УДК 621. 002. 3: 674. 812

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ И ВЛАЖНОСТНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ПОДШИПНИКАХ СКОЛЬЖЕНИЯ ИЗ ПРЕССОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Белокуров Владимир Петрович
д.т.н., профессор
Воронежская государственная лесотехническая академия, Воронеж, Россия

В статье рассмотрено возникновение температурных и влажностных напряжений в подшипниках скольжения из прессованной древесины, которые появляются в результате изменения температуры и влажности

Ключевые слова: ПРЕССОВАННАЯ ДРЕВЕСИНА, ТЕМПЕРАТУРА, ВЛАЖНОСТЬ, НАПРЯЖЕНИЕ, ПОДШИПНИК СКОЛЬЖЕНИЯ

UDC 621. 002. 3: 674. 812

TEMPERATURE AND MOISTURE TENSION IN SLIPPING BEARINGS FROM PRESS WOOD

Belokurov Vladimir Petrovich
Dr.Sci.Tech., professor
Voronezh State Forestry Engineering Academy Voronezh, Russia

The article deals with the appearance of temperature and moisture tension in slipping bearings from press wood, which appear as a result of changing of temperature and moisture

Keywords: PRESS WOOD, TEMPERATURE, MOISTURE, TENSION, SLIPPING BEARING

В настоящее время накоплено большое количество информации по использованию антифрикционной прессованной древесины, в качестве подшипникового материала в узлах трения машин, которая в ГОСТе получила название модифицированная древесина (ДМ). Антифрикционные и другие физико-механические свойства ДМ, их улучшение, по результатам исследований, достигаются, как правило, не только за счет прессования, но и при использовании при этом пропитки древесины при ее прессовании различных масел, присадок и других материалов.

Особенностью расчетов подшипников скольжения из ДМ является то, что кроме определения максимально-допустимых нагрузок и напряжения, должны выполняться тепловые расчеты. Кроме этого, из-за способности ДМ поглощать влагу, необходимы расчеты и по термо-влагоупругости, которые должны скорректировать величину напряжений от механических нагрузок. Расчеты термо-влагоупругости необходимы так же для определения компенсационных зазоров в соединениях вал – подшипник скольжения из ДМ и компенсационных натягов в соединениях подшипник скольжения из ДМ – металлический корпус подшипника.

В статье рассматривается плоское неосесимметричное поле температуру и влажности, которое имеет место при креплении подшипников скольжения из ДМ в корпусе (прямая пара). В месте контакта вала и подшипника скольжения из ДМ в результате трения возникают максимальные температурные и влажностные изменения. Генерируемое тепло, в результате трения, будет способствовать образованию неосесимметричного поля температуры и влажности подшипника, и, следовательно, неосесимметричным образованиям напряжений, деформаций и перемещений. При рассмотрении работы подшипника скольжения принимаем, что плоское температурное поле и поле влажности изменяются вдоль окружности в подшипнике скольжения из ДМ по закону $\cos j$ (или $\sin j$)

$$T = T'\cos j \;; \qquad W = W'\cos j \tag{1}$$

где T' и W' - функции температуры и влажности, в зависимости от радиуса r.

Тогда перемещения, деформации и напряжения в зависимости от угла поворота от поверхности контакта в подшипнике скольжения будут иметь вид

$$U_r = U'_r \cos j \;;\; U_j = U'_j \sin j$$

$$e_r = e'_r \cos j \;;\; e_j = e'_j \cos j \;;\; e_{rj} = e'_{rj} \sin j$$

$$s_r = s'_r \cos j \;;\; s_j = s'_j \cos j \;;\; s_{rj} = s'_{rj} \sin j$$

где $U'_r,\ U'_j;\ e'_r,\ e'_j,\ e'_{rj};\ s'_r,\ s'_j,\ s'_{rj}$ - амплитудные значения перемещений, деформаций и напряжений, которые являются в свою очередь функциями радиуса r.

