

1. ВВЕДЕНИЕ

Основной целью данных методических указаний является самостоятельное закрепление основных положений курса механики деформирования и разрушения путем решения конкретной прикладной задачи по определению долговечности подкрановой балки. Расчетное задание охватывает такие разделы курса, как предельные состояния в телах с трещинами при циклических нагрузках, оценка долговечности конструкции с трещиной в условиях циклического нагружения.

Задачи:

- наиболее эффективно ознакомится с современными методами определения прочности и долговечности машин и конструкций;
- на основе изученной теории провести самостоятельное выполнение расчетно-графического практического задания;
- в соответствии с практическими расчетами оценить прочность и долговечность конструкции;
- сделать выводы о допустимом числе циклов нагружения и необходимости ремонта.

2. Порядок оформления задания

На титульном листе указываются: наименование группы; номер варианта задания; фамилия и инициалы слушателя.

На первой странице задания приводятся только условия задания, расчетная схема и обходные данные. Текстовая часть выполняется на ПК.

Решение должно сопровождаться пояснениями, ссылками на формулы, схемы и литературные источники в соответствии с требованиями.

В заключительной части задания делается анализ полученного результата с точки зрения долговечности элементов конструкций, необходимости увеличения или уменьшения сечений, изменения материалов или режимов работы.

3. Теоретическая часть

3.1. Конструкция подкрановых балок

Здания промышленного строительства для перемещения внутри них сырья оборудуют подъемно-транспортными средствами – мостовыми кранами. Мостовой кран состоит из несущего моста, перекрывающего пролет здания, механизмов передвижения и движущейся вдоль моста тележки с механизмами подъема (рис. 3.1). По консолям колонн состоит из поперечных рам и продольных связей между ними. Одним из элементов продольных связей являются *подкрановые балки*.

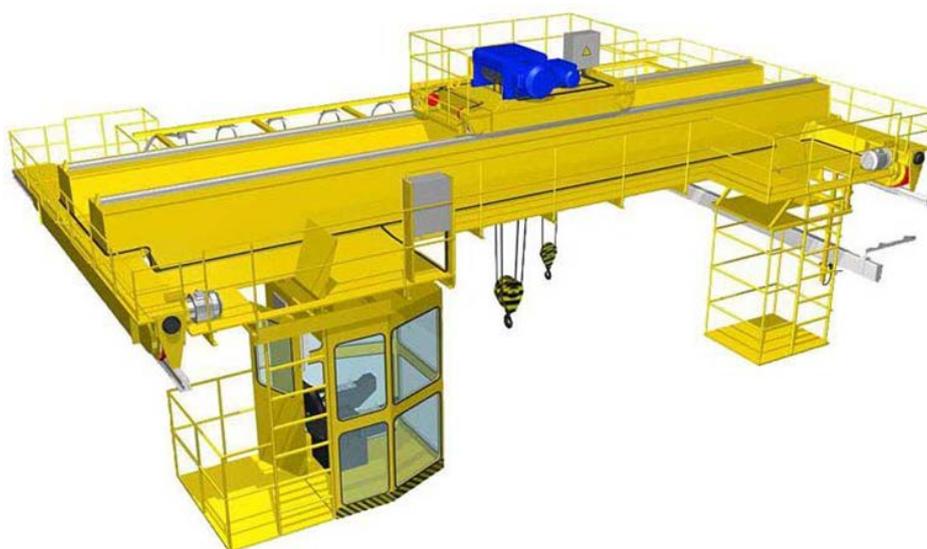


Рис. 3.1. Мостовой кран

Подкрановая балка – особая разновидность двутавровой балки. Подкрановые балки работают совершенно в других условиях, в отличие от строительных двутавровых балок, которые рассчитаны на работу на растяжение и изгиб в покрытиях и перекрытиях.

Конструкция подкрановых балок определяется параметрами:

- динамическим характером воздействий;
- высоким уровнем местного напряжения;
- наличием не только вертикальных, но и горизонтальных нагрузок;
- наличие больших объемов нагрузок [1].

