

РОСЖЕЛДОР
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ростовский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО РГУПС)

Ю.П. Булавин, Ю.Я. Бутенко

КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ВАГОНОВ

Учебно-методическое пособие
(к самостоятельной работе студентов, часть 2)

Ростов-на-Дону

2017

УДК 629.463.3(075.8)

Рецензент – кандидат технических наук, доцент В.Н. Кротов

Булавин, Ю.П.

Конструирование и расчет вагонов: Учебно-методическое пособие / Ю.П. Булавин, Ю.Я Бутенко, ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов н/Д, 2017. – с. –Библиогр.: с.

Содержит рекомендации к выполнению расчетно-графических работ по рабочей программе дисциплины «Конструирование и расчет вагонов» код 30541, список литературы. Учебно-методическое пособие призвано активизировать самостоятельную работу студентов, способствовать более глубокому изучению дисциплины.

Предназначены для специальности «Подвижной состав железных дорог» специализация «Вагоны»

Одобрено к изданию кафедрой «Вагоны и вагонное хозяйство».

© Булавин Ю.П.

Бутенко Ю.Я., 2017

© ФГБОУ ВО РГУПС, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	4
1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЕКТИРУЕМОЙ ЦИСТЕРНЫ	4
1.1 Определение грузоподъемности цистерны	5
1.2 Определение массы тары цистерны	6
1.3 Расчет котла	7
1.4 Определение линейных размеров цистерны	10
2 РАСЧЕТЫ КОТЛА НА ПРОЧНОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ	11
2.1 Расчет котла на внутреннее давление	12
2.2 Расчет котла на вертикальные нагрузки	16
2.3 Суммарные напряжения в оболочке котла	20
2.4 Расчет цилиндрической оболочки котла на устойчивость	21
2.5 Расчет котла безрамной цистерны на продольные усилия	23
3 РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ КРЕПЛЕНИЯ КОТЛА К РАМЕ	25
3.1 Расчет крепления котла к раме в средней части	26
3.2 Расчет стяжных хомутов	28
4 КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ЯЗЫКУ ПРОГРАММИРОВАНИЯ РУТНОН.....	
5 ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ РАЗДЕЛОВ.....	
5.1 Определение грузоподъемности цистерны.....	
5.2 Определение массы тары цистерны.....	
5.3 Расчет котла.....	
5.4 Определение линейных размеров цистерны.....	
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Железнодорожные цистерны, предназначенные для перевозки грузов нефтяной, химической, газовой, пищевой, строительной и оборонной промышленности, составляют в настоящее время около 15% всего вагонного парка страны. Они широко применяются для перевозки жидких, газообразных, пылевидных и затвердевающих грузов, имеющих плотность от 0,5 до 1,5 т/м (более 350 наименований). Такое разнообразие грузов обуславливает существенные видоизменения конструкций цистерн. Различие физико-химических свойств грузов обусловили создание нескольких десятков типов цистерн, которые разделяются на цистерны общего назначения (нефтебензиновые) и специальные - для кислот и других химических продуктов, сжиженных газов, пищевых продуктов, порошкообразных и затвердевающих грузов.

Производство четырехосных цистерн по всей номенклатуре базируется на платформе с базой 7800 мм и длиной по осям сцепления автосцепок 12020 мм, что является фактором, сдерживающим повышение технико-экономических показателей вагонов-цистерн. Необходимы новые технические решения, разработка и создание перспективных конструкций цистерн с повышенными осевыми и погонными нагрузками.

Целью курсового проектирования является разработка конструкции цистерны с улучшенными по сравнению с эксплуатируемыми на сети железных дорог страны вагонами технико-экономическими параметрами и усовершенствование отдельных сборочных узлов или спроектированной цистерны.

1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЕКТИРУЕМОЙ ЦИСТЕРНЫ

Выбор технико-экономических параметров проектируемых цистерн сводится к определению их оптимальных значений. В первую очередь, следует выбрать модель вагона-прототипа (серийная или опытная модель цистерны данного типа), что необходимо для использования и сравнения в дальнейшем параметров проектируемой цистерны с существующей. Модели вагонов-прототипов и значения некоторых параметров рекомендуется выбирать в [8,9].

