

Республиканский инновационный молодежный конвент
«Молодежь – для будущего Республики Коми»

Раздел 3. Строительная и лесная промышленность

Тема проекта: «Разработка навесного оборудования
(штыревого захвата) для перемещения крупногабаритных
вертикальных грузов»

Выполнила студентка гр. МЭ-41
Меркова Светлана Викторовна
Руководитель проекта:
Шехурдин Сергей Николаевич

ВВЕДЕНИЕ

Акционерное общество «Монди Сыктывкарский ЛПК» - один из крупнейших производителей целлюлозно-бумажной продукции России. Одной из проблем на складе готовой продукции предприятия была отгрузка большеформатных рулонов.

Я приняла участие в разработке технической документации для сертификации навесного оборудования (штыревого захвата) для перемещения крупногабаритных вертикальных грузов, используемого на складе готовой продукции АО «Монди СЛПК».

Технологический процесс производства бумаги завершается на складе готовой продукции, где продукция отгружается потребителям.

Специалисты предприятия предложили усовершенствовать захват и дополнить его специальным приспособлением. При испытаниях устройство не выдерживало приложенных нагрузок и штырь получал большой прогиб.

Под руководством преподавателя мною были проведены расчеты, которые обеспечили безопасную отгрузку без применения дополнительного погрузчика. Была разработана инструкция и подготовлена техническая документация, на основании которых предприятие получило сертификат для использования данного приспособления в условиях производства.

Данная работа была представлена на конкурсе Премия лесной академии Коми, где получила высокую оценку.

На основании проведенной работы приспособление для захвата большеформатных рулонов используется в работе, что позволило складские работы выполнять в соответствии с техническими указаниями, инструкциями с соблюдением требований Промышленной безопасности, охраны труда и техники безопасности.

1. АКТУАЛЬНОСТЬ

Проблемы отгрузки большеформатных рулонов:

- ставится один контейнер на шестой железнодорожный путь в тупик;
- за сутки грузится 4 контейнера;
- в течение всей загрузки плотник не отходит от контейнера, для крепления груза;

- для погрузки необходимо привлекать второй погрузчик;
- большие затраты на крепление груза.

Перспективы отгрузки большеформатных рулонов:

- отгрузка контейнеров автотранспортом (погрузка в ночную смену с 21:00 до 6:00).

2. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

Цель: повышение эффективности отгрузки большеформатных рулонов, в горизонтальном положении в контейнеры, с использованием существующего навесного оборудования.

Задачи:

- произвести полный расчет навесного оборудования (штыревого захвата);
- разработать инструкцию по погрузке большеформатных рулонов в контейнеры в горизонтальном положении;
- установить сроки эксплуатации оборудования и графики обязательных проверок;
- дать рекомендации по проверке (диагностированию) оборудования.

3. ЭТАПЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА

3.1 Изучение аналогов погрузчиков

МОДЕЛИ КВ-R, БЕЗ БОКОВОГО СМЕЩЕНИЯ. Грузоподъемность 1400-4000 кг. Захват предназначен для обработки грузов цилиндрической формы. Конструкция состоит из прочных сдвоенных Т-образных профилей. Компактная рама обеспечивает отличную сквозную видимость. Клапанный блок расположен в защищенном месте. Редукционный клапан входит в стандартную комплектацию.

3.2 Расчетная часть

3.2.1 Проверка статической прочности (приложение 1)

Включает:

Расчет нагрузки

Поперечные силы и изгибающие моменты

Проверка на статический изгиб

3.2.2 Проверка жесткости (приложение 2)

3.2.3 Проверка выносливости (приложение 3)

3.2.4 Проверка на упругие колебания (приложение 4)

3.2.5 Проверка прочности буртика (приложение 5)

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Крепёжный материал нагрузку при транспортировке выдерживают. Продукция доходит до потребителя не повреждённой. Из расчетов можно сделать выводы:

1. Запас статической прочности не менее 5,2
2. Жесткость обеспечивается с усилением оси захвата ребрами жесткости
3. Выносливость оси захвата обеспечивается при проведении полировки оси в опасном сечении
4. Срок службы оборудования не менее 12 лет по условиям динамичности
5. Коэффициент запаса динамической нагрузки не менее 2,7
6. Прочность буртика на срез и смятие обеспечена

Экономическая эффективность проекта очевидна при стоимости заказываемого захвата 19 000 Евро и проекта на штыревой захват не менее 250000 рублей.

6. РЕКОМЕНДАЦИИ

1. При изготовлении оси выбирать материал (сталь) после соответствующей термообработки с пределом прочности не менее $\sigma_B = 2000$ МПа и производить полирование поверхности оси штыря.

2. Обязательную проверку навесного оборудования производить не реже 1 раза в 4 года.

3. При проверке (диагностике) навесного оборудования после внешнего осмотра производить замер стрелы прогиба на конце оси захвата, которая не должна превышать 18 мм; проверку сварных швов рёбер жесткости; узла крепления оси.

Отработка навыков по технологии отгрузки большеформатных рулонов приведёт к сокращению времени процесса и повышению производительности процесса, что скажется на стоимости погрузочно-разгрузочных работ.

Отгрузка большеформатных рулонов приводит к увеличению объёма продаваемой продукции и повышению конкурентоспособности предприятия.