Чаще всего под «балкой» подразумевают **балку двутаврового сечения**. Благодаря своей форме, она отлично работает на изгиб, при этом удобна в компоновке, технологична и экономична по расходу металла. Опорная подкрановая балка показана на рис. 3.2.



Рис. 3.2. Опорная подкрановая балка

Стальные подкрановые балки – необходимый элемент в конструкции электрических мостовых кранов, работающих в среднем, тяжелом и весьма тяжелом режиме.

Подкрановые балки делятся на типы в зависимости от своей конструкции

- по методу изготовления:

- сварные;
- составные.

Составные балки бывают:

- клепаными;
- болтовыми.

Подкрановые балки могут быть изготовлены разным способом. Различают сварные подкрановые балки (сваренные из трех листов) и балки с поясами из двутавров. Балки, сваренные из двутавров считаются более надежными, так как сварные швы в них удалены от зоны, на которую приходится львиная доля нагрузок.

- по опорным креплениям:

- однопролётные (разрезные);
- многопролётные (неразрезные).

Балка, перекрывающая один пролет и поддерживаемая двумя опорами, называется разрезной. Разрезные подкрановые балки проще монтировать, они не являются чувствительными к осадке опор, но к их недостаткам относится повышенный расход стали.

Неразрезная многопролётная балка перекрывает несколько пролетов и имеет больше двух опор. Этот вид балочной продукции более экономичен по расходу металла (12-15%), но ее тяжелее монтировать из-за сложности устройства стыков. Если опоры подвергаются осадке, на балку возникает дополнительная нагрузка.

3.2. Прочность конструкции при циклических нагрузках

К динамическим нагрузкам, несмотря на отсутствие значительных инерционных сил, можно отнести **циклические нагрузки** (периодические многократно повторяющиеся), действующие на элементы конструкции. Как показывает практика, нагрузки, циклически изменяющиеся во времени по величине или по величине и по знаку, могут привести к разрушению конструкции при напряжениях, существенно меньших, чем предел текучести (или предел прочности). Такое разрушение принято называть «усталостным». Одной из основных причин усталостного разрушения принято считать образование и развитие трещин.

Механизм усталостного разрушения во многом связан с неоднородностью реальной структуры материалов (различие размеров, очертаний, ориентации соседних зерен металла; наличие различных включений – шлаков, примесей; дефекты кристаллической решетки, дефекты поверхно-

сти материала – царапины, коррозия и т. д.). В связи с указанной неоднородностью при переменных напряжениях на границах отдельных включений и вблизи микроскопических пустот и различных дефектов возникает концентрация напряжений, которая приводит: к микропластическим деформациям сдвига некоторых зерен металла (при этом на поверхности зерен могут появляться полосы скольжения) и накоплению сдвигов (которое на некоторых материалах проявляется в виде микроскопических бугорков и впадинок – экструзий и интрузий); затем происходит развитие сдвигов в микротрещины, их рост и слияние; на последнем этапе появляется одна или несколько макротрещин, которая достаточно интенсивно развивается (растет). Края трещины под действием переменной нагрузки притираются друг об друга, и поэтому зона роста трещины отличается гладкой (полированной) поверхностью. По мере роста трещины поперечное сечение детали все больше ослабляется, и наконец происходит внезапное хрупкое разрушение детали [2].

Усталостная прочность материалов при повторно-переменном нагружении во многом зависит от характера изменения напряжений во времени. Такие нагружения называются периодическими нагрузками.

Периодическая нагрузка – переменная нагрузка с установившимся во времени характером изменения, значения которой повторяются через определенный промежуток (период) времени (рис. 3.3).

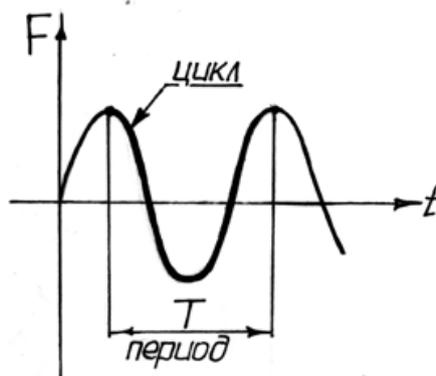


Рис. 3.3. Схема циклического нагружения.

