

УДК 674.048

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ИЗДЕЛИЙ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

**Божелко И.К.**

*(УО «Белорусский государственный технологический университет»)*

*Разработана расчетная модель деревянной шпалы; проведены расчеты напряженно-деформированного состояния шпал в зависимости от влажностного градиента и геометрических параметров; выявлены факторы, влияющие на возникновение трещин; проведено сопоставление расчетных данных с экспериментальными результатами*

В виду своих многочисленных достоинств древесина получила широкое распространение в качестве строительного материала в мире. Деревянные конструкции и изделия используются в различных классах эксплуатации, в том числе и таких тяжелых, как под воздействием атмосферных осадков и в контакте с почвой. Перепады влажности вызывают в древесине такие явления как разбухание и усушка, которые влияют на напряженно-деформированное состояние деревянных конструкций и изделий. При проектировании очень важно понимание поведения деревянных конструкций и изделий в процессе эксплуатации с целью прогнозирования их долговечности и безопасности. Однако решение такого рода задач осложнено анизотропией свойств древесины, что сильно осложняет процесс моделирования. **Целью** данной работы является разработка модели с учетом анизотропии свойств древесины, усушки и разбухания на основе теории упругости, сопротивления материалов и метода конечных элементов на примере деревянных шпал и сопоставление расчетных данных с экспериментальными.

Условия эксплуатации деревянных шпал относятся к 13-му классу условий службы в соответствии с ГОСТ 20022.2-80 и четвертому по EN 335. Вымывание – умеренное третьей степени, характер увлажнения – почвенная влага и загрязнения органического характера. В процессе эксплуатации на шпалы воздействует целый ряд факторов окружающей среды. Среди них: климатические и биологические.

Деревянные шпалы имеют ряд преимуществ и поэтому широко используются в мире. Однако воздействие внешних факторов зачастую приводит к их преждевременному растрескиванию, механическому разрушению и гниению. Для прогнозирования состояния шпал с целью оптимизации технологии их производства проведены исследования напряженно-деформированного состояния деревянных шпал в процессе эксплуатации путем моделирования.

Модель деревянной шпалы разрабатывалась с учетом анизотропии древесины, усушки и разбухания на основе теории упругости, сопротивления материалов и метода конечных элементов (КЭ) [1, 2]. За основу взята наиболее применяемая сосновая обрезная шпала второго типа для железных дорог широкой колеи с размерами 160×230×2750 мм (рисунок 1).

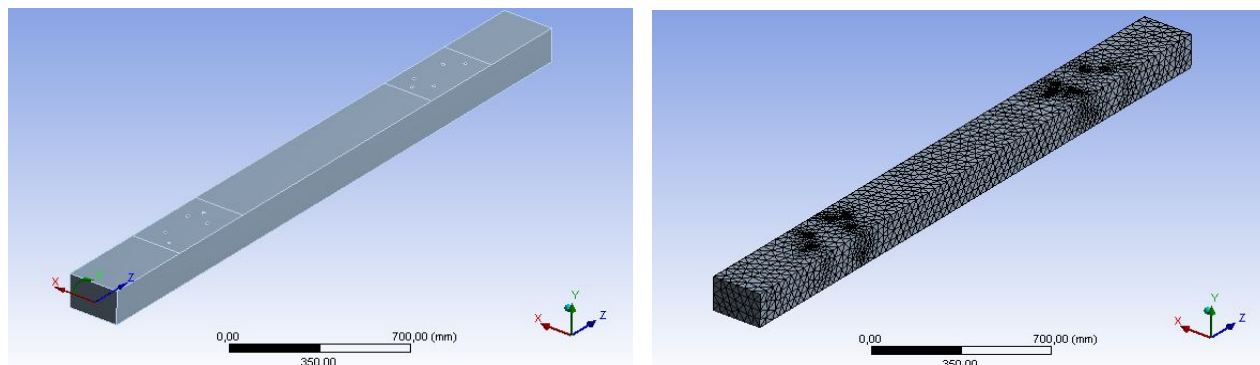


Рисунок 1. Расчетная модель шпалы второго типа 160×230×2750 мм

Расчеты напряженно-деформированного состояния шпал проведены для периодов эксплуатации с наиболее существенными перепадами влажности (осенне-весенние периоды), когда нижняя часть шпалы сохраняет влажность более 30 %, а верхняя с учетом среднемесячной относительной влажности воздуха – не более 15 % (рисунок 2).