3.2. РАСЧЁТНАЯ ЧАСТЬ

3.2.1 Проверка статической прочности

➤ Исходные данные

1) Диаметры:

- рулона $D_p = 1400 \text{ мм} = 1,4 \text{ м}$;
- втулки $d_{gm} = 100 \text{ мм}$;
- начальный оси $d_n = 77,5 \text{ мм}$;
- рабочий оси $d_p = 95 \text{ мм}$;
- конечный рабочей части оси $d_k = 97 \text{ мм}$;
- в заделке $d_z = 120 \text{ мм}$;
- буртика $d_b = 126 \text{ мм}$;

2) Длины:

- рулона $L_p = 2810 \text{ мм} = 2,81 \text{ м}$;
- оси $L_0 = 2025 \text{ мм} = 2,025 \text{ м}$;
- рабочей части оси $L = 1805 \text{ мм} = 1,805 \text{ м}$;

3) Расстояния:

- до центра тяжести штыря $E = 416 \text{ мм} = 0,416 \text{ м}$;
- до рабочей части оси $C = 120 \text{ мм} = 0,12 \text{ м}$;
- начального конуса $l_n = 100 \text{ мм} = 0,1 \text{ м}$;
- конечного конуса $l_k = 300 \text{ мм} = 0,3 \text{ м}$;
- заделки $l_z = 110 \text{ мм} = 0,11 \text{ м}$;
- толщина буртика $l_b = 10 \text{ мм} = 0,1 \text{ м}$;
- расчётное до центра тяжести $L_1 = 296 \text{ мм} = 0,296 \text{ м}$;

4) Массы:

- рулона $m_p = 4000 \text{ кг}$
- штыря $m_{ш} = 270 \text{ кг}$

Материал оси штыря – сталь 27Х3НМВФС

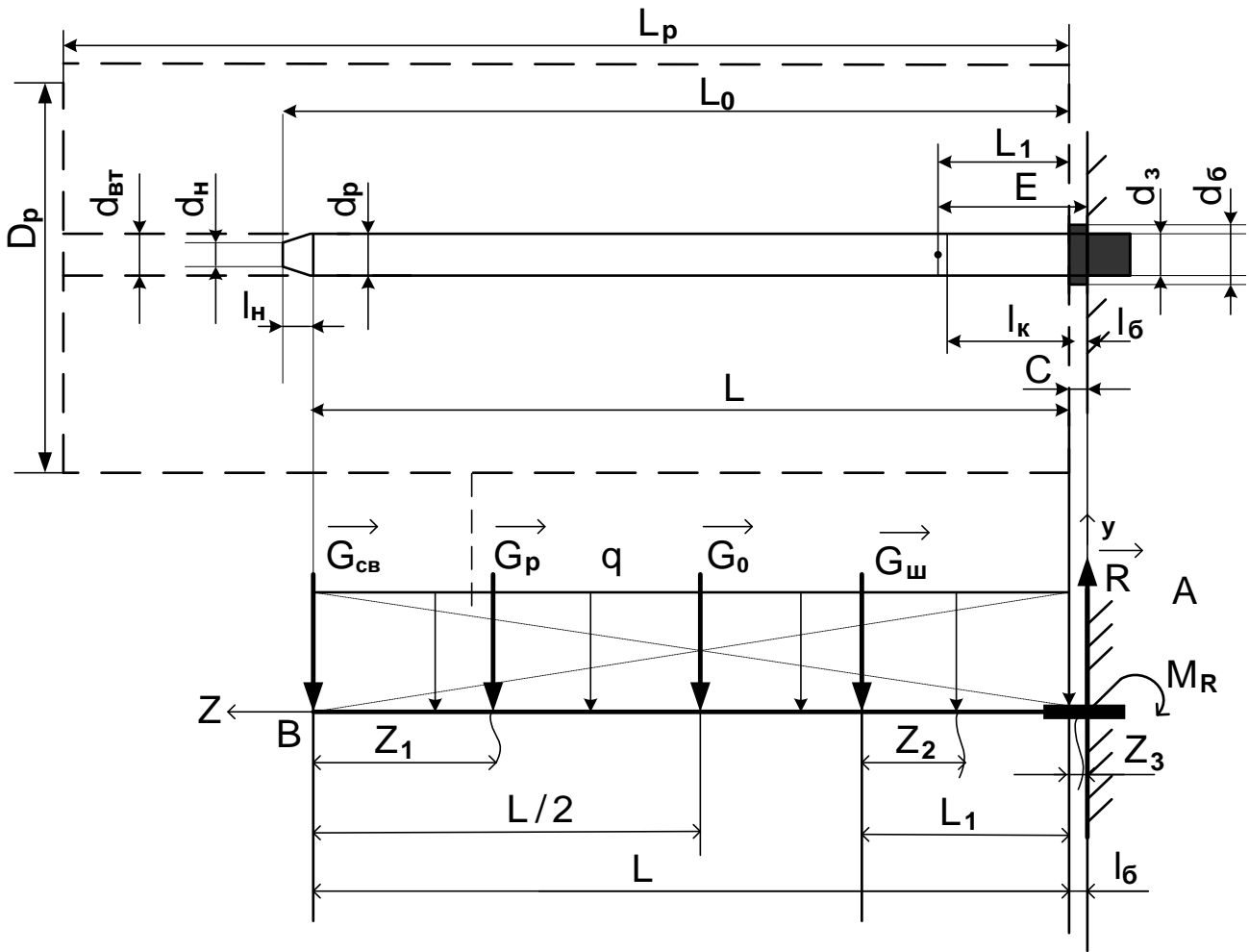


Рисунок 4.1. Расчётная схема оси штыревой установки на прочность

➤ Расчет нагрузки

Вес рулона G_p , Н:

$$G_p = m_p \times g ,$$

(1)