Цикл напряжений – совокупность всех значений переменных напряжений за время одного периода изменения нагрузки.

Цикл напряжений может описываться любым периодическим законом, чаще всего – синусоидальным (рис. 3.4). Однако прочность материала при циклическом нагружении зависит не от закона изменения напряжений во времени, а в основном от значений наибольшего (максимального, σ_{max}) и наименьшего (минимального, σ_{min}) напряжений в цикле.

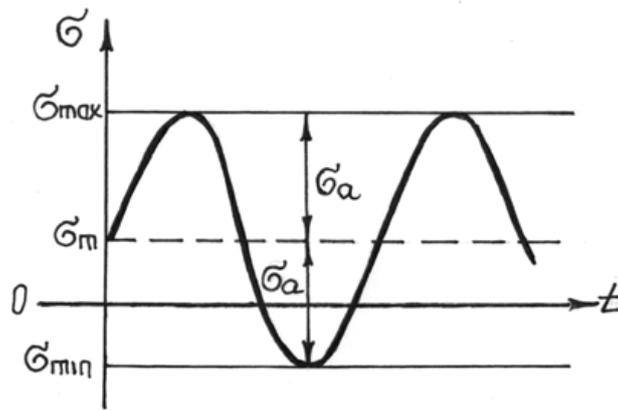


Рис. 3.4. Схема циклического деформирования

Обычно цикл напряжений характеризуется двумя независимыми из следующих основных характеристик (параметров цикла):

σ_{max} – максимальное напряжение цикла (наибольшее в алгебраическом смысле напряжение цикла);

σ_{min} – минимальное напряжение цикла (наименьшее в алгебраическом смысле напряжение цикла);

σ_m – среднее напряжение цикла (полусумма наибольшего и наименьшего напряжений цикла)

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2};$$

σ_a – амплитудное напряжение цикла (полуразность наибольшего и наименьшего напряжений цикла)

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2};$$

R – коэффициент асимметрии цикла напряжений (отношение наименьшего и наибольшего напряжений цикла)

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}.$$

4. Практическая часть.

Определение долговечности подкрановой балки

4.1. Исходные данные

Необходимо определить время до проведения ремонтных работ на подкрановой балке, рассчитанной с запасом по пределу прочности $n_B=2,6$ ($\sigma_B=500$ МПа). Предел текучести балки $\sigma_T=240$ МПа.

Балка нагружается в течение месяца 10^3 раз.

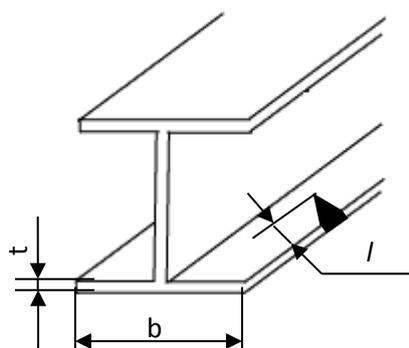
В полке балки после изготовления была обнаружена трещина длиной 0,01 м.

При циклических испытаниях образца шириной $b=0,14$ м с боковой трещиной $l=0,012$ м при напряжениях $\sigma=180$ МПа трещина за первые $\Delta N_1=10^4$ циклов увеличилась на $\Delta l_1=0,0024$ м, за вторые $\Delta N_2=10^4$ циклов – на $\Delta l_2=0,0037$ м.

Разрушение образца произошло при длине трещины $l_c=0,023$ м

Запас прочности балки не должен быть ниже 1,5.

Нагрузки на подкрановую балку и форма сечения в условиях задачи не заданы, поэтому примем произвольно, что сечение подкрановой балки – двутавр №60с



Размеры балки:

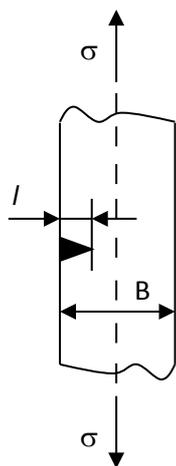
$$b = 0,18 \text{ м}$$

$$t = 0,022 \text{ м}$$

$$l = 0,01 \text{ м}$$

Требуется оценить долговечность балки в условиях циклического нагружения.

