ » рассчитывается по формуле:

где  $W_p$  – коэффициент вариации прочностных свойств материала конструкции;  $\Phi$  – нормированная функция Лапласа.

Значения  $x$  и  $x_{cp}$  в формуле определяются из формулы долговечности. В этом случае  $x_{cp}$  и  $x$  принимается равной:

$\tau_c$  – гамма процентный ресурс (срок службы) при определённой вероятности безотказной работы  $P_a$

$$P_a = 0,5 + \Phi \left[ \left( 1 - x / x_{cp} \right) / W_p \right]$$

$$x = \ln(\tau_c / \tau_0)$$

$$x_{cp} = (U - \gamma \cdot \sigma) / (R \cdot T)$$

$$\tau_c = \tau_0 \cdot \exp \left[ \frac{U_0 - \gamma \cdot \sigma}{R \cdot T} \right]$$

---

где  $\tau_c$  – долговечность, с;

$\sigma$  – напряжение, Па;

$\tau_0$  – период тепловых колебаний, равный  $10^{-13}$  с;

$R$  – универсальная газовая постоянная, равная 8,314 Дж/(моль·К);

$T$  – температура, К;

$U$  – энергия активации процесса разрушения материала конструкции, Дж;

$\gamma$  – коэффициент, зависящий от величины масштабного фактора конструкции.



# ПОРЯДОК РАСЧЕТА СРОКА СЛУЖБЫ

1. Определяются значения параметров  $U$  и  $\gamma$  по справочным данным.
  2. Назначается температура эксплуатации.
  3. Задается напряжение.
  4. Вычисляется переменная  $x_{cp}$ .
  5. Назначается минимальное значение величины вероятности безотказной работы, соответствующее категории технического состояния, до которой ведется расчет, и коэффициент вариации прочностных свойств.
  6. Методом итераций по формуле определяется срок службы конструкции  $\tau_c$ , по достижению заданного уровня вероятности безотказной работы.
-



# ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО ВЕЛИЧИНЕ ФИЗИЧЕСКОГО ИЗНОСА

Проект таблицы – Стены наружные деревянные из ДПК со слоем утеплителя и облицовкой.

Признаки износа	Количественная оценка	Физический износ, %	Примерный состав работ
Трещины на облицовке.	Повреждения на площади до 10 %	0-10	Шпатлевание, покраска облицовки.
Расслаивание клеевых швов.	Повреждения на площади до 20 %	11-20	Армирование панели.
Деформация панели.	Повреждения на площади до 30 %	21-30	Ремонт части панели. Защитно-декоративная обработка плит.
Деформация панели. Трещины в углах и стыках внутренних стен.	Повреждения на площади до 40 %	31-40	Гидроизоляция, устройство разделительного слоя между панелью и устройством пола, перекрытием этажа. Усиление узлов скрепления стен. Укрепление углов.
Деформация панели. Отклонение от вертикали. Поражение древесины гнилью. Повышенная влажность в помещениях.	Повреждения на площади более 40 %	41-50	Гидроизоляция, устройство разделительного слоя между панелью и устройством пола, перекрытием этажа. Усиление узлов скрепления стен. Укрепление углов. Защитно-декоративная обработка плит.
Деформация панели. Выпучивание стен. Поражение древесины гнилью. Увлажнение древесины.	Повреждения на площади более 50 %	51-60	Гидроизоляция, устройство разделительного слоя между панелью и устройством пола, перекрытием этажа. Ремонт панелей. Защитно-декоративная обработка плит.
Деформация панели. Поражение древесины гнилью. Сырость в помещениях. Наличие временных креплений.	Повреждения на площади более 50 %	61-70	Полная замена панелей



# ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО ВЕЛИЧИНЕ ФИЗИЧЕСКОГО ИЗНОСА

1. Определение величины физического износа  
деревянной строительной конструкции.

В России определение величины физического износа  
осуществляется на основании результатов обследования по  
таблицам ВСН 53-86(р).

Как отмечается исследователями сведения в данном  
документе являются устаревшими и требуют  
актуализации для определения физического износа  
применительно к деревянным конструкциям из  
современных композиционных материалов на основе  
древесины.

---

2. По величине износа определяется относительная  
надежность.

Относительная надежность рассчитывается в зависимости  
от величины установленного физического износа по  
формуле 1 для 4 категорий:

$$y = 1,0714 \cdot Ph^3 - 1,3929 \cdot Ph^2 + 0,0357 \cdot Ph + 0,99 \quad (1)$$

где: y- вероятность относительной надёжности; Ph – физический износ.





# ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО ВЕЛИЧИНЕ ФИЗИЧЕСКОГО ИЗНОСА

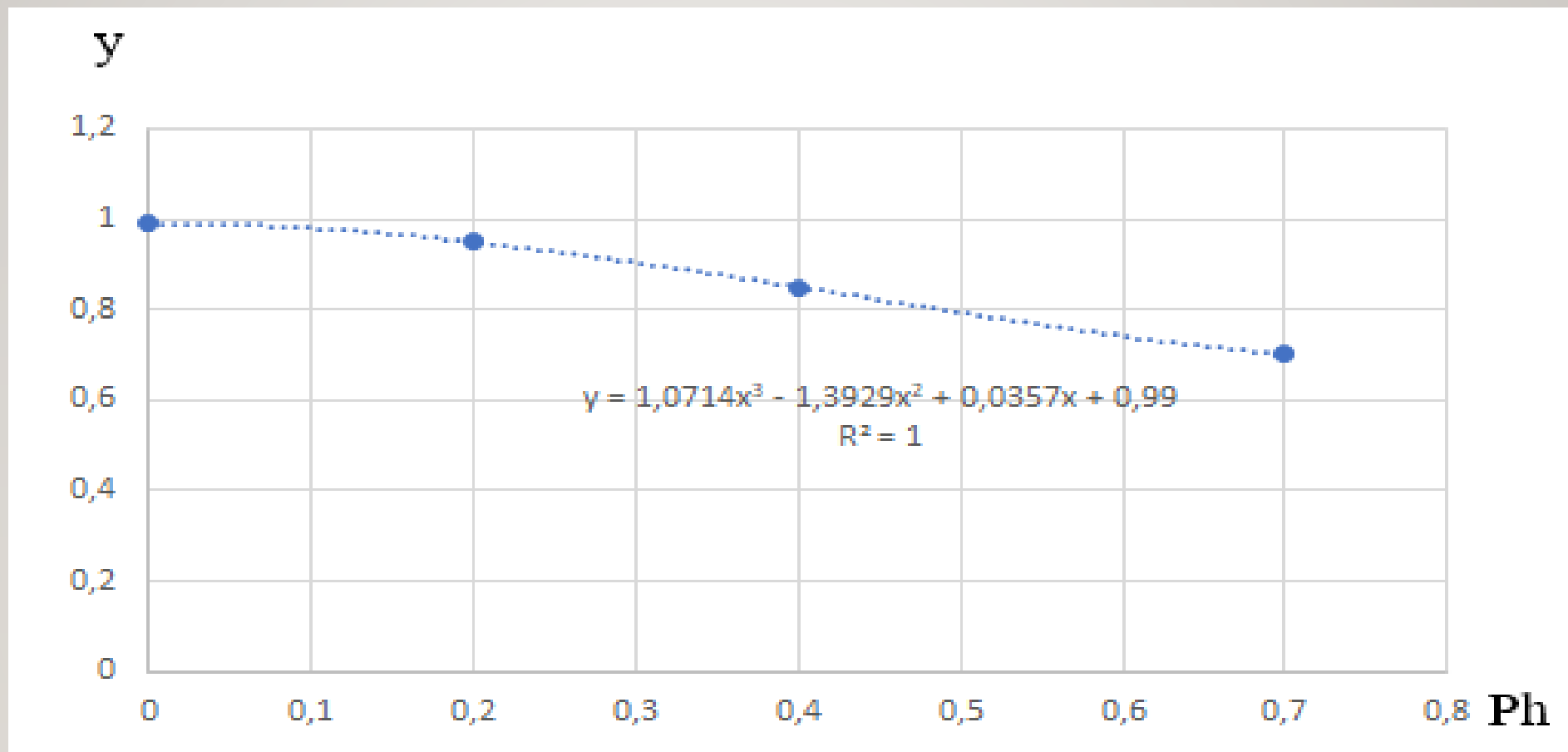


Рисунок 1. График зависимости относительной надежности от величины физического износа





### 3. Назначение категории технического состояния.

Категория технического состояния назначается в зависимости от величины относительной надежности в следующих интервальных значениях:

0,99÷0,951 – нормативная;

0,95÷0,851 – работоспособная;

0,85÷0,801 – ограниченно-работоспособная;

0,8÷0,7 – аварийная.