Из соотношений [1] следует, что для амплитудных величин имеем следующие зависимости:

соотношения между деформациями и перемещениями

$$e'_r = \frac{dU'_r}{dr} \;;\; e'_j = \frac{U'_r + U'_j}{r} \;;\; 2e'_{rj} = -\frac{U'_r + U'_j}{r} + \frac{dU'_j}{dr} \tag{2}$$

уравнение совместности деформаций

$$-\frac{1}{r^2}e'_r+\frac{1}{r}\frac{d^2e'_j r}{dr^2}-\frac{1}{r}\frac{de'_r}{dr}=\frac{2}{r^2}\frac{de'_{rj}r}{dr} \qquad (3)$$

уравнения равновесия

$$\frac{ds'_r r}{dr}+s'_{rj}-s'_j=0\ ;\ \frac{ds'_{rj}}{dr}+s'_{rj}-s'_j=0 \qquad (4)$$

соотношения между деформациями и напряжениями

$$e'_r=\frac{s'_r}{\mathrm{E}_r}-m_{jr}\frac{s'_j}{\mathrm{E}_j}+a_rT_1+b_rW_1\ ;$$

$$e'_j=\frac{s'_j}{\mathrm{E}_j}-m_{rj}\frac{s'_r}{\mathrm{E}_r}+a_jT_1+b_jW_1\ ; \qquad (5)$$

$$e'_{rj}=\frac{1+m_{rj}}{\mathrm{E}_r}s'_{rj}$$

соотношения между напряжениями и функцией напряжений

$$s'_r=\left(\frac{1}{r}\frac{d}{dr}-\frac{1}{r^2}\right)F'\ ;\ s'_j=\frac{d^2F'}{dr^2}\ ;\ s'_{rj}=\frac{d}{dr}\left(\frac{F'}{r}\right); \qquad (6)$$

где F' - функция, связанная с функцией напряжений по формуле $F=F'\cos j$;

m_{rj} – коэффициент поперечной деформации.

Система уравнений (4) преобразуется к виду

$$r\left(s'_r-s'_{rj}\right)+C=0\ ;$$

$$s'_j=s'_r+\frac{d\left(s'_r r\right)}{dr}+\frac{C}{r}\ ; \qquad (7)$$

где C - постоянная интегрирования, которая определяется равнодействующей несамоуравновешенных поверхностных сил в плоскости поперечного сечения подшипника скольжения из ДМ. Так как предполагаем, что поверхностные силы отсутствуют, то $C=0$.

В уравнении (3) используем следующие тождества

$$\frac{1}{r^2}e'_r+\frac{1}{r}\frac{de'_r}{dr}=\frac{1}{r^2}\frac{de'_r r}{dr}\ \ ;\ \ \frac{1}{r}\frac{d^2e'_j r}{dr^2}=\frac{1}{r^2}\frac{d}{dr}\left(\frac{r^2de'_j}{dr}\right) \qquad (8)$$

Подставляя (8) в (3) получим уравнение

$$-\frac{de'_r}{dr}+\frac{d}{dr}\left(\frac{r^2 de'_j}{dr}\right)=2\frac{d\left(e'_{rj}r\right)}{dr}\ ; \qquad (9)$$

Для снижения порядка дифференцирования уравнения (9) проинтегрируем его

$$e'_r+2e'_{rj}-r\frac{de'_j}{dr}=0 \qquad (10)$$

Постоянная интегрирования (*C*), возникающая при интегрировании, в уравнении (10) отсутствует, так как она равна нулю. Это легко доказывается при подстановке в уравнение (10) соотношений (2).

В уравнение (10) вместо значений амплитудных деформаций подставим согласно формуле (5) амплитудные значения напряжений

$$\frac{1}{E_r}\left(s'_r-\frac{m_{jr}}{k^2}s'_j\right)+a_rT_1+b_rW_1+2\frac{1+m_{rj}}{E_r}s'_{rj}-$$
$$-r\left[\frac{d}{dr}\left(\frac{1}{E_j}\left(s'_j-k^2m_{rj}s'_r\right)+a_jT_1+b_jW_1\right)\right]; \qquad (11)$$

где $k^2={E_j}/{E_r}$ - коэффициент анизотропии.

a_j, a_r – коэффициенты температурного расширения в тангенциальном и радиальном направлениях, *1/C*°;

b_r, b_j – коэффициенты усушки в радиальном и тангенциальном направлениях, %.