Для оценки долговечности конструкции воспользуемся результатами испытаний плоского образца с боковой трещиной:



Размеры образца:

$$b=0,14 \text{ м}$$

$$l = 0,012 \text{ м}$$

$$\sigma = 180 \text{ МПа}$$

Эксплуатационное напряжение примем равным допускаемому по условию статической прочности.

$$\sigma_{\text{э}} = \frac{\sigma_{\text{в}}}{n_{\text{в}}} = \frac{500}{2,6} = 192,3 \text{ МПа}$$

4.2. Основные уравнения

При оценке долговечности конструкции с трещиной, в условиях циклического нагружения, основной характеристикой является скорость роста трещины $l = \frac{dl}{dN}$ зависящая от многих параметров. В результате многочисленных экспериментов было установлено, что основным параметром, определяющим l , является размах коэффициента интенсивности напряжений (КИН) ΔK , вычисляемый по размаху напряжений в растягивающей части цикла.

$$\Delta K = \Delta \sigma \cdot \sqrt{\pi \cdot l} \cdot f_{IK} \quad (4.1)$$

где $\Delta \sigma$ – размах напряжений в растягивающей части цикла;

l – длина трещины образца;

f_{IK} – коэффициент, зависящий от соотношения размеров образца и трещины.

В случае односторонней боковой трещины f_{IK} вычисляется по формуле 4.2.

$$f_{IK} = 1,12 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot B}{\pi \cdot l} \operatorname{tg} \left(\frac{\pi \cdot l}{2 \cdot B} \right)} \quad (4.2)$$

где B – ширина образца.

Размах напряжений при испытаниях определяется по формуле 4.3.

$$\Delta \sigma = \Delta \sigma_n \cdot \frac{F_n}{F_{бр}} = \Delta \sigma_n \cdot \frac{(B-l) \cdot t}{B \cdot t} \quad (4.3)$$

где $\Delta \sigma_n$ – напряжение при испытаниях образца;

F_n – площадь полки балки, с учетом трещины (площадь брутто);

$F_{бр}$ – площадь без учета трещины (площадь брутто);

t – высота полки балки.

Связь $l = \frac{dl}{dN}$ и ΔK определяется уравнением Переса.

$$\frac{dl}{dN} = C_1(K)^{m_1} \quad (4.4)$$

где C_1 и m_1 – характеристика материала и условий нагружения.

После замены $\frac{dl}{dN} \approx \frac{\Delta l}{\Delta N}$ и логарифмирования уравнения 4.4 получим

$$\lg \Delta K - \lg \Delta N = \lg C_1 + m_1 \cdot \lg(\Delta K) \quad (4.5)$$

Зависимость длины трещины от числа циклов получают интегрированием уравнения 4.4. Коэффициент f_{IK} , зависящий от l , изменяется незначительно, для упрощения его можно принять постоянным, равным некоторому среднему значению f_{IK}^* .

Подставив (4.1) в (4.4) и проинтегрировав получим

$$\frac{1}{0,5m_1-1} \cdot \left(\frac{1}{l_0^{0,5m_1-1}} - \frac{1}{l^{0,5m_1-1}} \right) = C_1 \cdot (f_{IK}^* \cdot \Delta\sigma \cdot \sqrt{\pi})^{m_1} \cdot N \quad (4.6)$$

В расчете учитываем протяженность пластической зоны у кончика трещины, подставляя в формулы 4.1 и 4.2 вместо l условную длину трещины l_T , определяемую по формуле

$$l_T = l \cdot \left[1 + 0,5 \cdot \left(\frac{\delta}{\delta_T} \right)^2 \right] \quad (4.7)$$

где σ_T – предел текучести.