### 4. Расчет остаточного ресурса. (по методике 2018)

Расчет выполняется по методу гамма-процентного ресурса до капитального ремонта по формуле:

где  $\lambda$  постоянная физического износа,

определяется по формуле:

где  $k$  – показатель,

определяемый по формуле:

$y_{min}$  – минимальное значение относительной надежности, задаваемое при

расчете.

$$t = \frac{k}{\lambda}$$

$$\lambda = -\frac{\ln y}{t_{\phi}}$$

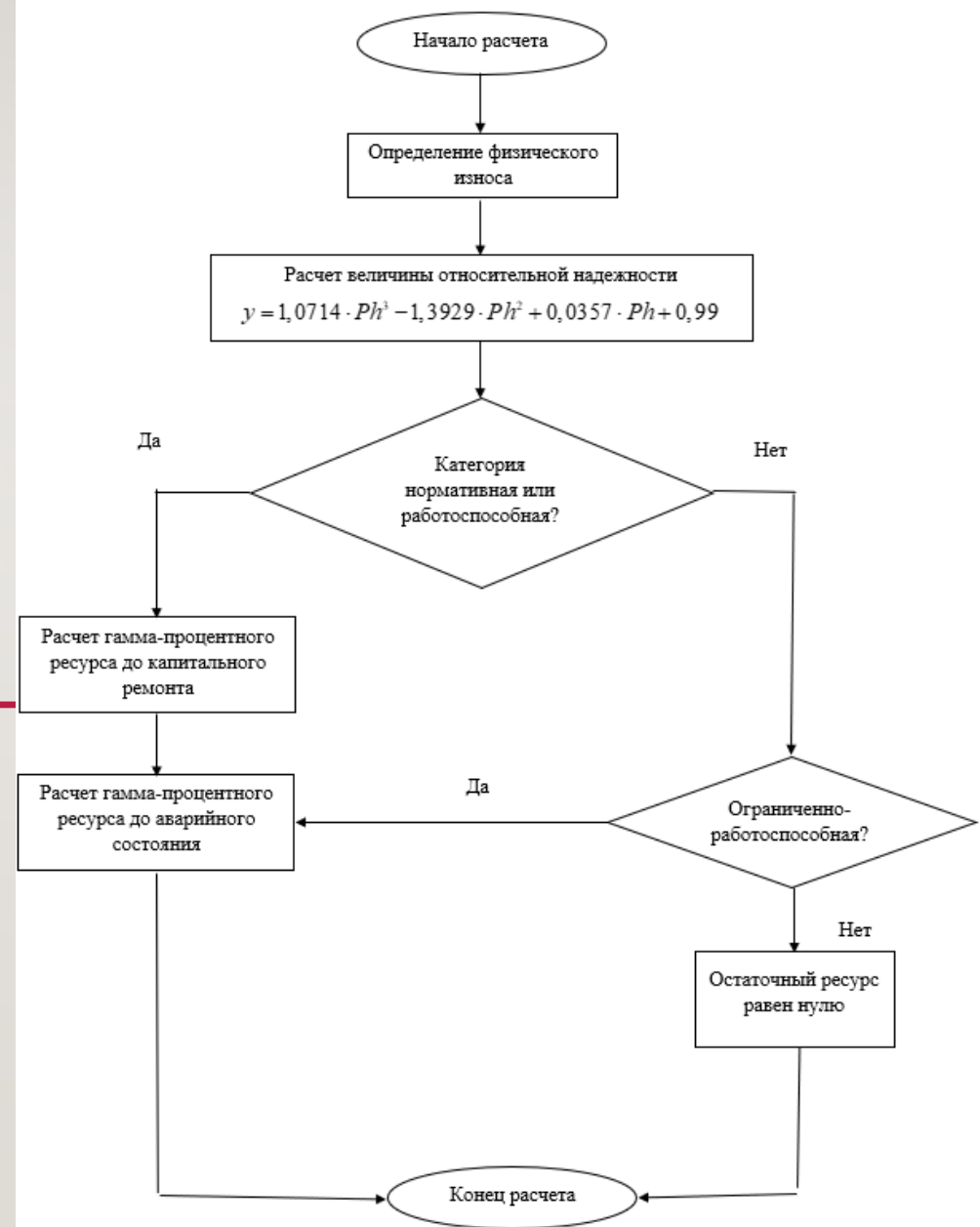
$$k = \ln y_{min}$$

В практике расчета остаточного ресурса наиболее часто применяют следующие значения показателя  $k$ :

– 0,162 при  $y = 0,85$ ;

– 0,22 при  $y = 0,80$ .