В уравнении (11) используя зависимости (7) исключим напряжения s'_{rj} и s'_j. При этом учитывается, что постоянная интегрирования (*C*), как было обосновано ранее, равна нулю. Тогда

$$s'_r-\frac{m_{rj}}{k^2}s'_r-\frac{m_{jr}}{k^2}\frac{d\left(s'_r r\right)}{dr}+a_rE_rT_1+b_rE_rW_1+2s'_r+$$
$$+2m_{rj}s'_r-\frac{r}{k^2}\left[\frac{d}{dr}\left(s'_r+\frac{d\left(s_r r\right)}{dr}-k^2m_{rj}s'_r+a_jE_jT_1+b_jE_jW_1\right)\right] \qquad (12)$$

В результате дифференцирования выражения (12) и после некоторых преобразований получается

$$-\frac{r^2}{k^2}\frac{d^2 s'_r}{dr^2}-3\frac{r}{k^2}\frac{ds'_r}{dr}+3s'_r+\left(2s'_r+r\frac{ds'_r}{dr}\right)\left(m_{rj}-\frac{m_{rj}}{k^2}\right)+$$

$$+a_r \mathrm{E}_r T_1+b_r \mathrm{E}_r W_1-\frac{r}{k^2}a_j \mathrm{E}_j\frac{dT_1}{dr}-\frac{r}{k^2}b_j \mathrm{E}_j\frac{dW_1}{dr}=0 \qquad (13)$$

Принимая во внимание, что в анизотропном материале подшипника скольжения имеет место соотношение [2]

$$\frac{m_{rj}}{\mathrm{E}_r}=\frac{m_{jr}}{\mathrm{E}_j}\ ;\ \Rightarrow\ m_{jr}=\frac{\mathrm{E}_j}{\mathrm{E}_r}m_{rj}=k^2 m_{rj}$$

Это приводит к тому, что $\left(2s'_r+r\frac{ds'_r}{dr}\right)\left(m_{rj}-\frac{m_{jr}}{k^2}\right)=0$

В случае же, если (k) существенно не отличается от единицы, то с достаточной степенью точности (13) можно принять

$$\frac{d^2 s'_r}{dr^2}+\frac{3}{r}\frac{ds'_r}{dr}-\frac{3}{r^2}s'_r+\frac{1}{r}a_j \mathrm{E}_j\frac{dT_1}{dr}+\frac{1}{r}b_j \mathrm{E}_j\frac{dW_1}{dr}=$$

$$=\frac{1}{r^2}a_r \mathrm{E}_r T_1+\frac{1}{r^2}b_r \mathrm{E}_r W_1\ ; \qquad (14)$$

Выражение (14) окончательно будет иметь вид

$$\frac{d}{dr}\left[\left(\frac{1}{r^3}\frac{ds'_r r^3}{dr}\right)+\frac{a_j \mathrm{E}_j T_1}{r}+\frac{b_j \mathrm{E}_j W_1}{r}\right]=\frac{1}{r^2}a_r \mathrm{E}_r T_1+\frac{1}{r^2}b_r \mathrm{E}_r W_1\ ; \qquad (15)$$

Принимаем у рассматриваемого анизотропного подшипника скольжения из ДМ радиус наружной поверхности r_2, а внутренней - r_1. Это позволяет ввести относительный радиус $r=r/r_2$ в уравнение (15)

$$\frac{d}{dr}\left[\left(\frac{1}{r^3}\frac{ds'_r r^3}{dr}\right)+\frac{a_j \mathrm{E}_j T_1}{r}+\frac{b_j \mathrm{E}_j W_1}{r}\right]=\frac{1}{r^2}a_r \mathrm{E}_r T_1+\frac{1}{r^2}b_r \mathrm{E}_r W_1; \qquad (16)$$

В результате интегрирования уравнения (16)

$$\frac{1}{r^3}\frac{d\left(s'_r r^3\right)}{dr}+\frac{1}{r}a_j \mathrm{E}_j T_1+\frac{1}{r}b_j \mathrm{E}_j W_1=\frac{1}{r^2}a_r \mathrm{E}_r\left(T-T_1\right)+\frac{1}{r^2}b_r \mathrm{E}_r\left(W-W_1\right)+C_1;$$

или это уравнение можно переписать в виде

$$\frac{d\left(s'_r r^3\right)}{dr} = -r^2 a_j \mathrm{E}_j T_1 - r^2 b_j \mathrm{E}_j W_1 + r a_r \mathrm{E}_r \left(T - T_1\right) + r b_r \mathrm{E}_r \left(W - W_1\right) + C_1 r^3;$$