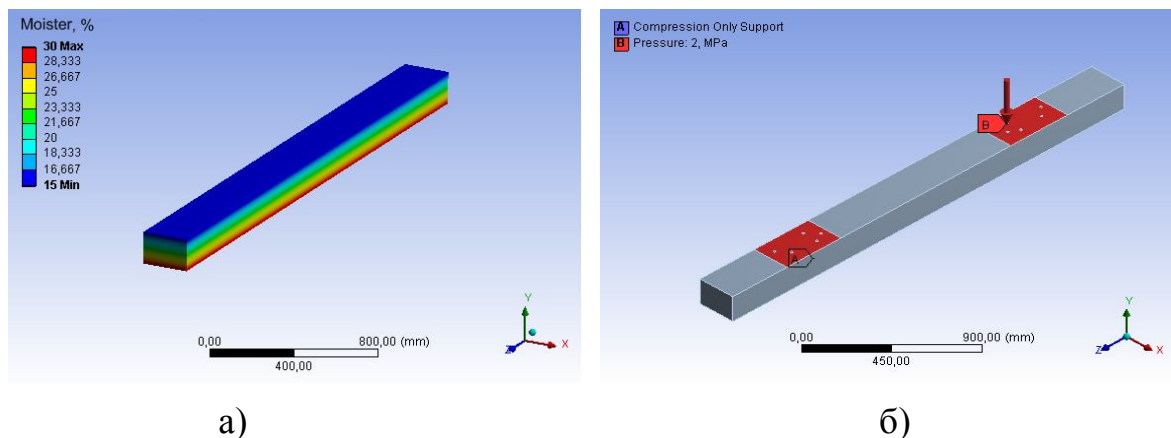


Рисунок 2. Граничные условия: а) распределение влажности; б) схема нагружения шпалы (опора давления)

В процессе разработки модели принимали:

- рассчитываемая конструкция шпалы представляется в виде совокупности КЭ, узлы которых обеспечивают соединение элементов между собой, их перемещения определяют деформированное состояние конструкции в целом;
- связь между напряжениями и деформациями осуществляется через упругие постоянные на базе теории упругости анизотропного тела;
- параметры, характеризующие механические свойства древесины, заданы с учетом цилиндрической системы координат: модуль упругости вдоль волокон, поперек волокон в тангентальном и радиальном направлении соответственно  $E_{\omega}$ ,

$E_b$ ,  $E_r$ , модуль сдвига соответственно  $G_a$ ,  $G_b$ ,  $G_r$ , коэффициент поперечной деформации  $\mu_{ra}$ ,  $\mu_{ar}$ ,  $\mu_{ta}$ ,  $\mu_{at}$ ,  $\mu_{tr}$ ,  $\mu_{rt}$  [3];

– параметры, характеризующие физические свойства древесины, также заданы с учетом цилиндрической системы координат: коэффициент усушки (разбухания) вдоль волокон, поперек волокон в тангентальном и радиальном направлении соответственно  $K_a$ ,  $K_t$ ,  $K_r$  [3];

– все нагрузки являются установившимися во времени;

– температурные деформации, в соответствии с их незначительной величиной, не учитываются.

Результаты расчетов для двух вариантов расположения ядра в шпале представлены на рисунках 3, 4, 5.

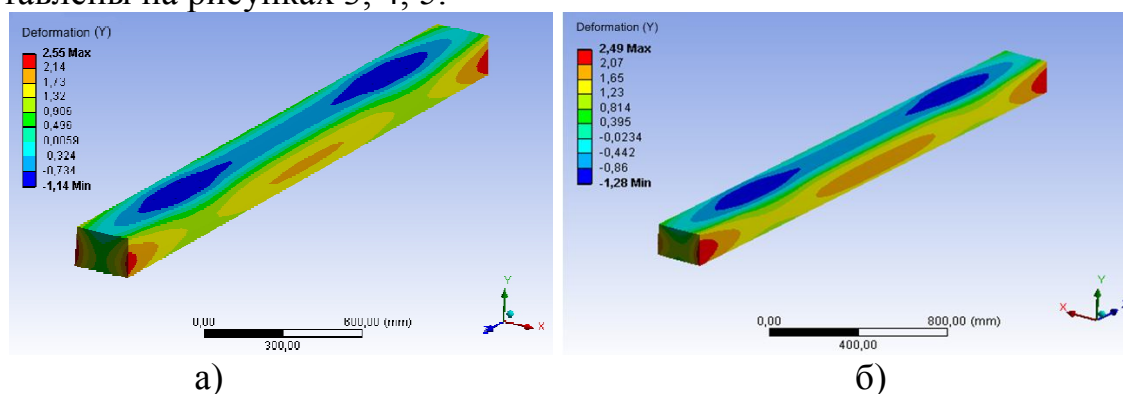


Рисунок 3. Распределение деформаций: а) ядро по центру; б) ядро смещено влево на 65 мм от центра