где g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

$$G_p = 4000 \times 9,81 = 39240 \text{ Н.}$$

Вес штыря $G_{ш}$, Н:

$$G_{ш} = m_{ш} \times g(2)$$

$$G_{ш} = 270 \times 9,81 = 2649 \text{ Н.}$$

Вес свободного (свисающего) конца рулона $G_{св}$, Н:

$$G_{св} = \frac{G_p \times (L_p - L)}{L_p} \quad (3)$$

$$G_{св} = \frac{39240 \times (2,81 - 1,805)}{2,81} = 14034 \text{ Н.}$$

Вес рулона, опирающегося на ось G_0 , Н:

$$G_0 = G_p - G_{св}$$

(4)

$$G_0 = 39240 - 14034 = 25206 \text{ Н.}$$

Интенсивность равномерно распределенной нагрузки на ось q , Н/м:

$$q = \frac{G_0}{L} \quad (5)$$

$$q = \frac{25206}{1,805} = 13,965 \text{ Н/мм} = 13965 \text{ Н/м.}$$

Реакции заделки R , Н и M_R , Нм:

$$\sum F_{iy} = 0; \quad R - G_{ш} - G_0 - G_{св} = 0 \quad (6)$$

Откуда находим R :

$$R = G_{ш} + G_0 + G_{св} \quad (7)$$

$$R = 2649 + 25206 + 14034 = 41889 \text{ Н.}$$

$$\sum M_{iA} = 0; \quad M_R - G_{ш} \times (L_1 + l_{\delta}) - G_0 \times \left(\frac{L}{2} + l_{\delta}\right) - G_{св} \times (L + l_{\delta}) = 0; \quad (8)$$

Откуда находим M_R :

$$M_R = G_{ш} \times (L_1 + l_{\delta}) + G_0 \times \left(\frac{L}{2} + l_{\delta}\right) + G_{св} \times (L + l_{\delta}) \quad (9)$$

$$M_R = 2649 \times (0,296 + 0,01) + 25206 \times \left(\frac{1,805}{2} + 0,01\right) + 14034 \times (1,805 + 0,01) = 49283 \text{ Нм.}$$

Проверка:

$$\sum M_{iB} = 0; \quad G_0 \times \frac{L}{2} + G_{ш} \times (L - L_1) - R \times (L + l_{\delta}) + M_R = 0; \quad (10)$$

$$25206 \times \frac{1,805}{2} + 2649 \times (1,805 - 0,296) - 41889 \times (1,805 + 0,01) + 49211 = 76028 - 76028 =$$

0;

Вывод : реакции найдены верно

➤ Поперечные силы Q_y , Н и изгибающие моменты M_x , Нм

I участок: $0 \leq Z_1 \leq (L-L_1)$;

$$0 \leq Z_1 \leq 1,509 \text{ м}$$

$$Q_{y1} = -G_{c6} - q \times Z_1 = -14034 - 13965 \times Z_1 \quad (11)$$

$$M_{x1} = -G_{c6} \times Z_1 - q \times \frac{Z_1^2}{2} = -14034 \times Z_1 - 6982,5 \times Z_1^2 \quad (12)$$

При $Z_1 = 0$: $Q_{y1} = -14034$ Н; $M_{x1} = 0$

При $Z_1 = (L-L_1) = 1,509$: $Q_{y1} = -35107$ Н; $M_{x1} = -37077$ Нм.

II участок: $0 \leq Z_2 \leq L_1$;

$$0 \leq Z_2 \leq 0,296 \text{ м};$$

$$Q_{y2} = -G_{c6} - q \times (L-L_1) - G_{u1} - q \times Z_2 = -14034 - 13965 \times (1,805 - 0,296) - 2649 - 13965 \times Z_2 = -37756 - 13965 \times Z_2 \quad (13)$$

$$M_{x2} = -G_{c6} \times (L-L_1+Z_2) - q \times \frac{(L-L_1+Z_2)^2}{2} - G_{u1} \times Z_2 = -14034 \times (1,805 - 0,296 + Z_2) - 13965 \times \frac{(1,805 - 0,296 + Z_2)^2}{2} - 2649 \times Z_2 = -38030 - 38133 \times Z_2 - 6982,5 \times Z_2^2 \quad (14)$$

При $Z_2 = 0$: $Q_{y2} = -37756$ Н ; $M_{x2} = -37077$ Нм

При $Z_2 = L_1 = 0,296$ м : $Q_{y2} = -41899$ Н ; $M_{x2} = -48865$ Нм.

III участок: $0 \leq Z_3 \leq l_{\delta}$;

$$0 \leq Z_3 \leq 0,01 \text{ м};$$

$$Q_{y3} = -R = -41889 \text{ Н.} \quad (15)$$

$$M_{x3} = R \times Z_3 - M_R = 41889 \times Z_3 - 49283 \quad (16)$$

При $Z_3 = 0$: $Q_{y3} = -41889$ Н ; $M_{x3} = -49283$ Нм

При $Z_3 = l_{\delta} = 0,01$: $Q_{y3} = -41889$ Н ; $M_{x3} = -49702$ Нм

Строим эпюры Q_y и M_x (рис 1.1)

➤ Проверка на статический изгиб

Из эпюр находим максимальные значения :

$$|Q_{y_{max}}| = 41889 \text{ Н}$$

$$|M_{x_{max}}| = 49702 \text{ Нм}$$

Проверочный расчет на изгиб по нормальным напряжениям:

$$\sigma_{max} = \frac{|M_{xmax}|}{W_x} \leq [\sigma], \quad (17)$$

где σ_{max} - максимальные напряжения изгиба, МПа;

W_x - осевой момент сопротивления сечения, $м^3$.