1.1 Определение грузоподъемности цистерны

Заданием на техническое проектирование нового вагона устанавливаются допускаемые величины статической нагрузки от колесной пары на рельсы (осевая нагрузка), статической нагрузки на 1 м пути (погонная нагрузка), габарит и др.

Грузоподъемность цистерны, определяемая величиной допускаемой осевой нагрузки, составляет

$$P = \frac{P_0 \cdot m_0}{(1 + k_T) \cdot g}, \quad (1.1)$$

где P_0 – допускаемая осевая нагрузка;

m_0 – число осей цистерны;

k_T – технический коэффициент тары;

g – ускорение свободного падения, $g=9,81$ м/с².

При расчете технико-экономических параметров допускается применение технической системы единиц, в которой грузоподъемность и тара измеряются в килограммах силы (кг) или тоннах силы (т). При выполнении прочностных расчетов грузоподъемность переводится в грузоподъемную силу, выражаемую в ньютонах (Н), килоньютонах (кН) или меганьютонах (МН).

Технический коэффициент тары проектируемой цистерны следует принимать по паспортным данным серийно выпускаемой модели цистерны

аналогичного типа с корректировкой на вносимые изменения

$$k_T = k_{TB} k_M k_L, \quad (1.2)$$

где k_{TB} – технический коэффициент тары базовой (серийной) цистерны;

$$k_{TB} = \frac{T^{\delta}}{P^{\delta}}, \quad (1.3)$$

где T^{δ} – тара вагона-прототипа;

P^{δ} – грузоподъёмность вагона-прототипа.

k_M - коэффициент, учитывающий влияние применяемого материала на изменение (уменьшение) тары цистерны;

k_L - коэффициент, учитывающий изменение линейных размеров элементов цистерны.

Снижение технического коэффициента тары проектируемой цистерны на 1 - 3% является вполне удовлетворительным.

1.2 Определение массы тары цистерны

Тара цистерны определяется по формуле

$$T = k_T P; \quad (1.4)$$

Масса брутто вагона

$$m_{op} = P + T; \quad (1.5)$$

Масса котла с примыкающими частями (лестницы, помосты, сливноналивные устройства и др.)

$$m_{\kappa} = T - m_{пл}, \quad (1.6)$$

где $m_{пл}$ – масса платформы, устанавливаемой под котел цистерны; для унифицированной платформы $m_{пл} = 15$ т.

Масса котла безрамной цистерны

$$m_{\kappa} = T - 2 \cdot m_T - 2 \cdot m_a - 2 \cdot m_{кч} - 2 \cdot m_{ТО}, \quad (1.7)$$

где m_T – масса тележки вагона, для тележки модели 18-100 (ЦНИИ-ХЗ)

$m_T = 4,85$ т, для 4-осной тележки модели 18-101 $m_T = 12$ т;

m_a – масса автосцепного устройства одной стороны вагона, для 4-осной цистерны $m_a = 0,5$ т, для 8-осной – $m_a = 0,6$ т;

$m_{кч}$ – масса консольной части (опора котла);

$m_{ТО}$ – масса тормозного оборудования, для 4-осной цистерны $m_{ТО} = 0,6$ т, для 8-осной $m_{ТО} = 0,8$ т.

Масса брутто котла

$$m_{бр.к} = m_{бр} - m_{пл} . \quad (1.8)$$

1.3 Расчёт размеров котла

Котел цистерны обычно имеет цилиндрическую форму поперечного сечения. Однако для лучшего использования верхней части габарита может быть применена эллиптическая форма сечения. Рациональна также конструкция, имеющая конические консольные части. Опущенная средняя часть броневых листов этой конструкции способствует более полному сливу жидкого груза. С этой же целью может быть использована форма котла с различными размерами по диаметру, уменьшенными в консольных частях.

Расположение наружных лестниц на цистерне при проектировании также влияет на полноту использования габарита подвижного состава. Если наружные лестницы размещены в средней части котла, то внутренний диаметр котла уменьшается. При переносе лестниц в торцевые части диаметр котла можно увеличить в том же габаритном очертании, что позволяет уменьшить длину цистерны при том же объеме и повысить погонную нагрузку.