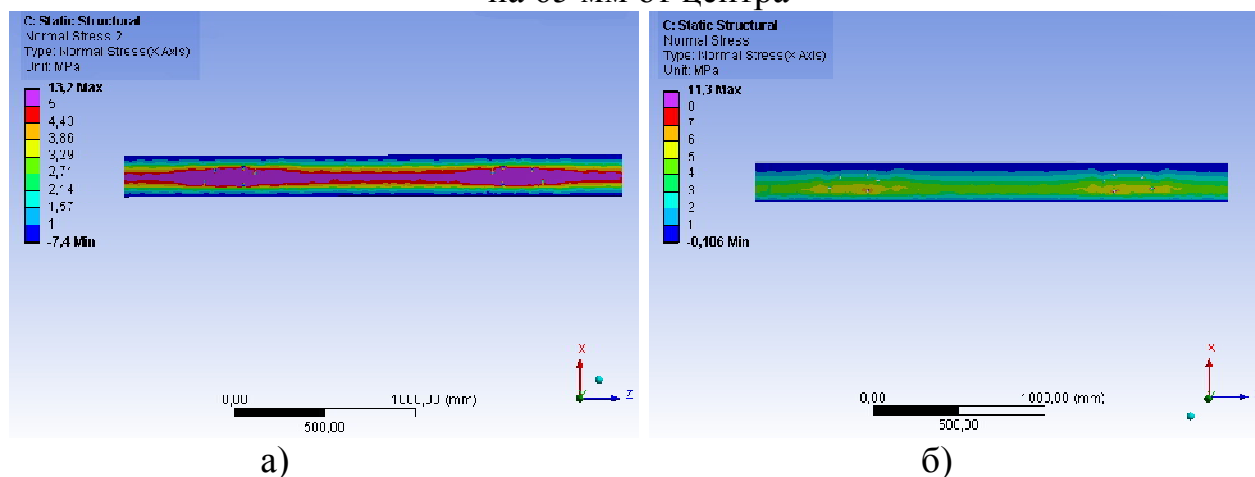


Рисунок 4. Распределение напряжений по верхней пластине шпалы: а) ядро по центру; б) ядро смещено влево на 65 мм от центра

Из расчетов полученной модели шпалы видно, что возникновение трещин обусловлено влажностными колебаниями и анизотропией самой древесины шпал. Под воздействием этих факторов в шпалах возникают самые высокие напряжения, достигающие более 4 МПа, что превышает предел прочности древесины поперек волокон и является причиной возникновения глубоких трещин. Напряжения концентрируются в плоскости расположения сердцевины (рис. 5 а, б), что и обуславливает появление трещины в этой же зоне.

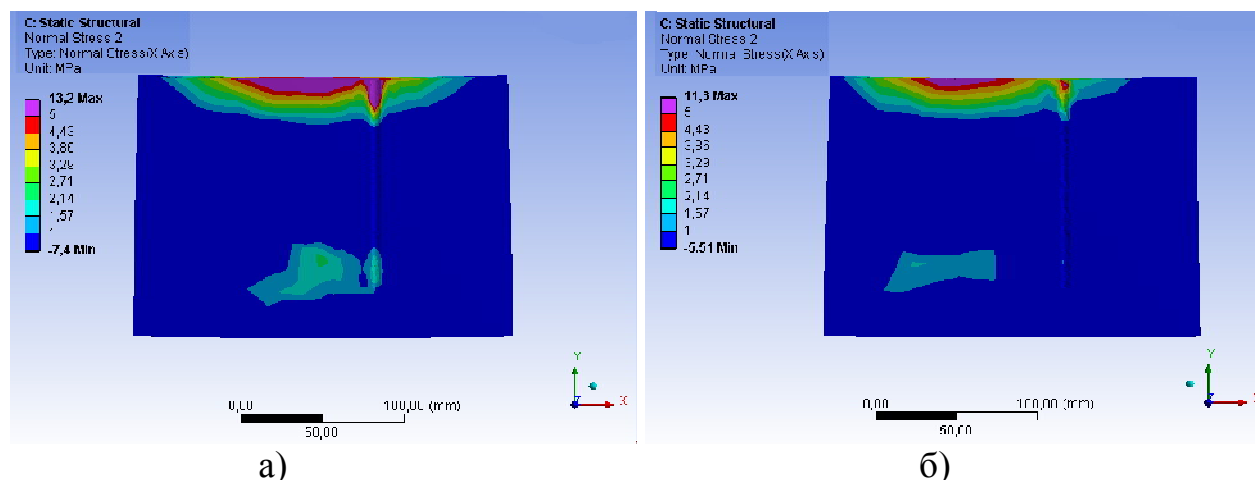


Рисунок 5. Распределение напряжений по поперечному сечению шпалы:  
а) ядро по центру; б) ядро смещено влево на 65 мм от центра