Проинтегрируем выражение (16) второй раз

$$\int_{r_1}^{r} \frac{d\left(s'_r r^3\right)}{dr} dr = \int_{r_1}^{r} \left[- r^2 a_j \mathrm{E}_j T_1 - r^2 b_j \mathrm{E}_j W_1 + \right.$$

$$\left. + r a_r E_r \left(T - T_1\right) + r b_r \mathrm{E}_r \left(W - W_1\right)\right] dr + \int_{r_1}^{r} C_1 r^3 dr \;;$$

и окончательно получим

$$s'_r r^3 = -a_j \mathrm{E}_j \int_{r_1}^{r} T_1 r^2 dr - b_j E_j \int_{r_1}^{r} W_1 r^2 dr + a_r \mathrm{E}_r \int_{r_1}^{r} T r dr -$$

$$- a_r \mathrm{E}_r \int_{r_1}^{r} T_1 r dr + b_r \mathrm{E}_r \int_{r_1}^{r} W r dr - b_r \mathrm{E}_r \int_{r_1}^{r} W_1 r dr + C_1 \frac{r^4}{4} + C_2; \qquad (17)$$

После преобразования уравнения (17) определим величину амплитуды радиального напряжения

$$s'_r = C_1 \frac{r}{4} + C_2 \frac{1}{r^3} + \frac{a_r \mathrm{E}_r}{r^3} \left(\int_{r_1}^{r} T r dr - \int_{r_1}^{r} T_1 r dr \right) - \frac{a_j \mathrm{E}_j}{r^3} \int_{r_1}^{r} T_1 r^2 dr +$$

$$+ \frac{b_r \mathrm{E}_r}{r^3} \left(\int_{r_1}^{r} W r dr - \int_{r_1}^{r} W_1 r dr \right) - \frac{b_j \mathrm{E}_j}{r^3} \int_{r_1}^{r} W_1 r^2 dr \;; \qquad (18)$$

Из первого выражения (7) следует, что в результате того, что *C=0* имеем $s'_r = s'_{rj}$

А из второго выражения (7) получаем величину амплитуды тангенциального напряжения

$$s'_j = s'_r + \frac{d\left(s'_r r\right)}{dr} = 2 s'_r + r \frac{d s'_r}{dr} \qquad (19)$$

Значение (18) подставим в уравнение (19) и продифференцируем, в результате получим

$$s'_j = C_1 \frac{r}{2} + C_2 \frac{2}{r^3} + 2 \frac{a_r \mathrm{E}_r}{r^3} \int_{r_1}^{r} T r dr - 2 \frac{a_r \mathrm{E}_r}{r^3} \int_{r_1}^{r} T_1 r dr - 2 \frac{a_j \mathrm{E}_j}{r^3} \int_{r_1}^{r} T_1 r^2 dr +$$

$$+ 2 \frac{b_r \mathrm{E}_r}{r^3} \int_{r_1}^{r} W r dr - 2 \frac{b_r \mathrm{E}_r}{r^3} \int_{r_1}^{r} W_1 r dr - 2 \frac{a_j \mathrm{E}_j}{r^3} \int_{r_1}^{r} W_1 r^2 dr +$$

$$+r\left[\frac{1}{2}C_1-3\frac{2}{r^4}C_2-3\frac{a_r\mathrm{E}_r}{r^4}\int\limits_{r_1}^{r}Trdr+\frac{a_r\mathrm{E}_r}{r^3}Tr+3\frac{a_r\mathrm{E}_r}{r^4}\int\limits_{r_1}^{r}T_1rdr-\frac{a_r\mathrm{E}_r}{r^3}T_1r+\right.$$

$$+3\frac{a_j\mathrm{E}_j}{r^4}\int\limits_{r_1}^{r}T_1r^2dr-\frac{a_j\mathrm{E}_j}{r^3}T_1r^2-3\frac{b_r\mathrm{E}_r}{r^4}\int\limits_{r_1}^{r}Wrdr+\frac{b_r\mathrm{E}_r}{r^3}Wr+$$

$$\left.+3\frac{b_r\mathrm{E}_r}{r^4}\int\limits_{r_1}^{r}W_1rdr-\frac{b_r\mathrm{E}_r}{r^3}W_1r+3\frac{b_j\mathrm{E}_j}{r^4}\int\limits_{r_1}^{r}W_1r^2dr-\frac{b_j\mathrm{E}_j}{r^3}W_1r^2\right] \qquad (20)$$