4.3. Определение параметров C_1 и m_1 . Построение зависимости $l \sim N$ для образца

Размах напряжений при испытаниях задан по площади нетто. По формуле 4.3 вычисляем напряжение по площади брутто

$$\Delta\sigma = 180 \cdot \frac{0,14 - 0,012}{0,14} = 164,6 \text{ МПа}$$

Находим условную длину трещины для $l_1=0,012$ по формуле (4.7)

$$l_T = 0,012 \cdot \left[1 + 0,5 \cdot \left(\frac{164,6}{240} \right)^2 \right] = 0,01482$$

Рассчитываем f_{IK} по формуле (4.2). Тангенс рассчитывается в радианах. 1 градус $\approx 0,017$ радиан.

$$f_{IK} = 1,12 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,14}{\pi \cdot 0,01482} \operatorname{tg} \frac{\pi \cdot 0,01482}{2 \cdot 0,14}} = 1,126$$

Рассчитываем размах КИН по формуле (4.1)

$$\Delta K_1 = 164,6 \cdot \sqrt{\pi \cdot 0,01482} \cdot 1,126 = 39,98 \text{ Мпа} \cdot \text{м}^{\frac{1}{2}}$$

Повторяем расчеты для длины трещины после N_1 циклов нагружений.

$$l_2 = l + \Delta l_1 = 0,012 + 0,0024 = 0,0144 \text{ м}$$

$$l_{T2} = 0,0144 \cdot \left[1 + 0,5 \cdot \left(\frac{164,6}{240} \right)^2 \right] = 0,01778$$

$$f_{IK} = 1,12 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,14}{\pi \cdot 0,01778} \operatorname{tg} \frac{\pi \cdot 0,01778}{2 \cdot 0,14}} = 1,127$$

$$\Delta K_2 = 164,6 \cdot \sqrt{\pi \cdot 0,01778} \cdot 1,127 = 43,83 \text{ Мпа} \cdot \text{м}^{\frac{1}{2}}$$

Запишем уравнения (4.5) для первых и вторых 10^4 циклов

$$\begin{aligned} \lg \Delta l_1 - \lg \Delta N &= \lg C_1 + m_1 \cdot \lg(\Delta K_1) \\ \lg \Delta l_2 - \lg \Delta N &= \lg C_1 + m_1 \cdot \lg(\Delta K_2) \end{aligned}$$

Подставляя численные значения, получаем систему уравнений для определения C_1 и m_1

$$\begin{cases} \lg 0,0024 - \lg 10^4 = \lg C_1 + m_1 \cdot \lg 39,98 \\ \lg 0,0037 - \lg 10^4 = \lg C_1 + m_1 \cdot \lg 43,83 \end{cases}$$

$$\begin{cases} -6,62 = \lg C_1 + 1,602m_1 \\ -6,43 = \lg C_1 + 1,642m_1 \end{cases} \quad \Rightarrow \quad \begin{aligned} \lg C_1 &= -6,62 - 1,602m_1 \\ m_1 &= 4,75 \\ \lg C_1 &= -14,2 \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad C_1 = 10^{-14,2}$$

Зная C_1 и m_1 по уравнению (4.6) можно найти число циклов до разрушения образца. Длина трещины в момент разрушения $l_c = 0,023$ м.

Вычисляем

$$l_{Tc} = 0,023 \cdot \left[1 + 0,5 \cdot \left(\frac{164,6}{240} \right)^2 \right] = 0,0284$$

$$f_{IK} = 1,12 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,14}{\pi \cdot 0,0284} \operatorname{tg} \frac{\pi \cdot 0,0284}{2 \cdot 0,14}} = 1,14$$