Для круглого сечения [1, с.59, т.1] :

$$W_x = \frac{\pi \times d_3^3}{32} \quad (18)$$

$$W_x = \frac{3,14 \times 0,12^3}{32} = 0,00017 \text{ м}^3$$

$[\sigma]$ – допускаемое нормальное напряжение изгиба, МПа,

$$[\sigma] = \frac{\sigma_\sigma}{[S_\sigma]}, \quad (19)$$

где σ_σ - предел прочности материала оси,

$\sigma_\sigma = 2000$ МПа для стали 27Х3НМВФСА,

$[S_\sigma]$ – допускаемый коэффициент запаса прочности,

$[S_\sigma] = 1,3 \dots 1,5$ для стали [2, с.175];

$$[\sigma] = \frac{2000}{1,3} = 1538 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{max} = \frac{49702}{0,00017} = 293 \times 10^6 \text{ Па} = 293 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{max} = 293 \text{ МПа} < [\sigma] = 1538 \text{ МПа}$$

Вывод: статическая прочность на изгиб по нормальным напряжениям обеспечена.

Фактический коэффициент запаса прочности S_σ :

$$S_\sigma = \frac{[\sigma]}{\sigma_{max}} \quad (20)$$

$$S_\sigma = \frac{1538}{293} = 5,25$$

Проверочный расчет на изгиб по касательным напряжениям [1, с.254]:

$$\tau_{max} = \frac{16 \times |Q_{ymax}|}{3 \times \pi \times d_3^2} \leq [\tau], \quad (21)$$

где $[\tau]$ – допускаемые касательные напряжения изгиба, МПа [3, с.91]

$$[\tau] = (0,5 \dots 0,7) \times [\sigma] \quad (22)$$

$$[\tau] = 0,5 \times 1538 = 796 \text{ МПа}$$

$$\tau_{max} = \frac{16 \times 41889}{3 \times 3,14 \times 0,12^2} = 5 \times 10^6 \text{ Па} = 5 \text{ МПа}$$

$$\tau_{max} = 5 \text{ МПа} < [\tau] = 796 \text{ МПа}$$

Вывод: статическая прочность на изгиб по касательным напряжениям обеспечена.

3.2.2 Проверка жесткости

Условия жесткости при изгибе:

$$y_{max} \leq [y], \quad (23)$$

$$\theta_{max} \leq [\theta],$$

где y_{max} – максимальный прогиб балки, м

$[y]$ – допускаемый прогиб балки, м [1, с.262]

$$[y] = (0,01 \dots 0,001) \times l, \quad (24)$$

где l - общая длина балки,

$$l = L + l_{\sigma}$$

$$l = 1,805 + 0,01 = 1,815 \text{ м}$$

$$l = 1,815 \text{ м}$$

$$[y] = 0,01 \times 1,815 = 0,01815 \text{ м}$$

θ_{max} – максимальный угол поворота оси балки, ° ;

$[\theta]$ – допускаемый угол поворота, $[\theta] \leq 1^\circ$ [1, с.262]

Максимальный прогиб (стрела) y_{max} , м, учитывая правило Верещагина [4, с.200] :

$$y_{max} = \frac{\sum \omega \times \eta_c}{E \times I_x}, \quad (25)$$

где ω – площадь эпюры изгибающих моментов, Нм²;

η_c – ордината эпюры от единичной силы, расположенная под центром тяжести

площади ω эпюры, м;

E – модуль упругости материала оси, Па;

$$E = 1,95 \times 10^5 \text{ МПа} = 1,95 \times 10^{11} \text{ Па} - \text{ для стали 27Х3НМВФСА};$$

I_x – осевой момент инерции сечения балки, м⁴;

$$\text{Для круглого сечения балки } I_x = \frac{\pi \times d^3}{64} \text{ по [1, с.59, т.1]} \quad (26)$$

Для ступенчатой оси уравнение (25) примет вид :

$$y_{max} = \frac{\omega_1 \times \eta_{c1}}{E \times I_{x1}} + \frac{(\omega_2 \times \eta_{c2} + \omega_3 \times \eta_{c3})}{E \times I_{x2}} + \frac{(\omega_4 \times \eta_{c4} + \omega_5 \times \eta_{c5})}{E \times I_{x3}} \quad (27)$$

Где ω_1 находим по рис.2.1 :

$$\omega_1 = \frac{1}{3} \times b_1 \times h_1 = \frac{1}{3} \times 1,536 \times 37077 = 18983 \text{ Нм}^2; \eta_{c1} = 0,564 \text{ м};$$

$$I_{x1} = \frac{\pi \times d_p^4}{64} = \frac{3,14 \times 0,095^4}{64} = 4 \times 10^{-6} \text{ м}^4;$$

$$\omega_2 = \frac{1}{3} \times b_2 \times h_2 = \frac{1}{3} \times 0,296 \times (48865 - 37077) = 1163 \text{ Нм}^2; \eta_{c2} = 0,946 \text{ м};$$

$$\omega_3 = h_1 \times b_2 = 37077 \times 0,296 = 10975 \text{ Нм}^2; \eta_{c3} = 0,9225 \text{ м};$$

$$I_{x2} = \frac{\pi \times d_k^4}{64} = \frac{3,14 \times 0,097^4}{64} = 4,3 \times 10^{-6} \text{ м}^4;$$