Полный объем котла может быть определен из зависимости

$$V = P \mathcal{G}_y k_t, \quad (1.9)$$

где \mathcal{G}_y – удельный оптимальный объем. Для универсальных цистерн: для перевозки бензина $\mathcal{G}_y = 1,35$ м³/т, для светлых нефтепродуктов $\mathcal{G}_y = 1,2$ м³/т и для вязких нефтепродуктов $\mathcal{G}_y = 1,08$ м³/т;

k_t – коэффициент, учитывающий увеличение объема при расширении груза от повышения температуры. Для универсальных нефтебензиновых цистерн $k_t = 1,02$.

Объем котла состоит из объемов цилиндрической части, двух днищ и люка (рисунок 1)

$$V = V_u + 2V_d + V_l, \quad (1.10)$$

где V_u – объем цилиндрической части котла;

V_d – объем днища;

V_l – объем люка.

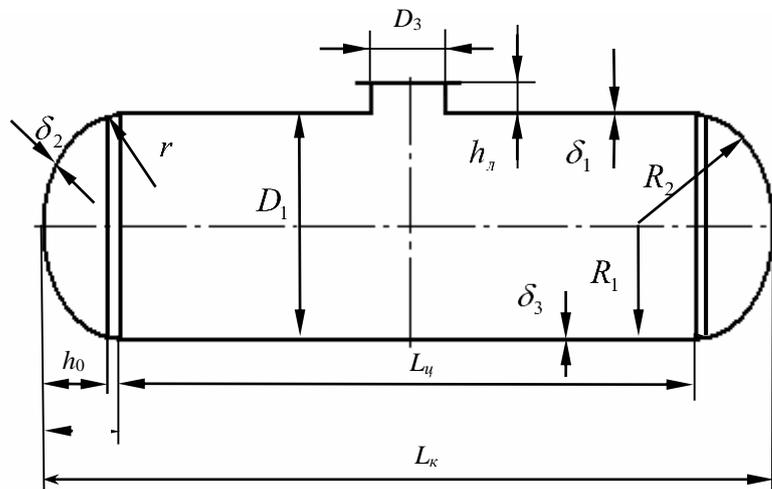


Рисунок 1 – Схема котла цистерны

Для вычисления этих объемов необходимо сначала определить внутренний диаметр котла D_1 и внутренний радиус днища R_2 . Внутренний диаметр котла D_1 выбирается исходя из габарита подвижного состава, плотности перевозимого груза и целесообразности сохранения типовой рамы. В 4-осных цистернах типовая унифицированная рама имеет длину $2L_p = 10800$ мм и базу $2l = 7800$ мм.

Внутренний диаметр котла 4-осной цистерны может быть определен из зависимости

$$D_1 = 0,7\sqrt[3]{V}, \quad (1.11)$$

где V – полный объем котла.

Полученная величина D_1 должна быть округлена до ближайшего типового диаметра котла: 2000, 2200, 2400, 2600, 2800, 3000, 3200 мм.

Объем днища состоит из объемов овалоидной и цилиндрической частей

$$V_d = V_0 + V_{ц0}, \quad (1.12)$$

где V_0 – объем овалоидной части, определяемый по формуле

$$V_0 = \frac{1}{3} \pi \cdot h_0^2 \cdot (3R_2 - h_0), \quad (1.13)$$

где R_2 - внутренний радиус днища, $R_2 = (0,5... 1,1) \cdot D_1$;

h_0 – внутренняя высота овалоидной части днища, $h_0 = 0,48... 0,53$ м.

$V_{ц0}$ - объем цилиндрической части днища, определяемый по формуле

$$V_{ц0} = \frac{\pi D_1^2}{4} h_y, \quad (1.14)$$

где h_y – высота цилиндрической части днища, $h_y = 0,060... 0,080$ м.

Объем люка

$$V_l = \frac{\pi \cdot D_3^2}{4} h_x, \quad (1.15)$$

где D_3 – диаметр люка, для универсальных цистерн $D_3 = 0,57$ м, для кислотных $D_3 = 0,43$ м;

h_x – высота люка, $h_x = 0,15... 0,25$ м.

Внутренняя длина котла

$$L_k = L_y + 2h_d, \quad (1.16)$$

где h_d – высота днища.