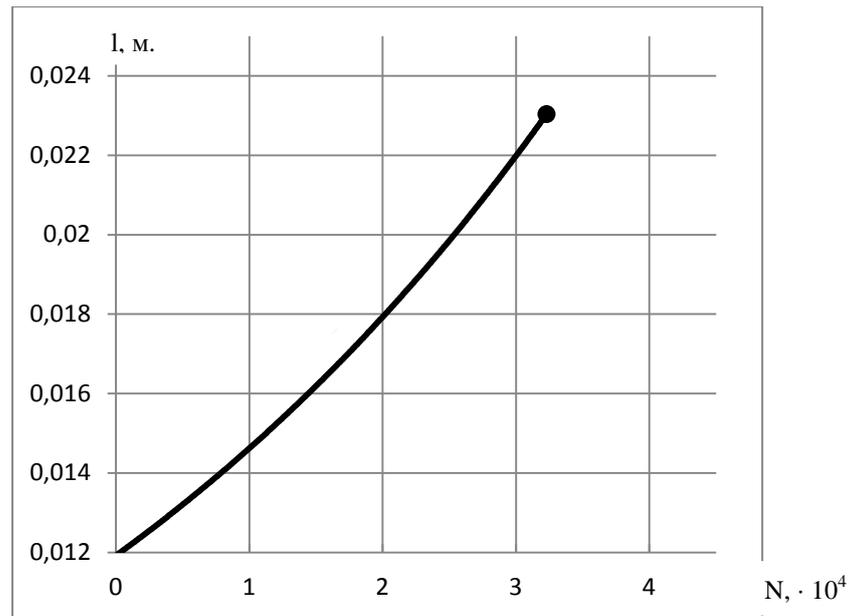
При изменении длины от 0,012 до 0,023 м. f_{IK} изменяется от 1,126 до 1,14, среднее значение на этом интервале $f_{IK}^* = 1,133$.

Подставляем найденные величины в уравнение (4.6)

$$\frac{1}{0,5 \cdot 4,75 - 1} \cdot \left(\frac{1}{0,012^{0,5 \cdot 4,75 - 1}} - \frac{1}{l^{0,5 \cdot 4,75 - 1}} \right) 10^{-14,2} (1,133 \cdot 164,6 \sqrt{3,14})^{4,75} \cdot N_c$$

Откуда получаем $N_c = 3,23 \cdot 10^4$ циклов.

По найденным значениям строим зависимость $l \sim N$.



4.4. Оценка долговечности подкрановой балки

Для оценки долговечности балки используем уравнение (4.6).

Предварительно определяем, какая трещины на образца будет соответствовать заданному размеру трещины на балке из условия пропорциональности размеров.

$$\frac{l_6}{B_6} = \frac{l_{обр}}{B_{обр}}; \quad l_{обр} = \frac{l_6 \cdot B_{обр}}{B_6} = \frac{0,01 \cdot 0,14}{0,18} = 0,0078 \text{ м}$$

Уровень долговечности эксплуатационных напряжений известен – 193,3 МПа.

Определим критическую длину трещины, соответствующую этим напряжениям, используя условие постоянства критического размаха КИН.

По формуле (4.1) вычисляем ΔK_{Ic} для образца. Все величины, входящие в формулу, были найдены ранее.

$$\Delta\sigma=164,6 \text{ МПа}, \quad l_c=0,023 \text{ м}, \quad l_{Tc}=0,0284 \text{ м}, \quad f_{IK}=1,14$$

$$\Delta K_{Ic} = 164,6 \cdot \sqrt{\pi \cdot 0,0284} \cdot 1,14 = 56,03 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{\frac{1}{2}}$$

Вычисляем критическую длину трещины при напряжении $\sigma_3=192,3 \text{ МПа}$.

$$\Delta K_{Ic} = \Delta \sigma_3 \cdot \sqrt{\pi \cdot l_{c3}} \cdot f_{IK} = 56,03 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{\frac{1}{2}}$$

В этом равенстве два неизвестных, так как f_{IK} зависит от l .

Решаем подбором. Принимаем, что $f_{IK}=1,14$, что соответствует $l=0,023$.

$$l_{c3} = \frac{\Delta K_{Ic}^2}{\Delta \sigma_3^2 \cdot f_{IK}^2 \cdot \pi} = \frac{56,03^2}{192,3^2 \cdot 1,14^2 \cdot 3,14} = 0,0208 \text{ м}$$

Соответствующий коэффициент f_{IK} равен

$$f_{IK} = 1,12 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,14}{\pi \cdot 0,0208} \operatorname{tg} \frac{\pi \cdot 0,0208}{2 \cdot 0,14}} = 1,131$$

Для повторного приближения примем $f_{IK} = \frac{1,14+1,131}{2} = 1,136$.

Приближения выполняем до момента, пока l_{c3} не перестанет изменяться с округлением до тысячных.