В связи с этим следует отметить целесообразность распиловки лесоматериалов на шпалы с центральным расположением сердцевины. Это предотвратит попадание сплошной глубокой трещины в зону крепления костылей. Для снижения такого рода напряжений и соответственно появления трещин целесообразно придание древесине шпал влагозащитных свойств, предотвращающих возникновение больших перепадов влажности, быстрого высыхания и разбухания. Например, целесообразно применение технологии пропитки шпал эмульсионными пропиточными составами СМПС и Bio-Wood. В ином случае разрушение целостности шпал приведет к снижению их физико-механических свойств и раннему износу.

Наряду с лабораторными исследованиями были проведены полигонные испытания шпал. Для этого осенью 2006 г. способом вакуум-давление-вакуум на ОАО «Борисовский шпалопрпиточный завод» в автоклавах были пропитаны еловые и сосновые шпалы водорастворимым медьсодержащим антисептиком Tanalith E 3492 [4]. Глубина пропитки в соответствии с ГОСТ 20022.0-93: заболонь сосны более 85%; ядро сосны 5-6 мм; ель – 2-3. Далее пропитанные шпалы в количестве 1466 шт были уложены в рельсовый путь длиной 975 м на железнодорожной станции Помыслици.

Ежегодно осуществлялся мониторинг состояния шпал. Для этого слепым методом ежегодно отбирались сосновые и еловые шпалы и производилась оценка их состояния (рис. 6).