Алгоритм расчета можно представить в виде блок-схемы (см. рис. 2).





# ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО ВЕЛИЧИНЕ ФИЗИЧЕСКОГО ИЗНОСА

Ниже предлагается сравнительный расчёт остаточного ресурса по утверждённой Методике 2018 года и разработанному алгоритму.

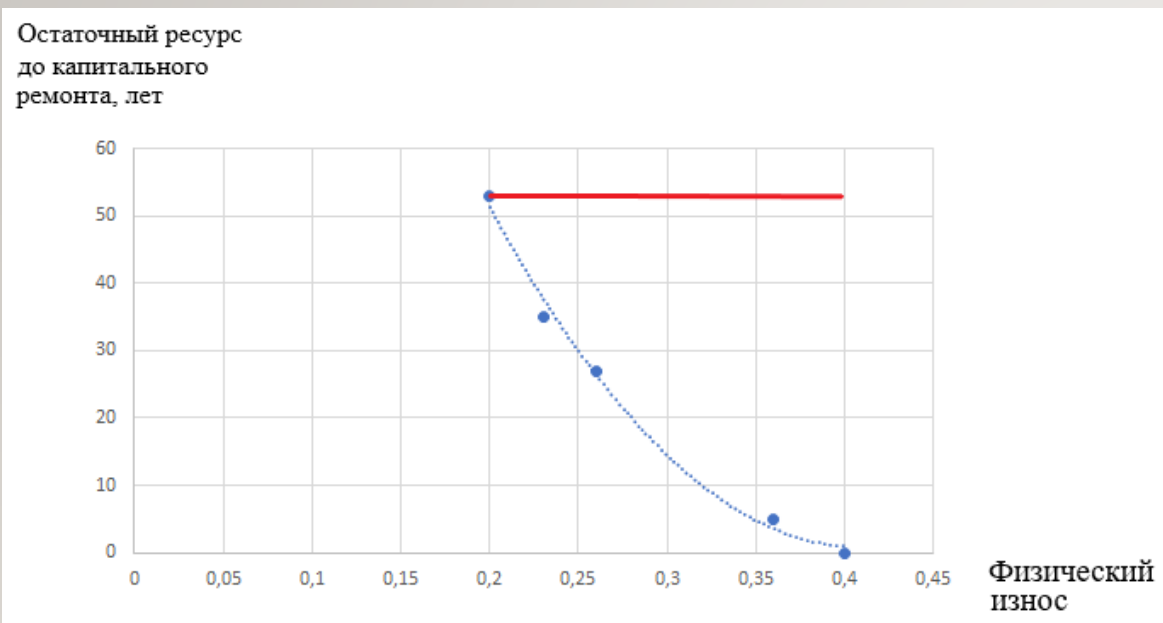
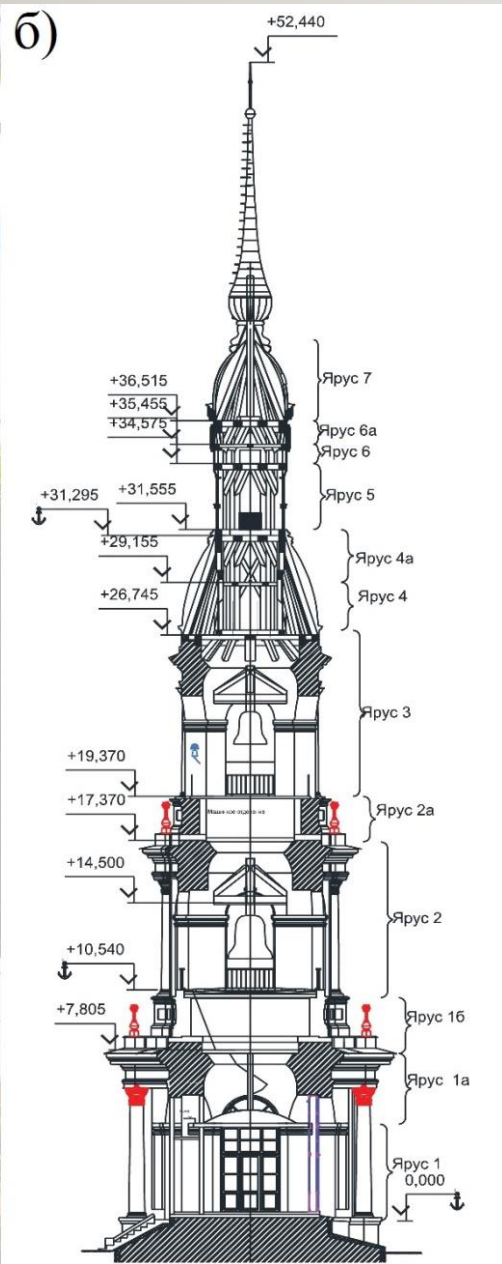
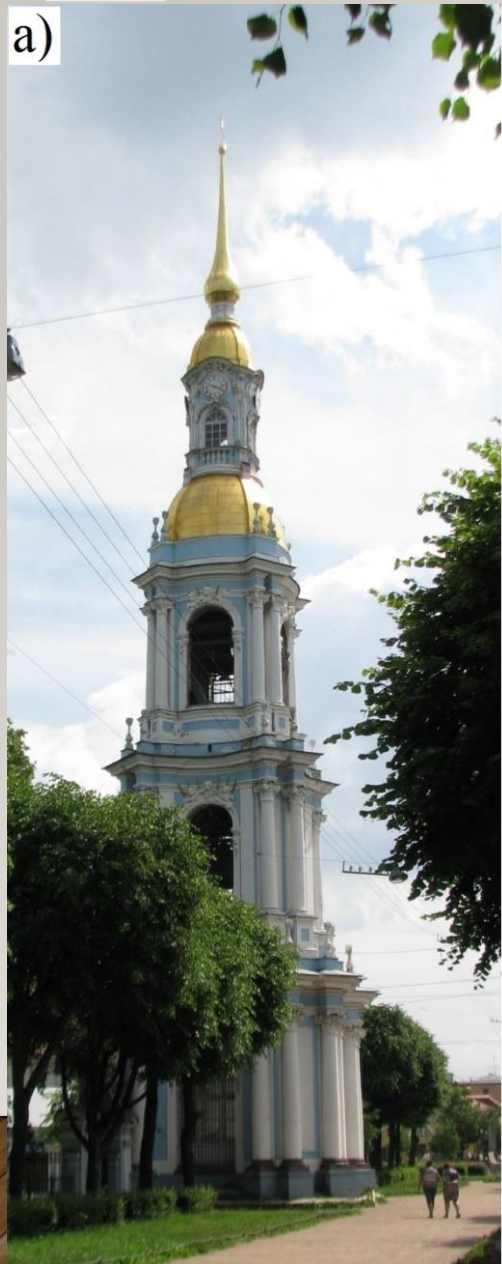