2)

$$l_{c3} = \frac{56,03^2}{192,3^2 \cdot 1,136^2 \cdot 3,14} = 0,0209 \text{ м}$$

$$f_{IK} = 1,12 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,14}{\pi \cdot 0,0209} \operatorname{tg} \frac{\pi \cdot 0,0209}{2 \cdot 0,14}} = 1,13$$

$$f_{IK}^* = \frac{1,136+1,13}{2} = 1,133$$

3)

$$l_{c3} = \frac{56,03^2}{192,3^2 \cdot 1,133^2 \cdot 3,14} = 0,021 \text{ м}$$

$$f_{IK} = 1,12 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,14}{\pi \cdot 0,021} \operatorname{tg} \frac{\pi \cdot 0,021}{2 \cdot 0,14}} = 1,1305$$

$$f_{IK}^* = \frac{1,133+1,1305}{2} = 1,132$$

4)

$$l_{c3} = \frac{56,03^2}{192,3^2 \cdot 1,132^2 \cdot 3,14} = 0,0211 \text{ м}$$

$$f_{IK} = 1,12 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,14}{\pi \cdot 0,0211} \operatorname{tg} \frac{\pi \cdot 0,0211}{2 \cdot 0,14}} = 1,131$$

Окончательно, после приближений

$$l_{c3}=0,0211$$

Так как величина ΔK_c определена с учетом пластической зоны, поэтому найденная величина трещины является условной. Используя формулу 4.3 найдем критическую длину трещины. Принимая $l_{c3} = l_T$.

$$l_T = l_c \cdot \left[1 + 0,5 \cdot \left(\frac{192,3}{240} \right)^2 \right] = 1,321 \cdot l_c$$

$$l_c = \frac{0,0211}{1,321} = 0,016 \text{ м}$$

При изменении длины от $l_0=0,0078$ м до $l_c=0,016$ м коэффициент f_{IK} изменяется от 1,123 до 1,131. Среднее значение $f_{IK}^* = 1,127$.

Подставляя все найденные величины в формулу (4.6), находим критическое число циклов в условиях эксплуатации балки.

$$\frac{1}{1,375} \cdot \left(\frac{1}{0,0078^{1,375}} - \frac{1}{0,016^{1,375}} \right) 10^{-14,2} (1,127 \cdot 164,6 \sqrt{3,14})^{4,75} \cdot N_{c3}$$

$$N_{c3}=3,03 \cdot 10^4 \text{ циклов}$$

Запас по числу циклов n_N рекомендуется $5 \div 20$. Примем $n_N=10$.

Находим допускаемое число циклов

$$[N] = \frac{N_{c3}}{n_N} = \frac{3,03 \cdot 10^4}{10} = 3,03 \cdot 10^3$$

4.5. Проверка прочности по напряжениям

По условию запас прочности по напряжению должен быть не менее $n_\delta=1,5$. Проверим, выполняется ли условие.

Определяем длину трещины, соответствующей $N=[N]$ по формуле 4.6.

$$\frac{1}{1,375} \cdot \left(\frac{1}{0,0078^{1,375}} - \frac{1}{l_{[N]}^{1,375}} \right) 10^{-14,2} (1,127 \cdot 164,6 \sqrt{3,14})^{4,75} \cdot 3,03 \cdot 10^3$$

$$l_{[N]}^{1,375} = 0,00135$$

$$l_{[N]} = 0,00817 \text{ м}$$

$$f_{IK} = 1,12 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,14}{\pi \cdot 0,00817} \operatorname{tg} \frac{\pi \cdot 0,00817}{2 \cdot 0,14}} = 1,122$$

Находим, какое критическое напряжение соответствует этой длине трещины

$$\Delta\sigma_c = \frac{\Delta K_c}{\sqrt{\pi \cdot l_{[N]}} \cdot f_{IK}} = \frac{56,03}{\sqrt{3,14 \cdot 0,00817} \cdot 1,122} = 312 \text{ МПа}$$

Запас прочности

$$n_\sigma = \frac{\Delta\sigma_c}{\Delta\sigma_3} = \frac{312}{192,3} = 1,65 > 1,5$$

Условие прочности выполняется.

4.6. Заключение

Допустимое число циклов нагружения для подкрановой балки с трещиной $[N]=3,03 \cdot 10^3$.