Длина цилиндрической части котла

$$L_y = \frac{4 \cdot (V - 2V_d - V_l)}{\pi \cdot D_1^2}, \quad (1.17)$$

Высота днища

$$h_d = h_0 + h_y, \quad (1.18)$$

где h_0 – внутренняя высота овалоидной части днища;

h_y – высота цилиндрической части днища.

1.4 Определение линейных размеров цистерны

Наружная длина котла

$$L_{HK} = L_k + 2\delta_2, \quad (1.19)$$

где δ_2 – толщина днища.

Длина рамы по концевым балкам

$$2 \cdot L_p = L_{HK} + 2 \cdot a_T, \quad (1.20)$$

где a_T – расстояние от наружной поверхности котла до лобового листа концевой балки; $a_T = -250 \dots +425$ мм. У 8-осных цистерн котел выступает за раму до 250 мм, а у 4-осных он или равен длине рамы, или не доходит до лобового листа от 90 до 425 мм.

База цистерны вычисляется по формуле

$$2L_6 = \frac{2L_p}{\sqrt{2}}. \quad (1.21)$$

Длина консольной части

$$2l_k = \frac{2L_p - 2L_6}{2}. \quad (2.22)$$

Если длина рамы проектируемой цистерны получается больше, чем у унифицированной, т.е. более 10800 мм, то в этом случае необходимо принять $2l_k = 1500$ мм, а длину рамы равной наружной длине котла, округлив ее в пределах от 0 до -250 мм, получив, таким образом, базу цистерны равной, например, $2l = 7800, 8200, 8400, 8600$ мм и т.д.

Длина цистерны по осям сцепления автосцепок

$$2L_{ac} = 2L_p + 2a_{ac}, \quad (1.23)$$

где a_{ac} – вылет автосцепки, $a_{ac} = 0,61$ м.

Известно, что сокращение межвагонных промежутков приводит к

улучшению характеристик вагона, в том числе основных из них - к повышению погонной нагрузки и снижению транспортных издержек. В цистернах более просто, по сравнению с другими типами вагонов, можно уменьшить расстояние между соседними днищами котла до 500 мм, заглубив автосцепные устройства, при этом можно принять $a_{ac} = 0,43$ м.

Полная высота цистерны

$$H = H_{оп} + D_H + h_{лж}, \quad (1.24)$$

где $H_{оп}$ – расстояние от головки рельсов до нижней опорной точки котла на раму; для 4-осных цистерн $H_{оп} = 1290$ мм, для 8-осных цистерн $H_{оп} = 1134$ мм;

$h_{лж}$ – высота люка с крышкой, $h_{лж} = 0,3$ м;

D_H – наружный диаметр котла,

$$D_H = D_1 + \delta_1 + \delta_3, \quad (1.25)$$

где D_1 – внутренний диаметр котла;

δ_1 – толщина верхнего листа котла;

δ_2 – толщина нижнего листа котла.

Величина погонной нагрузки спроектированной цистерны

$$q = \frac{P \cdot (1 + k_T)}{2 \cdot L_{ac}}. \quad (1.26)$$

Полученное значение погонной нагрузки не должно превышать допускаемой по заданию.

2 РАСЧЕТ КОТЛА НА ПРОЧНОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ

Котлы цистерн рассчитываются на силу внутреннего давления, вертикальные статические и динамические силы, а котлы безрамных цистерн - дополнительно еще и на продольные силы по I и III режимам нагружения [2]. Цилиндрическая оболочка котла проверяется на устойчивость при внешнем давлении.

2.1 Расчет котла на внутреннее давление

Котел рассчитывается на максимальное внутреннее давление, которое определяется как сумма давления паров жидкости или газа p_1 и давления p_2 , создаваемого гидравлическими ударами жидкости, обусловленных продольными силами инерции, т.е. $p = p_1 + p_2$.

Расчетная величина давления p_1 паров жидкости определяется по регулировке предохранительных клапанов и, в соответствии с техническими требованиями к цистерне данного типа, принимается:

- для цистерн общего назначения $p_1 = 0,15$ МПа;
- для кислотных цистерн $p_1 = (0,25 \dots 0,3)$ МПа.

