

Казанский государственный архитектурно-
строительный университет

**Актуальные вопросы строительного нормирования
по обеспечению безопасности эксплуатации
строительных конструкций с применением
полимерных композиционных материалов**

Сулейманов Альфред Мидхатович
Зав кафедрой «Строительные материалы» КГАСУ,
профессор, дтн член-корреспондент АН РТ
alfred-sulrijmanov@yandex.ru

Конструкционные полимерные композиционные материалы



- Пултрузионные стеклопластиковые профили (ПСП)
- Системы внешнего армирования композитными материалами (СВА)



Нормативные документы по проектированию конструкций из полимерных композитов

- Руководство по проектированию и расчету строительных конструкций из пултрузионных стеклопластиковых профилей производства ООО «Татнефть-Прессккомпозит» АО НИЦ Строительство
- СП 164.1325800.2014 Усиление железобетонных конструкций композитными материалами

Расчетное сопротивление пултрузионных стеклопластиковых профилей *

$$R_{\text{расч}} = \frac{R_{\text{норм}}}{\gamma_w} \cdot \gamma_{\text{дл}} \cdot \gamma_{\text{т}} \cdot \gamma_w \cdot \gamma_f$$

где: γ_w - частный коэффициент надежности по материалу;

- $\gamma_{\text{дл}}$ – коэффициент условия работы, учитывающий длительность нагружения конструкций;
- $\gamma_{\text{т}}$ – коэффициент условия работы, учитывающий влияние температуры на снижение свойств материала;
- γ_w – коэффициент условия работы, учитывающий влияние влажности на снижение свойств материала;
- γ_f – коэффициент условия работы, учитывающий влияние климатических факторов на снижение свойств материала.

* Руководство по проектированию Татнефть ПрессКомпозит
(разработчик ЦНИИСК им Кучеренко)

Расчетное сопротивление пултрузионных стеклопластиковых профилей *

При существующих частных коэффициентах надежности материал неэффективен по сравнению с металлическими аналогами

Таблица 3.1 – Значения коэффициента условий работы m_T при температурных нагрузках

Температура эксплуатации конструкций из профилей, °С	Значения коэффициента m_T	
	при кратковременном действии нагрузки	при длительном действии нагрузки
от -60 до 20	1	1
30	1	0,89
40	1	0,77
50	1	0,66
60	0,93	0,55
70	0,86	0,44
80	0,8	0,32

Table 2.4-1 Adjustment factors for end use conditions

Reference Property	Moisture C_M	Temperature (°F) C_T for (90 < T ≤ 140)
Vinyl ester material		
Strength	0.85	1.7 – 0.008T
Elastic modulus	0.95	1.5 – 0.006T
Polyester material		
Strength	0.80	1.9 – 0.010T
Elastic modulus	0.90	1.7 – 0.008T

**Pre-Standard for Load & Resistance Factor Design (LRFD) of Pultruded Fiber Reinforced Polymer (FRP) Structures

* Руководство по проектированию Татнефть ПрессКомпозит (разработчик ЦНИИСК им Кучеренко)

Расчетное сопротивление пултрузионных стеклопластиковых профилей

При неблагоприятном сочетании воздействующих факторов
($\gamma_{дл}=0,5$; $\gamma_{дин}=0,35$; $\gamma_{T=60oC}=0,55$; $\gamma_{W=75\%}=0,9$)

$\gamma_{у.р.}$ без учета деградации материала от длительного
воздействия климатических факторов может составлять:

$\gamma_{у.р.} = 0,25$ при статическом воздействии нагрузок;

$\gamma_{у.р.} = 0,17$ при динамическом воздействии нагрузок.

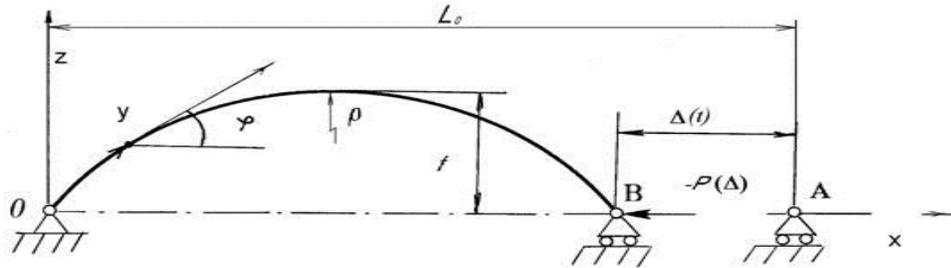
**Экспериментальное определение значимости
воздействия эксплуатационных факторов на
полимерную матрицу пултрузионных
стеклопластиковых профилей**