$$\omega_4 = \frac{1}{2} \times b_3 \times h_3 = \frac{1}{2} \times 0,01 \times (49702 - 48865) = 4 \text{ Нм}^2; \eta_{c4} = 0,998 \text{ м};$$

$$\omega_5 = b_3 \times h_4 = 0,0 \times 48865 = 489 \text{ Нм}^2; \eta_{c5} = 0,997 \text{ м};$$

$$I_{x3} = \frac{\pi \times d_3^4}{64} = \frac{3,14 \times 0,12^4}{64} = 10,2 \times 10^{-6} \text{ м}^4$$

$$y_{max} = \frac{18983 \times 0,564}{1,95 \times 10^{11} \times 4 \times 10^{-6}} + \frac{1163 \times 0,964 + 10975 \times 0,9225}{1,95 \times 10^{11} \times 4 \times 10^{-6}} + \frac{4 \times 0,998 + 489 \times 0,997}{1,95 \times 10^{11} \times 10,2 \times 10^{-6}} = 0,01373 +$$

$$0,01341 + 0,00025 = 0,02739 \text{ м}$$

$$y_{max} = 0,02739 \text{ м} > [y] = 0,01815 \text{ м}$$

Вывод: жесткость по прогибу не обеспечена.

Максимальный угол поворота оси балки $\Theta_{max} \text{ } ^\circ$ [4, с.200]:

$$\Theta_{max} = \frac{\Sigma \omega \times \eta_c'}{E \times I_x}, \quad (28)$$

где η_c' - ордината эпюры от единичного момента, расположенная под центром тяжести площади ω эпюры, м;

$$\eta_c' = 1 \text{ м (рис.2.1)}$$

Для ступенчатой оси уравнение (28) примет вид:

$$\Theta_{max} = \left(\frac{\omega_1}{I_{x1}} + \frac{\omega_2 + \omega_3}{I_{x2}} + \frac{\omega_4 + \omega_5}{I_{x3}} \right) \times \frac{\eta_c'}{E} \quad (29)$$

$$\Theta_{max} = \left(\frac{18983}{4 \times 10^{-6}} + \frac{1163 + 10975}{4,3 \times 10^{-6}} + \frac{4 + 489}{10,2 \times 10^{-6}} \right) \times \frac{1}{1,95 \times 10^{11}} = 0,03906 \text{ рад} = 2,24^\circ$$

$$\Theta_{max} = 2,24^\circ > [\Theta] = 1^\circ$$

Вывод: жесткость по углу поворота не обеспечена.

Следовательно, для выполнения условий жесткости необходимы дополнительные ребра жесткости на участке крепления оси с диаметром $d_3 = 120$ мм и длиной $l_6 = 10$ мм