Рисунок 3. Результаты расчета остаточного ресурса по Методике и по уточненной методике определения гамма-процентного ресурса

Метод расчета остаточного ресурса	Согласно Методике	Усовершенствованный метод, предложенный авторами		
		0,23	0,26	0,36
Физический износ Ph	—	0,23	0,26	0,36
Относительная надежность	0,95	0,9355	0,9258	0,8746
Категория технического состояния	Работоспособная			
Постоянная физического износа	0,0021	0,0027	0,0031	0,0054
Срок службы до капитального ремонта	78	60	52	30
Остаточный ресурс до капитального ремонта, лет	53	35	27	5



# ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО ВЕЛИЧИНЕ ФИЗИЧЕСКОГО ИЗНОСА



Примем допущение, что физический износ после восстановления не будет полностью компенсирован, и его величина станет равна 37%.

До следующего капитального ремонта относительная надёжность составит:

$$y = 1,0714 \cdot 0,37^3 - 1,3929 \cdot 0,37^2 + 0,0357 \cdot 0,37 + 0,99 = 0,8670.$$

$$\lambda = \frac{\ln y}{t_{\phi}} = \frac{\ln 0,8670}{263} = 0,000544,$$

$$T = \frac{k}{\lambda} = \frac{0,162}{0,000544} = 298 \text{ лет},$$

$$T_{\text{ост}} = T - t_{\phi} = 298 - 263 = 35 \text{ лет}.$$

Таким образом получено, что остаточный ресурс несущих деревянных конструкций шпиля колокольни до следующего капитального ремонта (расчетный срок службы) составит после проведения ремонтно-реставрационных работ 35 лет.