Режимы ускоренных климатических испытаний

- раздельное воздействие факторов: УФ-радиация – 80 Вт/м², температура – 60°C, вода, механическое напряжение с начальным усилием 60% от разрушающего;
- парное воздействие факторов: УФ+σ, Т+σ, W+σ;
- совместное воздействию всех основных факторов УФ+W+Т+σ

$$\gamma_{у.р.} = \gamma_{дл} \cdot \gamma_{Т} \cdot \gamma_{W} \cdot \gamma_{f}$$

Метод продольного изгиба для моделирования НДС в КПКМ



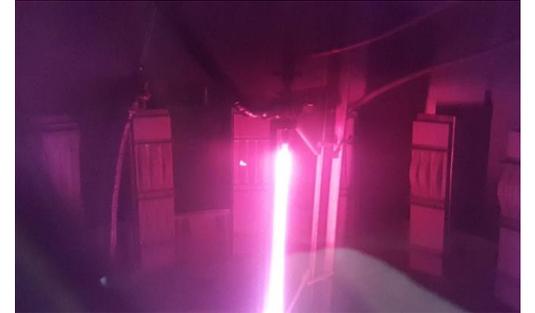
$$\sigma_{\text{ПИ}} = \frac{P \cdot f}{W}$$

где P – приложенная к концам образца продольная нагрузка (реакция шарнирных опор), Н;
 f – стрела прогиба, мм;
 W – момент сопротивления поперечного сечения образца, мм³

а)



б)



в)

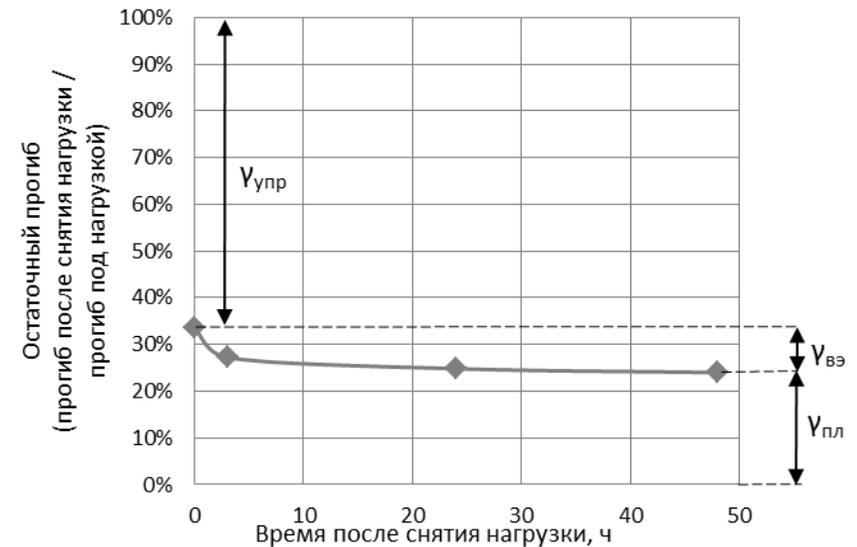
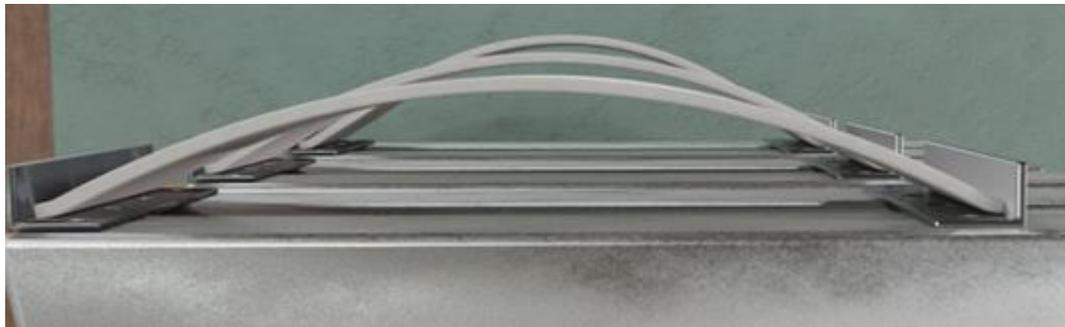
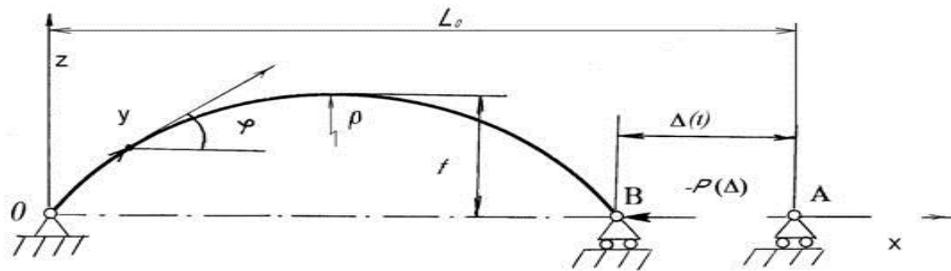