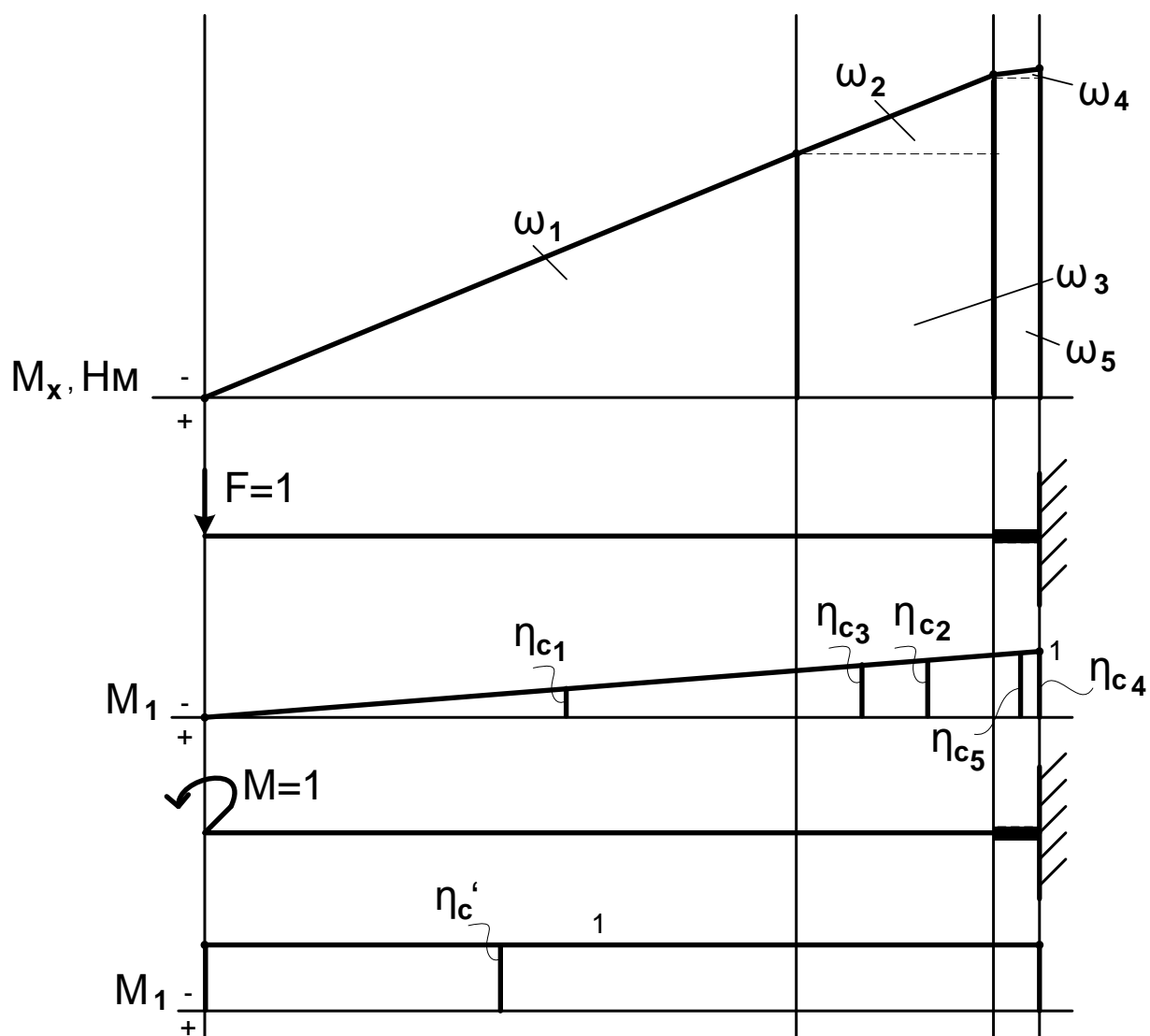


Рисунок 4.2. Расчетная схема оси штыревой установки на жесткость

3.2.3 Проверка выносливости

Коэффициент запаса прочности по нормальным напряжениям S_σ [1, с.596] :

$$S_\sigma = \frac{\sigma - 1}{(K_\sigma)_d \times \sigma_a} \geq [S_\sigma], \quad (30)$$

где $\sigma - 1$ – предел выносливости материала оси при симметричном цикле нагружений, МПа, [1, с.583]

$$\sigma - 1 = 0,4 \times \sigma_\sigma \quad (31)$$

$$\sigma - 1 = 0,4 \times 2000 = 800 \text{ МПа,}$$

где σ_a – амплитуда колебаний напряжения, МПа

$$\sigma_a = \sigma_{max} = 293 \text{ МПа}$$

$(K_\sigma)_d$ – эффективный коэффициент концентрации напряжений для детали [1, с.596]

$$(K_\sigma)_d = \frac{K_\sigma}{\varepsilon_\sigma \times \beta}, \quad (32)$$

где K_σ - эффективный коэффициент концентрации при изгибе [1, с.596]

ε_σ – масштабный фактор [1, с.587, рис.309], для легированной стали и $d = d_p = 95$ мм, $\varepsilon_\sigma = 0,55$;

β – коэффициент, учитывающий качество обработки поверхности, [1, с.589, рис.373]

$$\beta = 0,84$$

$$K_\sigma = 1 + q_\sigma \times (\alpha_\sigma - 1), \quad (33)$$

где q_σ – коэффициент чувствительности материала и концентрации напряжений [1,с.586], для конструкционной легированной стали $q_\sigma = 0,7$;

α_σ - коэффициент концентрации напряжения [1,с.157], для галтели при $\frac{r}{d_k} = \frac{30}{97} = 0,31$

находим $\alpha_\sigma = 1,18$

$$K_\sigma = 1 + 0,7 \times (1,18 - 1) = 1,13$$

$$(K_\sigma)_d = \frac{1,13}{0,55 \times 0,84} = 2,44$$

$$S_\sigma = \frac{800}{2,44 \times 293} = 1,12$$

$$S_\sigma = 1,12 < [S_\sigma] = 1,3$$

Вывод: выносливость не обеспечена.

Следовательно, для повышения запаса прочности необходимо полировать поверхность оси в опасном сечении.

Тогда получим:

$$\text{По [1, с.589, рис.373] } \beta=1; (K_{\sigma})_{\sigma} = \frac{1,13}{0,55 \times 1} = 2,05 ; S_{\sigma} = \frac{800}{2,05 \times 293} = 1,33$$