За месяц балка испытывает 10^3 нагружений.

Ремонт необходим через 3 месяца.

Литература

1. ООО «Энергосталь». Подкрановые балки: [Электронный ресурс]. <http://www.enerstal.ru/metalware/production/podkranovye-balki/>
2. Волгоградский государственный технический университет. Кафедра сопротивления материалов. http://sopromat.vstu.ru/metod/lek/lek_22.pdf
3. Махутов Н. А., Пермяков В. Н. Механика деформирования и разрушения нефтегазохимических объектов: эл. учебное пособие – Тюмень: ТюмГНГУ, НТЦ НГП, 2012. – 176 с.
4. Махутов Н.А. Конструкционная прочность, ресурс и техногенная безопасность. Часть 1: Критерии прочности и ресурса. Новосибирск: Наука, 2005. - 494 с.
5. Махутов Н.А. Конструкционная прочность, ресурс и техногенная безопасность. Часть 2: Обоснование ресурса и безопасности. Новосибирск: Наука, 2005. - 610 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Вариант	Кол-во нагружений в месяц	l, м	b, м	t, м	B, м	l _{об} , м	σ, МПа	Δl ₁ , м	Δl ₂ , м	l _c , м
1	1·10 ²	0,01	0,27	0,021	0,21	0,012	181	0,0023	0,0037	0,027
2	2·10 ²	0,011	0,2	0,02	0,16	0,015	182	0,0022	0,0036	0,026
3	3·10 ²	0,012	0,28	0,028	0,23	0,014	183	0,0021	0,0035	0,025
4	4·10 ²	0,012	0,3	0,027	0,25	0,013	187	0,002	0,0034	0,024
5	5·10 ²	0,009	0,23	0,026	0,21	0,011	185	0,0019	0,0033	0,022
6	6·10 ²	0,011	0,24	0,025	0,2	0,013	186	0,0018	0,0032	0,024
7	7·10 ²	0,014	0,25	0,024	0,19	0,014	187	0,0017	0,0031	0,025
8	8·10 ²	0,012	0,19	0,023	0,18	0,015	188	0,0016	0,003	0,026
9	9·10 ²	0,013	0,2	0,021	0,17	0,016	189	0,0015	0,0029	0,027
10	2·10 ³	0,014	0,21	0,02	0,18	0,017	190	0,0014	0,0028	0,028
11	3·10 ³	0,013	0,22	0,028	0,19	0,018	191	0,0023	0,0037	0,029
12	4·10 ³	0,008	0,23	0,027	0,2	0,019	160	0,0022	0,0036	0,03
13	5·10 ³	0,007	0,24	0,026	0,21	0,02	170	0,0021	0,0035	0,031
14	6·10 ³	0,012	0,25	0,025	0,22	0,021	190	0,002	0,0034	0,032
15	7·10 ³	0,013	0,19	0,024	0,23	0,022	200	0,0019	0,0033	0,033
16	8·10 ³	0,015	0,2	0,023	0,24	0,023	210	0,0018	0,0032	0,034
17	9·10 ³	0,015	0,31	0,021	0,19	0,013	180	0,0017	0,0031	0,024
18	2·10 ⁴	0,011	0,22	0,02	0,17	0,014	189	0,0016	0,003	0,025
19	3·10 ⁴	0,009	0,23	0,028	0,18	0,015	188	0,0015	0,0029	0,026
20	4·10 ⁴	0,012	0,24	0,027	0,19	0,016	187	0,0014	0,0028	0,027
21	5·10 ⁴	0,005	0,25	0,026	0,2	0,017	186	0,0023	0,0037	0,028
22	6·10 ⁴	0,004	0,19	0,025	0,21	0,018	185	0,0022	0,0036	0,029
23	7·10 ⁴	0,008	0,2	0,024	0,22	0,019	200	0,0021	0,0035	0,03
24	8·10 ⁴	0,007	0,21	0,023	0,23	0,02	210	0,002	0,0034	0,031
25	9·10 ⁴	0,006	0,22	0,021	0,24	0,021	184	0,0019	0,0033	0,032