г)

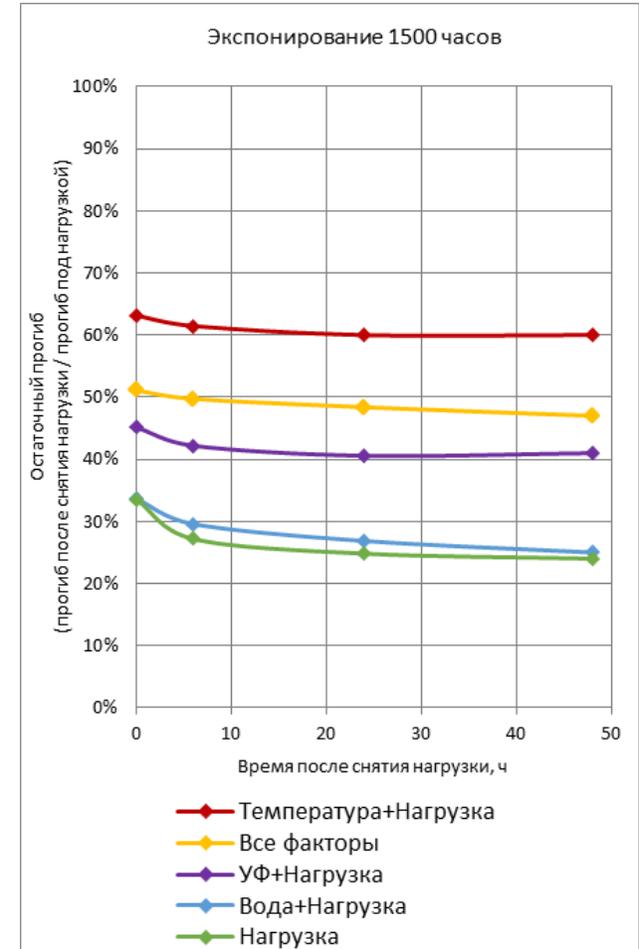
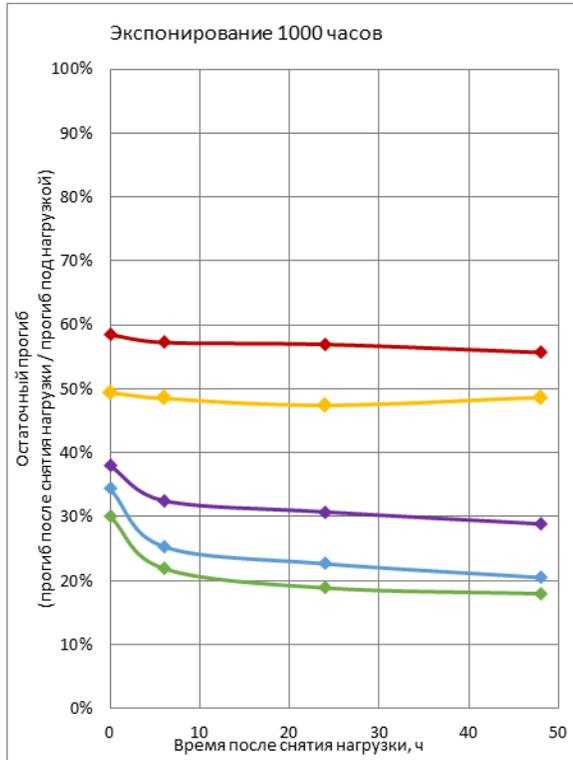
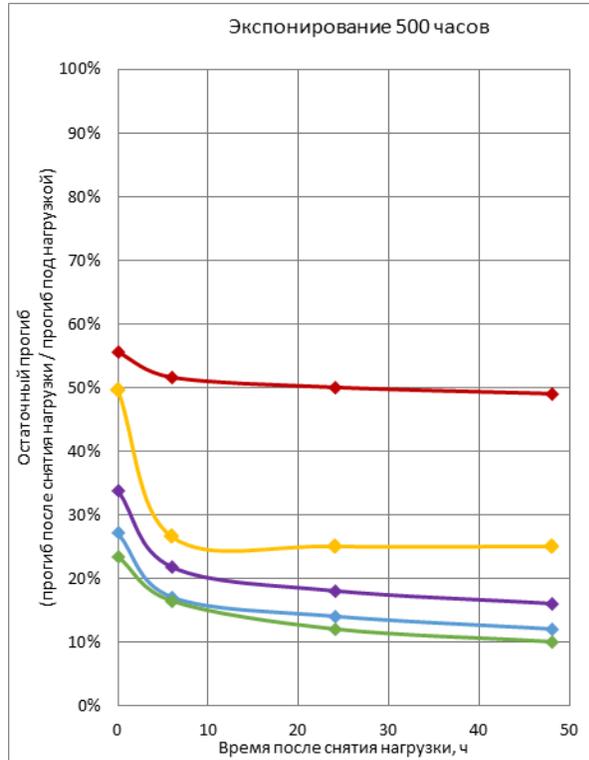