$$S_{\sigma} = 1,33 > [S_{\sigma}] = 1,3$$

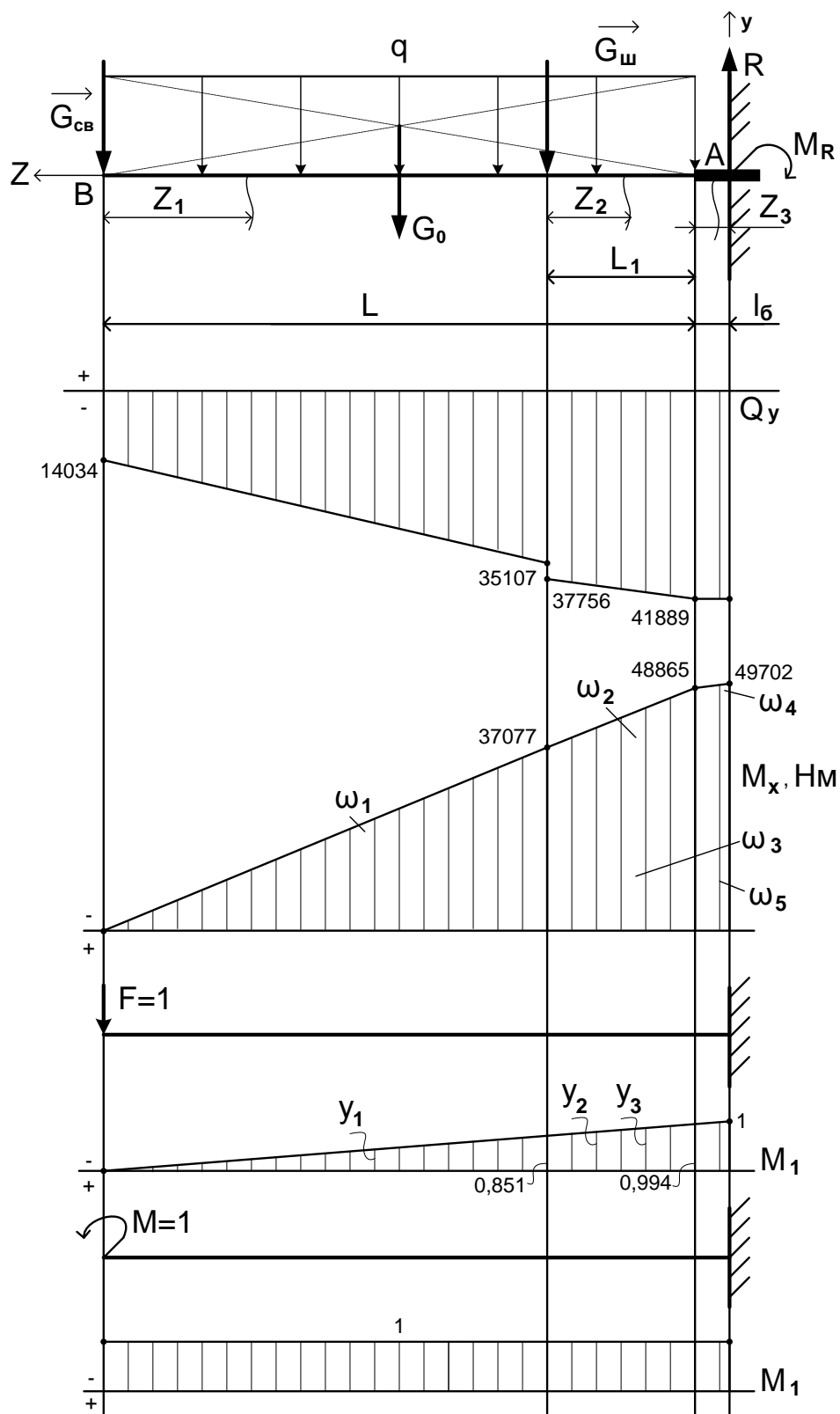


Рисунок 4.3. Расчётная схема нагружения оси штыревой установки

3.2.4 Проверка на упругие колебания

Принимаем рулон за точечную массу $m = 4000$ кг

Собственная частота f , Гц [1, с.561, т.49] :

$$f = \frac{1}{(2 \times \pi)} \times \sqrt{\frac{3 \times I_x \times E}{m \times l^3}}, \quad (34)$$

где I_x - осевой момент инерции сечения, $I_x = I_{x_1} = 4 \times 10^{-6} \text{ м}^4$;

l - расстояние до центра тяжести, м

$$l = \frac{L}{2} = \frac{1,805}{2} = 0,9025 \text{ м}$$

$$f = \frac{1}{2 \times 3,14} \times \sqrt{\frac{3 \times 1,95 \times 10^{11} \times 4 \times 10^{-6}}{4000 \times 0,9025^3}} = 4,5 \text{ Гц}$$

Период колебаний T , с [1, с.514]

$$T = \frac{1}{f} \quad (35)$$

$$T = \frac{1}{4,5} = 0,22 \text{ с}$$

Количество колебаний в минуту n , мин^{-1} [3, с.619] :

$$n = 60 / T \quad (36)$$

$$n = \frac{60}{0,22} = 270 \text{ мин}^{-1}$$

Статическое перемещение y_{cm} , см [3, с.619] :

$$y_{cm} = \left(\frac{300}{n}\right)^2 \quad (37)$$

$$y_{cm} = \left(\frac{300}{270}\right)^2 = 1,2 \text{ см} = 0,012 \text{ м}$$

Круговая частота ω , с^{-1} [3, с.620] :

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{y_{cm}}} \quad (38)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{9,81}{0,012}} = 28 \text{ с}^{-1}$$

Амплитуда колебаний A , м [3, с.620] :

$$A = \sqrt{y_0^2 + \frac{v_0^2}{\omega^2}}, \quad (39)$$

где y_0 – начальная координата груза, м;

принимая $y_0 = [y] = 0,01815$ м;

v_0 – начальная скорость груза, м/с ;

из состояния покоя $v_0 = 0$ м/с.

Тогда получим :

$$A = y_0 = [y] = 0,01815 \text{ м}$$

Коэффициент динамичности при колебаниях K_δ [3, с.620] :

$$K_\delta = 1 + \frac{A}{y_{ст.мах}}, \quad (40)$$

где $y_{ст.мах} = y_{ст} = 0,012$ м

$$K_\delta = 1 + \frac{0,01815}{0,012} = 2,5125$$

Условие прочности [3, с.620] :

$$\sigma_\delta = K_\sigma \times \sigma_{ст} \leq [\sigma], \quad (41)$$

где $\sigma_{ст}$ – статическое напряжение изгиба, МПа

$$\sigma_{ст} = \sigma_{мах} = 293 \text{ МПа}$$

$$\sigma_\delta = 2,5125 \times 293 = 736 \text{ МПа}$$

$$\sigma_\delta = 736 \text{ МПа} < [\sigma] = 1538 \text{ МПа}$$

Вывод: прочность при динамических упругих колебаниях обеспечена.