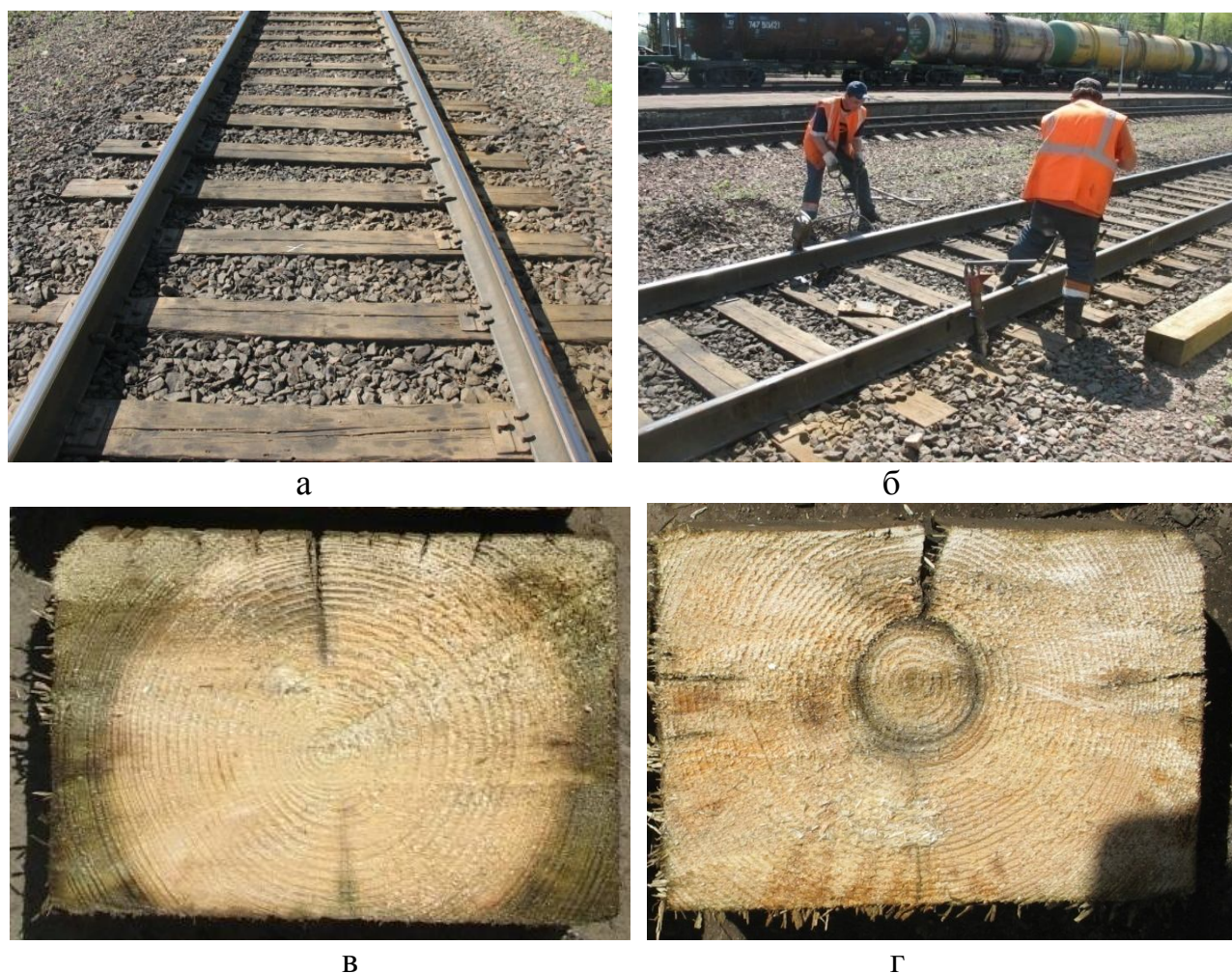


Рисунок 6. Экспериментальный участок железнодорожного пути, станция Помыслици: а) участок железнодорожного пути; б) извлечение образцов шпал для последующих испытаний; в) извлеченные и распиленные сосновые шпалы; г) извлеченные и распиленные еловые шпалы

Наблюдения позволили установить тот факт, что в течение 2-х лет более 50 %, уложенных в путь, было подвержено растрескиванию. На шпалах на верхней пласти обнаружены глубокие центральные трещины (рис. 6), которые обнажают непританые области древесины и создают риск поражения ее грибами.

Таким образом, полученные полигонные результаты полностью соответствуют расчетным данным.

#### **Выводы:**

1. Разработана расчетная модель деревянной шпалы. Модель учитывает анизотропию древесины, градиент концентраций влаги, геометрию изделия, расположение отверстий под костыли.
2. Проведены расчеты напряженно-деформированного состояния шпал в периоды с наиболее существенными перепадами влажности при эксплуатации.

3. Выявлено, что наибольшее влияние на возникновение напряжений (трещин) оказывают следующие факторы: различная влажность верхней и нижней пластей шпалы; расположение центра ядра; анизотропия древесины (различие коэффициентов усушки и разбухания в тангенциальном и радиальном направлениях); расположение отверстий в шпале. Сочетание всех четырех факторов приводит к возникновению глубоких сплошных трещин и соответственно к существенному ослаблению креплений.

4. Из-за максимальных перепадов влажности и анизотропии древесины в шпалах возникают самые высокие напряжения, достигающие более 4 МПа, что превышает предел прочности древесины поперек волокон и является причиной возникновения глубоких трещин.

5. Полученные расчетные данные путем моделирования сопоставимы с экспериментальными результатами полигонных испытаний.

5. Для снижения такого рода напряжений и соответственно появления трещин целесообразно придание древесине шпал свойств, предотвращающих возникновение больших перепадов влажности, быстрого высыхания и разбухания.

### Список литературы

1. Найчук А.Я., Холодарь Б.Г., Петрукович А.Н., Хващевская И.В. К вопросу о выборе сетки конечных элементов и контуров интегрирования // Промышленное и гражданское строительство. 2005. - №6. - С. 20-21.
2. Лехницкий, С. Г. Теория упругости анизотропного тела /С. Г. Лехницкий – Москва: Наука, 1977. – 415 с.
3. Уголев, Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения: Учебник для лесотехнических вузов / Б.Н. Уголев. – 3-е изд. – Москва: МГУЛ, 2001. – 340 с.
4. Божелко И.К., Снопков В.Б. Технология пропитки шпал водорастворимым антисептиком Tanalith E 3492// Труды БГТУ. Сер. II. Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2007. – Вып. XV. – С.

### Abstract

#### **PREDICTION OF IN- STRESS-STRAIN STATE WOODEN STRUCTURES AND PRODUCTS IN SERVICE**

Bozhelko I.K.

*The computational model of wooden sleepers is developed; the stress-strain state of sleepers depending on moisture gradient and geometrical parameters is determined; the factors influencing on appearance of cracks are determined; the comparison of the calculated data with the experimental results conducted.*