Рис. 1 – Испытательные стенды для матрицы ПСП:
а) в термокамере, б) в установке искусственной погоды

Схема определения упругой, вязкоэластичной и пластической составляющей деформаций

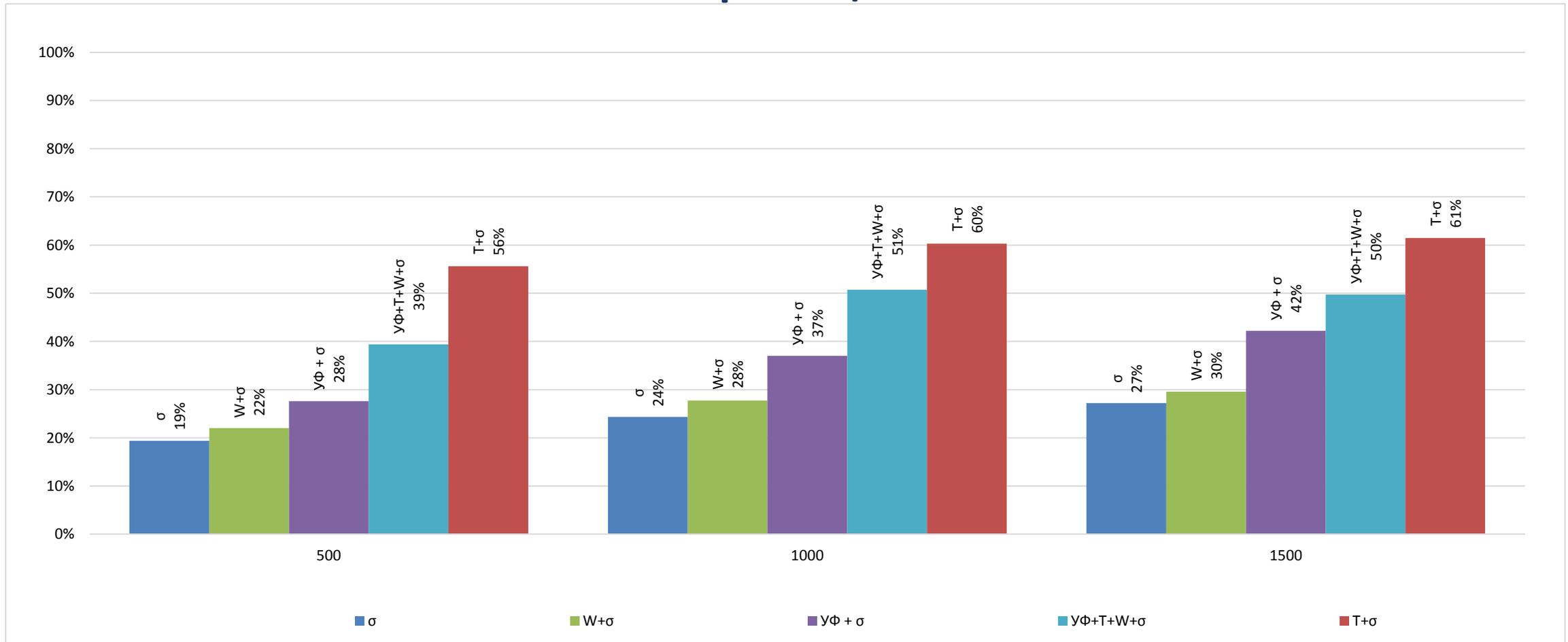


Измерение остаточных деформаций после разгрузки для разного времени экспонирования*



* Отношение остаточного прогиба образца к его прогибу во время экспонирования

Остаточные деформации после разгрузки образцов



$$\gamma_{y.p.} = \gamma_{y\phi} \cdot \gamma_T \cdot \gamma_w \cdot \gamma_\sigma = 0,1$$

$$\gamma_\Sigma = \gamma_{y\phi+T+W+\sigma} = 0,5$$

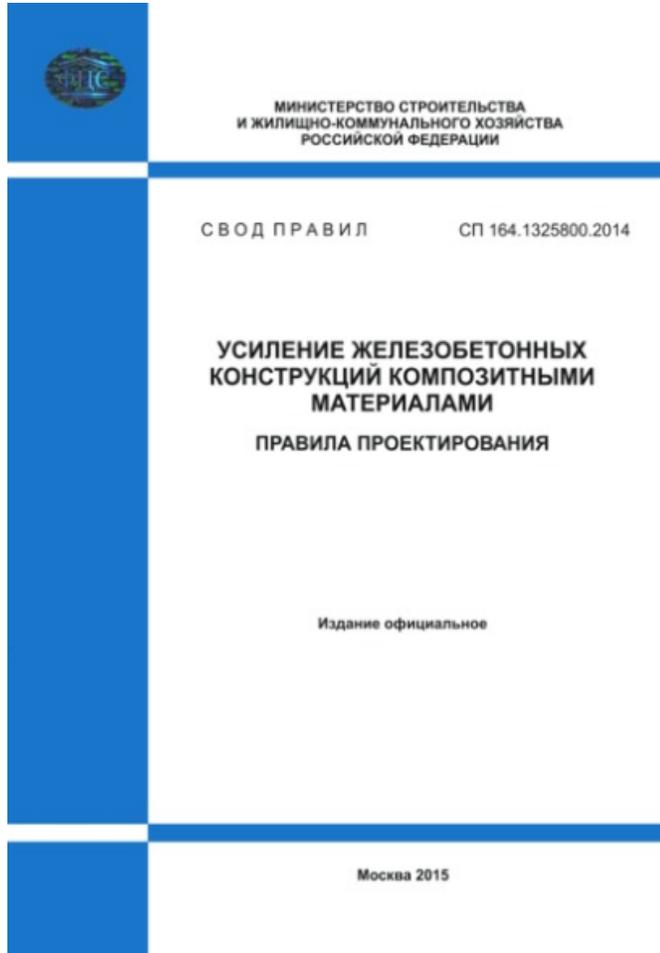
Требования к коэффициенту условия работы

- Коэффициент условия работы $\gamma_{y.p.}$ должен экспериментально определяться для назначенных условий эксплуатации
- Коэффициент условия работы должен учитывать синергетику и антагонизм воздействия факторов

$$\gamma_{y.p.} \neq \gamma_{дл} \cdot \gamma_{T} \cdot \gamma_{w} \cdot \gamma_{f}$$

- Коэффициент условия работы $\gamma_{y.p.}$ должен связывать изменение свойств материалы ΔX с назначенным сроком службы t

Нормативная база в области проектирования СВА



Нормативная прочность на растяжение углеродной ленты FibArm Tape – 530/300 $R_{f,n} = 4,9$ ГПа.