После преобразования уравнения (20) получаем зависимость

$$s'_j=C_1r-C_2\frac{4}{r^3}+\frac{a_r\mathrm{E}_r}{r^3}\left(\int\limits_{r_1}^{r}T_1rdr-\int\limits_{r_1}^{r}Trdr\right)+\frac{a_j\mathrm{E}_j}{r^3}\int\limits_{r_1}^{r}T_1r^2dr+$$

$$+\frac{b_r\mathrm{E}_r}{r^3}\left(\int\limits_{r_1}^{r}W_1rdr-\int\limits_{r_1}^{r}Wrdr\right)+\frac{b_j\mathrm{E}_j}{r^3}\int\limits_{r_1}^{r}W_1r^2dr+$$

$$+\frac{a_r\mathrm{E}_r}{r}(T-T_1)-a_j\mathrm{E}_jT_1+\frac{b_r\mathrm{E}_r}{r}(W-W_1)-b_j\mathrm{E}_jW_1; \qquad (21)$$

Постоянные интегрирования C_1 и C_2 в уравнениях (18) и (21) определим из принятого ранее условия об отсутствии на наружной ($r=1$) и внутренней ($r=r_1$) поверхности подшипника скольжения дополнительных каких-либо усилий, то есть

$$s_r=s_j \text{ при } r=\frac{r_1}{r_2}=r_1\text{; и } r=\frac{r_2}{r_2}=1$$

Из формулы (18) следует

при $r=r_1$; $\quad 0=C_1\frac{r_1}{4}+C_2\frac{1}{r_1^3}$; $\quad C_1=-C_2\frac{4}{r_1^4}$;

при $r=1$; $$0=C_1\frac{1}{4}+C_2+a_r\mathrm{E}_r\left(\int\limits_{r_1}^{1}Trdr-\int\limits_{r_1}^{1}T_1rdr\right)-a_j\mathrm{E}_j\int\limits_{r_1}^{1}T_1r^2dr+$$

$$+b_r\mathrm{E}_r\left(\int\limits_{r_1}^{1}Wrdr-\int\limits_{r_1}^{1}W_1rdr\right)-b_j\mathrm{E}_j\int\limits_{r_1}^{1}W_1r^2dr;$$

$$C_2=\frac{r_1^4}{1-r_1^4}\left[a_r\mathrm{E}_r\left(\int\limits_{r_1}^{1}Trdr-\int\limits_{r_1}^{1}T_1rdr\right)-a_j\mathrm{E}_j\int\limits_{r_1}^{1}T_1r^2dr+\right.$$

$$+b_r\mathrm{E}_r\left(\int_{r_1}^{1}Wrdr-\int_{r_1}^{1}W_1rdr\right)-b_j\mathrm{E}_j\int_{r_1}^{1}W_1r^2dr\Bigg]\;;$$

После подстановки значений C_1 и C_2 в формулу (18) получим расчетное значение амплитуды термо-влажностных радиальных напряжений при плоском стационарном неосесимметричном поле температуры и, следовательно, влажности в анизотропном подшипнике скольжения из ДМ. Значение s'_{rj} равно s'_r, что следует из первой формулы (7). Таким образом

$$s'_r=s'_{rj}=\frac{1}{r^3}\left\{\left(\frac{r_1^4-r^4}{1-r_1^4}\right)\left[a_r\mathrm{E}_r\left(\int_{r_1}^{1}Trdr-\int_{r_1}^{1}T_1rdr\right)-a_j\mathrm{E}_j\int_{r_1}^{1}T_1r^2dr+\right.\right.$$

$$\left.+b_r\mathrm{E}_r\left(\int_{r_1}^{1}Wrdr-\int_{r_1}^{1}W_1rdr\right)-b_j\mathrm{E}_j\int_{r_1}^{1}W_1r^2dr\right]+a_r\mathrm{E}_r\left(\int_{r_1}^{r}Trdr-\int_{r_1}^{r}T_1rdr\right)-$$

$$\left.-a_j\mathrm{E}_j\int_{r_1}^{r}T_1r^2dr+b_r\mathrm{E}_r\left(\int_{r_1}^{r}Wrdr-\int_{r_1}^{r}W_1rdr\right)-b_j\mathrm{E}_j\int_{r_1}^{r}W_1r^2dr\right\}\qquad(22)$$