Коэффициент запаса динамичности S_δ :

$$S_\delta = \frac{\sigma_\epsilon}{\sigma_\delta} \quad (42)$$

$$S_\delta = \frac{2000}{736} = 2,72$$

Срок службы захвата $T_{сл}$, лет:

$$T_{сл} = \frac{N}{N_{ц}}, \quad (43)$$

где N – допускаемое число нагружений (колебаний), для стали $N = 10^7$;

$N_{ц}$ – фактическое число нагружений захвата в год ,

$$N_{ц} = n \times \tau \times n_p, \quad (44)$$

где τ – время погрузки 1 рулона, $\tau = 30$ мин;

n_p - количество рулонов, отгружаемых в год, $n_p=100$;

$$N_{ц} = 270 \times 30 \times 100 = 810000$$

$$T_{сл} = \frac{10^7}{810000} = 12,35 \text{ лет}$$

3.2.5 Проверка прочности буртика

Проверку производим для рулона бумаги в вертикальном (максимально нагруженном) состоянии.

Условие прочности при срезе буртика [4, с.71] :

$$\tau_{ср.мах} = \frac{Q}{A_{ср}} \leq [\tau_{ср}], \quad (45)$$

где Q – поперечная (сдвигающая) сила, Н ;

$$Q = R = 41889 \text{ Н ;}$$

$A_{ср}$ - расчетная площадь среза, $м^2$

$$A_{ср} = \pi \times d_3 \times l_{б} \quad (46)$$

$$A_{ср} = 3,14 \times 0,12 \times 0,01 = 0,0377 \text{ м}^2$$

$[\tau_{ср}]$ – допускаемое напряжение среза, МПа [1, с.226] :

$$[\tau_{ср}] = 0,6 \times [\sigma_p], \quad (47)$$

где $[\sigma_p]$ – допускаемое напряжение на растяжение материала буртика, МПа [1, с.164]

$$[\sigma_p] = \frac{\sigma_g}{S_g}, \quad (48)$$

где S_g - коэффициент запаса прочности , $S_g = 2,4 \dots 2,6$;

$$[\sigma_p] = \frac{2000}{2,5} = 800 \text{ МПа}$$

$$[\tau_{ср}] = 0,6 \times 800 = 480 \text{ МПа}$$

$$\tau_{ср.мах} = \frac{41889}{0,0377} = 11 \times 10^3 \text{ Па} = 11 \text{ МПа}$$

$$\tau_{ср.мах} = 11 \text{ МПа} < [\tau_{ср}] = 480 \text{ МПа}$$

Вывод: прочность на срез буртика обеспечена.

Условие прочности на смятие буртика [4, с.71] :

$$\sigma_{см.мах} = \frac{F}{A_{см}} \leq [\sigma_{см}], \quad (49)$$

где F – сила, вызывающая смятие, Н

$$F = R = 41889 \text{ Н;}$$

$A_{см}$ – расчетная площадь смятия, $м^2$

$$A_{cm} = \pi \times \frac{(d_6^2 - d_3^2)}{4} \quad (50)$$

$$A_{cm} = 3,14 \times \frac{(0,126^2 - 0,12^2)}{4} = 0,00002826 \text{ м}^2$$

$[\sigma_{cm}]$ – допускаемое напряжение смятия МПа [1, с.228] ;

$$[\sigma_{cm}] = (2 \dots 2,5) \times [\sigma_c], \quad (51)$$

где $[\sigma_c]$ – допускаемое напряжение на сжатие материала буртика, $[\sigma_c] = [\sigma_p] = 800$ МПа

$$[\sigma_{cm}] = 2 \times 800 = 1600 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{cm.max} = \frac{41889}{0,00002826} = 1482 \times 10^6 \text{ Па} = 1482 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{cm.max} = 1482 \text{ МПа} < [\sigma_{cm}] = 1600 \text{ МПа}$$

Вывод: прочность на смятие буртика обеспечена.

Из расчетов буртика можно заключить, что любой угол наклона оси штыревой установки обеспечивает прочность буртика оси при неподвижном рулоне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Учебная литература:

1. Аркуша А.И. Руководство к решению задач по теоретической механике: учебное пособие для техникумов А.И. Аркуша, 2001-284с.
2. Варейна Л.И. Техническая механика [текст]: Учебник для СПО / Л.И.Варейна, М.М.Краснов. – 7-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2013.-352с.
3. Зайцев С.А. Метрология, стандартизация и сертификация в машиностроении [текст]: учебник для СПО / С.А. Зайцев, А.Н. Толстов и др. – М.: Издательский центр «Академия», 2011-288с.
4. Лукьянов А.М. Лукьянов М.А. Техническая механика: учебник. Издательство УМЦ ЖДТ (Маршрут), 2014 -712с.
5. Олофинская В.П. Детали машин Краткий курс и тестовые задания [текст]: учебное пособие / В.П. Олофинская – М.: Форум, 2010.-208с.
6. Хруничева Т.В. Детали машин: типовые расчеты на прочность [текст]: учебное пособие / Т.В.Хруничева. – М.: ИНФРА-М, 2010-224с
7. Шестопалов К.К. Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование [текст]: Учебник для СПО / К.К.Шестопалов – М.: Издательский центр «Академия», 2011-320с
8. Эрдеди А.А. Техническая механика: учебник для студ.учреждений среднего профессионального образования / А.А.Эрдеди, Н.А.Эрдеди. – М.: Издательский центр «Академия», 2014.-528с.

Интернет – ресурсы:

1. <https://drive.google.com/file/d/0B9EKdVWfZEfoYjViYTk0N2EtOTE3OC00ZTVILTgvMDYtN2M0MGRjM2E1NDNk/view?pli=1>
2. <https://drive.google.com/file/d/0B9EKdVWfZEfoMTQ5NDIIZDYtZjFIYy00ZDcxLWI0ODEtMjE5M2ZkMzA1ZTA2/view>