Наибольшая величина расчетного давления p_2 , создаваемая гидравлическим ударом в зоне днища, определяется из выражения

$$p_2 = \frac{T_{II}}{\pi R_1^2}, \quad (2.1)$$

где T_{II} – сила инерции жидкости;

R_1 – внутренний радиус цилиндрической части котла.

Сила инерции жидкости

$$T_{II} = T_{I,III} \frac{m_{жс}}{m_{оп}}, \quad (2.2)$$

где $T_{I,III}$ – продольная сила, действующая вдоль оси автосцепки, для I режима

$T_I = 3$ МН, для III режима $T_{III} = 1$ МН;

$m_{жс}$ – масса груза.

Достигая наибольшего значения вблизи днища, воспринимающего силу инерции T_{II} , это давление, в соответствии с нормами расчета вагонов на прочность, убывает по линейному закону до нуля у противоположного днища. Следовательно, расчетное давление p_{2x} , в любом сечении котла, расположенном на расстоянии x от сечения у днища с максимальным значением p_2 , определяется выражением

$$p_{2x} = \frac{L_{ц} - x}{L_{ц}} p_2; \quad (2.3)$$

В котле цистерны, подверженном действию внутреннего давления p , возникают напряжения, которые могут быть вычислены по формулам безмоментной теории оболочек. Такие оболочки, не испытывающие изгиба, называют мембранами, а напряжения в них, определяемые без учета изгиба, - мембранными напряжениями. Расчетная схема котла на внутреннее давление представлена на рисунке 2.

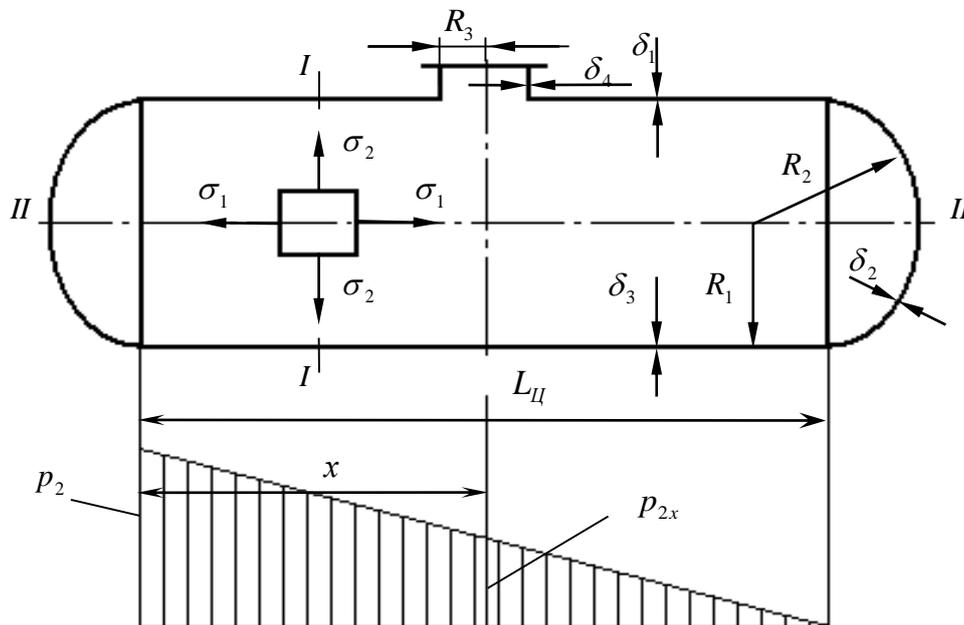


Рисунок 2 – Расчетная схема котла на внутреннее давление

Мембранные напряжения в расчетных сечениях котла составляют:

– в поперечном сечении I – I (меридиональные)

$$\sigma_1 = \frac{pR_1}{2\delta_1^{расч}}; \quad (2.4)$$

– в продольном сечении II-II (экваториальные)

$$\sigma_2 = \frac{pR_1}{\delta_1^{расч}}; \quad (2.5)$$

– в сечении III-III (в месте примыкания цилиндрической части котла к днищу)

$$\sigma_3 = \frac{1}{0,26 + 6,2 \frac{r}{R_2} - 0,23 \frac{r^2}{R_2^2}} \cdot \frac{p \cdot R_2}{2\delta_2^{расч}}, \text{ при } \frac{r}{R_2} = 0,01 \dots 0,12; \quad (2.6)$$

$$\sigma_3 = \frac{p \cdot R_2}{2\delta_2^{расч}} \left(1,71 - \frac{2r}{R_2} \right), \text{ при } \frac{r}{R_2} = 0,13 \dots 0,25. \quad (2.7)$$