Расчетная прочность по СП 164.1325800.2014:

$$R_f := \gamma_{f1} \cdot \gamma_{f2} \cdot \gamma_{f3} \cdot R_{f,n}$$
$$\gamma_{f1} := 0.9, \gamma_{f3} := 0.8, \gamma_f := 1.2$$
$$\varepsilon_{f.ult} := \left(\frac{\left(\frac{\gamma_{f1} \cdot 1 \cdot R_{f,n}}{\gamma_f} \right)}{E_f} \right) = \frac{0.9 \cdot 4.9}{1.2} = 0.015$$
$$\gamma_{f2} := \left(\frac{1}{2.5 \cdot \varepsilon_{f.ult}} \right) \cdot \sqrt{\frac{R_b}{n \cdot E_f \cdot 10^3 \cdot t_f}} = 0.238$$
$$R_f := \gamma_{f1} \cdot \gamma_{f2} \cdot \gamma_{f3} \cdot R_{f,n} = 0.841 \text{ ГПа}$$

Запас прочности $\frac{R_{f,n}}{R_f} = 3.5$

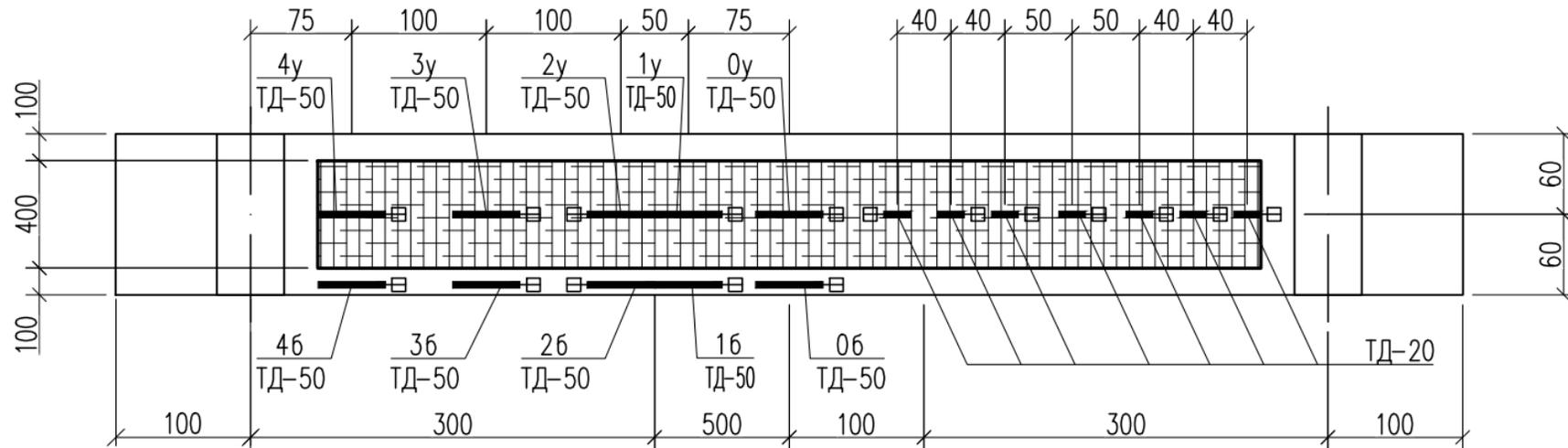
**Разработка метода прогнозирования
ползучести элементов железобетонных
конструкций усиленных СВА**