В результате подстановки значений C_1 и C_2 в уравнение(21) получим аналогичное расчетное уравнение для амплитуды термо-влажностных тангенциальных напряжений

$$s'_j=\frac{1}{r^3}\left\{4\left(\frac{-r^4-r_1^4}{1-r_1^4}\right)\left[a_r\mathrm{E}_r\left(\int_{r_1}^{1}Trdr-\int_{r_1}^{1}T_1rdr\right)-a_j\mathrm{E}_j\int_{r_1}^{1}T_1r^2dr+\right.\right.$$

$$\left.+b_r\mathrm{E}_r\left(\int_{r_1}^{1}Wrdr-\int_{r_1}^{1}W_1rdr\right)-b_j\mathrm{E}_j\int_{r_1}^{1}W_1r^2dr\right]+a_r\mathrm{E}_r\left(\int_{r_1}^{r}T_1rdr-\int_{r_1}^{r}Trdr\right)+$$

$$+a_j\mathrm{E}_j\int_{r_1}^{r}T_1r^2dr+b_r\mathrm{E}_r\left(\int_{r_1}^{r}W_1rdr-\int_{r_1}^{r}Wrdr\right)+b_j\mathrm{E}_j\int_{r_1}^{r}W_1r^2dr+$$

$$\left.+r^3\left[\frac{a_r\mathrm{E}_r}{r}(T-T_1)-a_j\mathrm{E}_jT_1+\frac{b_r\mathrm{E}_r}{r}(W-W_1)-b_j\mathrm{E}_jW_1\right]\right\}\qquad(23)$$

Радиальное и тангенциальное амплитудное перемещение в подшипнике скольжения из ДМ может быть определено по радиальному

(22) и тангенциальному (23) напряжению. Для этой цели используются вторые выражения (2) и (5), которые с учетом относительного радиуса будут иметь следующий вид

$$e_j' = \frac{s_j'}{E_j} - m_{rj}\frac{s_r'}{E_r} + a_j T_1 + b_j W_1; \qquad (24)$$

$$e_j' = \frac{U_r' + U_j'}{r} \qquad (25)$$

В результате приравнивания правых частей уравнения (24) и (25) совместное радиально-тангенциальное амплитудное перемещение равно

$$U_r' + U_j' = r\left(\frac{s_j'}{E_j} - m_{rj}\frac{s_r'}{E_r} + a_j T_1 + b_j W_1\right); \qquad (26)$$

При подстановке в выражение (26) амплитудных значений радиального (22) и тангенциального (23) напряжений получим формулу для амплитуды радиально-тангенциального перемещения

$$\begin{aligned} U_r' + U_j' &= \frac{1}{r^2}\frac{4}{E_j}\left(\frac{-r^4 - r_1^4}{1-r_1^4}\right)\left[a_r E_r\left(\int_{r_1}^{1} Trdr - \int_{r_1}^{1} T_1 rdr\right) - a_j E_j \int_{r_1}^{1} T_1 r^2 dr + \right.\\ &\left. + b_r E_r\left(\int_{r_1}^{1} Wrdr - \int_{r_1}^{1} W_1 rdr\right) - b_j E_j \int_{r_1}^{1} W_1 r^2 dr\right] - \frac{a_r E_r}{E_j r^2}\left(\int_{r_1}^{r} Trdr - \int_{r_1}^{r} T_1 rdr\right) + \\ &+ \frac{a_j}{r^2}\int_{r_1}^{r} T_1 r^2 dr - \frac{b_r E_r}{r^2 E_j}\left(\int_{r_1}^{r} Wrdr - \int_{r_1}^{r} W_1 rdr\right) + \frac{b_j}{r^2}\int_{r_1}^{r} W_1 r^2 dr + a_r\frac{E_r}{E_j}(T - T_1) - \\ &- a_j r T_1 + b_r\frac{E_r}{E_j}(W - W_1) - b_j r W_1 - \frac{m_{rj}}{E_r r^2}\left(\frac{r_1^4 - r^4}{1-r_1^4}\right)\left[a_r E_r\left(\int_{r_1}^{1} Trdr - \int_{r_1}^{1} T_1 rdr\right) - \right.\\ &\left. - a_j E_j \int_{r_1}^{1} T_1 r^2 dr + b_r E_r\left(\int_{r_1}^{1} Wrdr - \int_{r_1}^{1} W_1 rdr\right) - b_j E_j \int_{r_1}^{1} W_1 r^2 dr\right] + \\ &+ \frac{a_r m_{rj}}{r^2}\left(\int_{r_1}^{r} Trdr - \int_{r_1}^{r} T_1 rdr\right) - \frac{a_j m_{rj} E_j}{r^2 E_r}\int_{r_1}^{r} T_1 r^2 dr + \frac{b_r m_{rj}}{r^2}\left(\int_{r_1}^{r} Wrdr - \int_{r_1}^{r} W_1 rdr\right) - \\ &- \frac{b_j m_{rj} E_j}{r^2 E_r}\int_{r_1}^{r} W_1 r^2 dr + r a_j T_1 + r b_j W_1; \end{aligned} \qquad (27)$$