– в оболочке сферического днища

$$\sigma_4 = \frac{p \cdot R_2}{2\delta_2^{расч}}, \quad (2.8)$$

где $\delta_1^{расч}$ – расчетная толщина стенки цилиндрической части котла, (берется на 1 мм меньше фактической);

$\delta_2^{расч}$ – расчетная толщина днища, (берется на 2 мм меньше фактической);

R_2 – радиус днища;

r – радиус переходной зоны от цилиндрической части к днищу.

Помимо этого, в отдельных частях котла возникают дополнительные напряжения:

– в зоне приварки люка к котлу, обусловленные изгибом листов котла и горловины люка;

– в стыковых швах при сварке листов различной толщины.

Эти напряжения суммируются с мембранными напряжениями, определенными по формулам (2.4) и (2.5).

Изгибающий момент для листов котла и горловины люка по средней образующей

$$M = -p_{расч} \frac{\beta_1^2 \cdot k_3 \cdot R_3 - 0,85\beta_3 \cdot k_1}{2(2\beta_1^2 \cdot k_3 + \beta_3^3 \cdot k_1)}, \quad (2.9)$$

где $p_{расч}$ – расчетное давление, $p_{расч} = p_1 + 0,5p_2$;

β_1, β_2 – коэффициенты затухания соответственно – для цилиндрической оболочки котла и горловины люка, определяемые по зависимости

$$\beta_1 = \frac{1,287}{\sqrt{R_i \cdot \sigma_i}}, \quad (2.10)$$

где R_i – внутренний радиус;

R_1 – радиус цилиндрической части котла – при определении β_1 ; R_3 – радиус горловины люка – при определении β_3 ;

σ_i – толщина листа; σ_1 – толщина верхнего листа - при определении β_1 ;

σ_3 – толщина горловины люка при определении β_3 ;

k_1, k_3 – коэффициенты упругости основания соответственно цилиндрической оболочки и горловины люка

$$k_i = \frac{E \cdot \delta_i^2}{R_i^2}. \quad (2.11)$$

Дополнительные меридиональные напряжения в цилиндрической части котла в месте приварки люка

$$\sigma_{ок} = \frac{6 \cdot M}{R_i^2}. \quad (2.12)$$

Дополнительные напряжения в горловине люка

$$\sigma_{ол} = \frac{6 \cdot M}{\delta_4^2}. \quad (2.13)$$

Суммарные меридиональные напряжения в цилиндрической части котла в месте приварки люка

$$\sigma_{рк} = \sigma_2 + \sigma_{ок}, \quad (2.14)$$

а напряжения в обечайке люка

$$\sigma_{рк} = \sigma_2 + \sigma_{ок}, \quad (2.15)$$

В эти формулы следует подставлять значения R_i и δ_i котла, если определяются напряжения в верхнем листе котла в месте приварки люка и значения R_3 и δ_3 – при определении основных напряжений в люке.

Дополнительные экваториальные напряжения в котле, создаваемые стыковыми швами при сварке листов различной толщины, определяются по формуле'

$$\sigma_{\partial s} = \pm \frac{3\sigma_2}{\delta_2} \cdot \frac{\delta^\delta - \delta^m}{\frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_2}} \cdot \frac{1}{\beta_i}, \quad (i=1,2), \quad (2.16)$$

где δ^δ – большая толщина стыкуемого листа котла;

δ^m – меньшая толщина стыкуемого листа котла;

β_i – коэффициент, определяемый из выражения

$$\beta_i = \frac{3,3}{\delta_i} \sqrt{\frac{\sigma_i}{E}}. \quad (2.17)$$

При $i=1$ основные напряжения σ_1 и толщина листа δ_1 берутся для верхнего листа, а при $i=2$: σ_2 и δ_2 – для нижнего листа.