Испытание элемента железобетонной конструкции на ползучесть

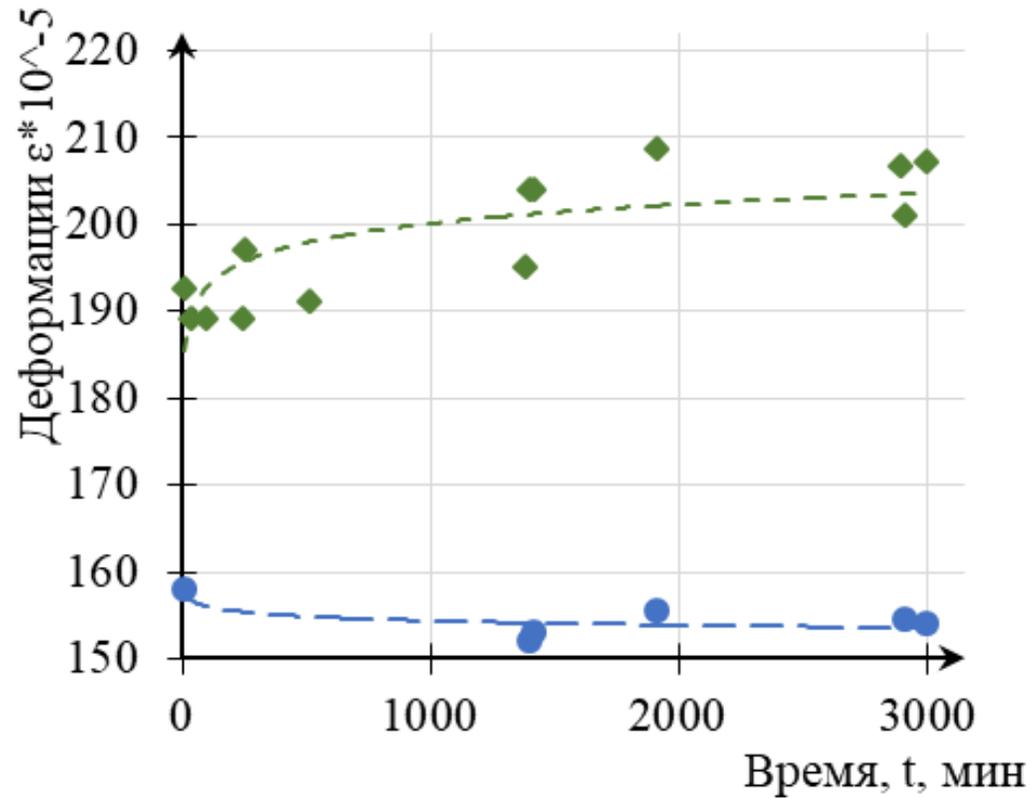


Расположение тензорезисторов на образце

Схема расположения тензодатчиков в растянутой зоне



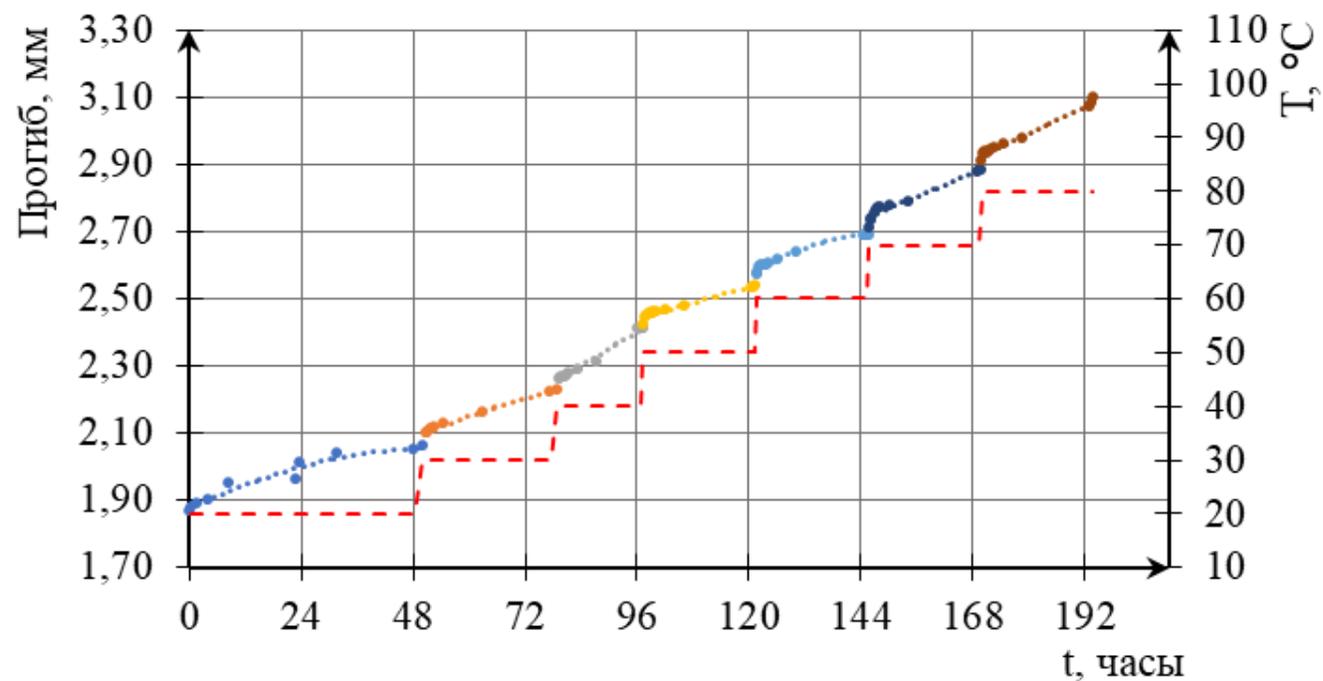
Деформации на углепластике и бетоне



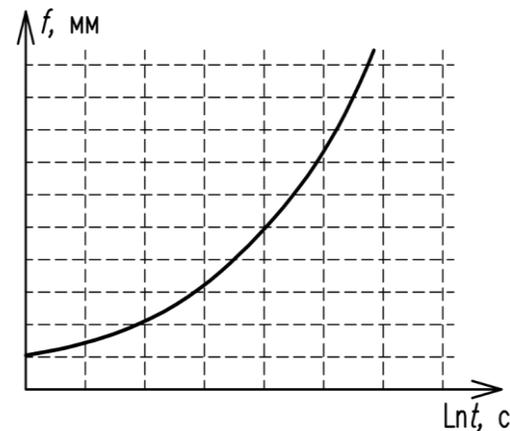