После преобразования формула (27) по расчету амплитуды радиально- тангенциального перемещения будет иметь следующий окончательный вид

$$U_r' + U_j' = \frac{1}{r^2}\left\{\left[\frac{4}{\text{E}_j}\left(\frac{-r^4 - r_1^4}{1 - r_1^4}\right) - \frac{m_{rj}}{\text{E}_r}\left(\frac{r_1^4 - r^4}{1 - r_1^4}\right)\right]\left[a_r \text{E}_r\left(\int_{r_1}^{1} Tr dr - \int_{r_1}^{1} T_1 r dr\right) - \right.\right.$$

$$\left. - a_j \text{E}_j \int_{r_1}^{1} T_1 r^2 dr + b_r \text{E}_r\left(\int_{r_1}^{1} Wr dr - \int_{r_1}^{1} W_1 r dr\right) - b_j \text{E}_j \int_{r_1}^{1} W_1 r^2 dr\right] + \left(m_{rj} - \frac{1}{k^2}\right) \times$$

$$\times\left[a_r\left(\int_{r_1}^{r} Tr dr - \int_{r_1}^{r} T_1 r dr\right) + b_r\left(\int_{r_1}^{r} Wr dr - \int_{r_1}^{r} W_1 r dr\right)\right] + \left(1 - m_{rj} k^2\right) \times$$

$$\left.\left(a_j \int_{r_1}^{r} T_1 r^2 dr + b_j \int_{r_1}^{r} W_1 r^2 dr\right) + r^2\left[\frac{a_r}{k^2}(T - T_1) + \frac{b_r}{k^2}(W - W_1)\right]\right\} \qquad (28)$$

В случае, если подшипник скольжения из ДМ закреплен в металлическом корпусе и его положение не допускает осевого перемещения торцевых поверхностей, то есть $U_z = 0$, то для расчета амплитудных напряжений в осевом направлении воспользуемся формулой [2]

$$s_z' = m_{zr} s_r' + m_{zj} s_j' - a_z \text{E}_z T_1 - b_z \text{E}_z W_1 \qquad (29)$$

Для расчета формулы (29) необходимо предварительно найти амплитудные значения радиальных (22) и тангенциальных (23) напряжений. Коэффициенты поперечной деформации m_{zr}, m_{zj}; температурного расширения a_z; усушки b_z и модуля упругости E_z в осевом направлении числовыми значениями которых, можно воспользоваться в таблицах литературного источника [2].

Из представленных результатов следует, что наличие температурно-влажностных напряжений в анизотропной втулке (подшипнике скольжения из ДМ) или опоре скольжения приводит к деформации, что, соответственно, нельзя не учитывать. Кроме этого, следует отметить, что данные расчеты необходимо учитывать при определении оптимального зазора между валом и втулкой подшипника из ДМ и оптимального натяга между подшипником скольжения из ДМ и корпусом при изменении влажности и температуры в материале ДМ.

Список использованной литературы

1. Белокуров В.П. Напряженно-деформированное состояние анизотропных подшипников скольжения из прессованной древесины / В.П. Белокуров, А.И. Смольяков // Славянтрибо–4. Трибология и технология. Тез. докл. Межд. симп. – С-Пб., 1997. – С. 39-42.

2. Белокуров В.П. Температурный режим узлов трения лесных машин и их работоспособность / В.П. Белокуров // Изд-во ВГУ, Воронеж, 1997. –184 с.