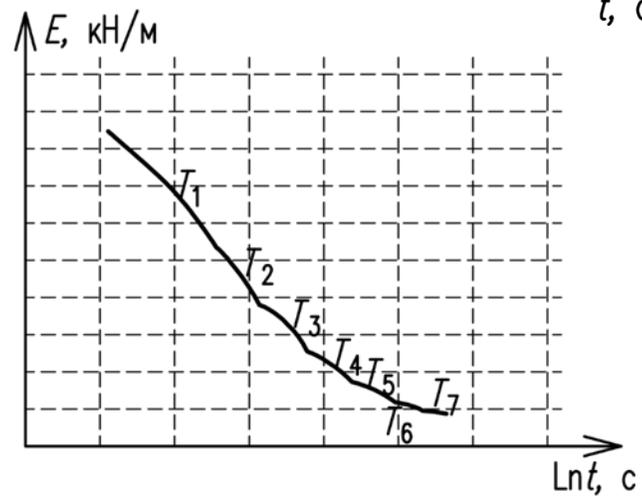
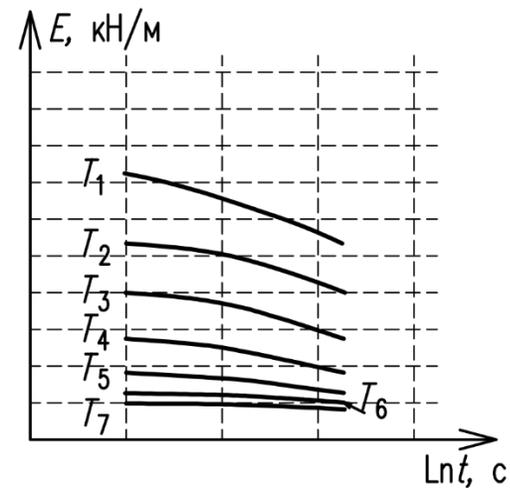
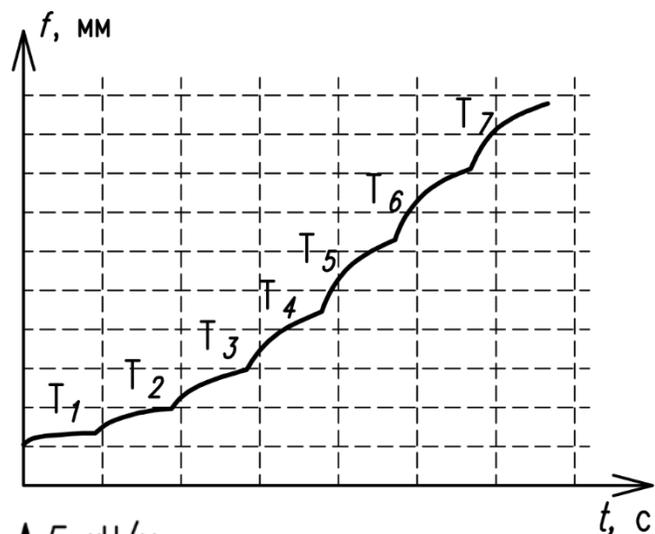
• - деформации на углепластике;

◆ - деформации на бетоне

Прогибы образца при ступенчатом воздействии температур



Построение обобщенной кривой по методу ступенчатых изотерм



Спасибо за внимание!