Экваториальным напряжениям сопутствуют дополнительные меридиональные напряжения

$$\sigma_{\partial m} = \mu \cdot \sigma_{\partial s}, \quad (2.18)$$

где μ – коэффициент Пуассона, $\mu = 0,3$.

Суммарные напряжения в месте соединения листов различной толщины:

– меридиональные

$$\sigma_{pm} = \sigma_1 + \sigma_{\partial m}; \quad (2.19)$$

– экваториальные

$$\sigma_{ps} = \sigma_2 + \sigma_{\partial s}. \quad (2.20)$$

2.2 Расчет котла на вертикальные нагрузки

Котел рассматривается как консольная, лежащая на двух опорах, балка, нагруженная равномерно- распределенной нагрузкой q (рисунок 3).

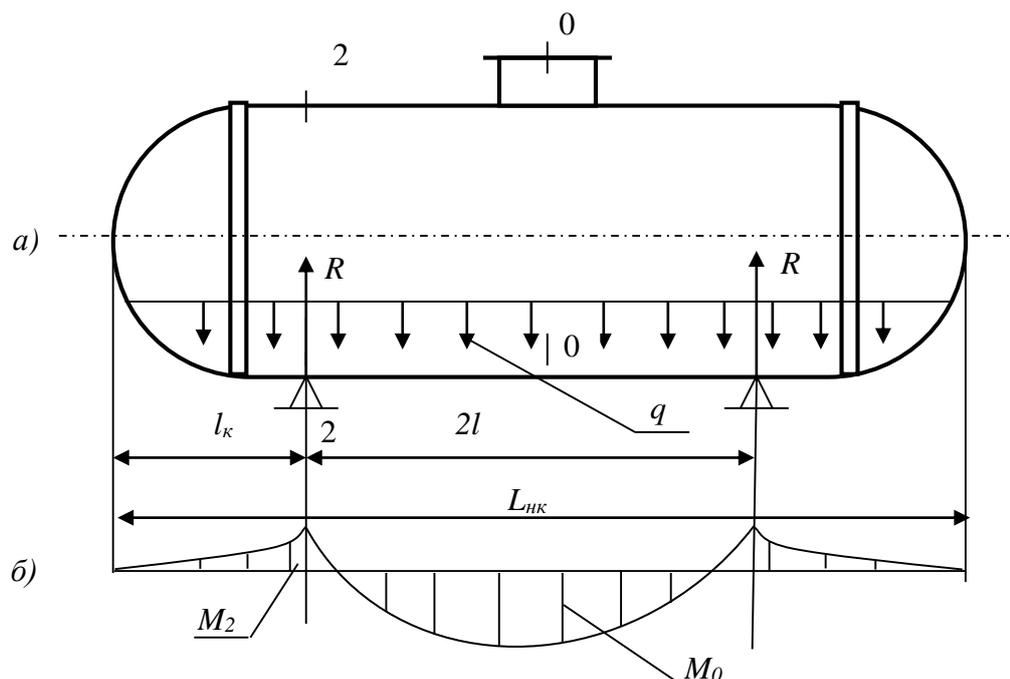


Рисунок 3 – Расчетная схема котла (а) и эпюра изгибающих моментов (б)

Интенсивность равномерно- распределенной нагрузки

$$q = \frac{m_{\text{жс}} + m_{\text{к}}}{L_{\text{НК}}} g \quad (2.21)$$

Изгибающие моменты:

$$M_0 = \frac{q(2l)^2}{8} - \frac{ql_{\text{к}}^2}{2}; \quad (2.22)$$

$$M_2 = \frac{ql_{\text{к}}^2}{2}. \quad (2.23)$$

Напряжения в расчетных сечениях 0 – 0 и 2 – 2

$$\sigma_{qi} = \pm \frac{M_i}{J_{y_i}} Z_i. \quad (2.24)$$

Момент инерции сечения котла (рисунок 4) относительно нейтральной оси

$$J_{y_i} = \sum_{i=1}^n J_i + \sum_{i=1}^n F_i Z_i^2 - Z_0 \sum_{i=1}^n F_i Z_i, \quad (2.25)$$

где J_i – момент инерции i – го элемента относительно собственной нейтральной

оси;

F_i – площадь поперечного сечения i – го элемента;

Z_i – расстояние от центра тяжести i – го элемента до произвольно выбранной оси.

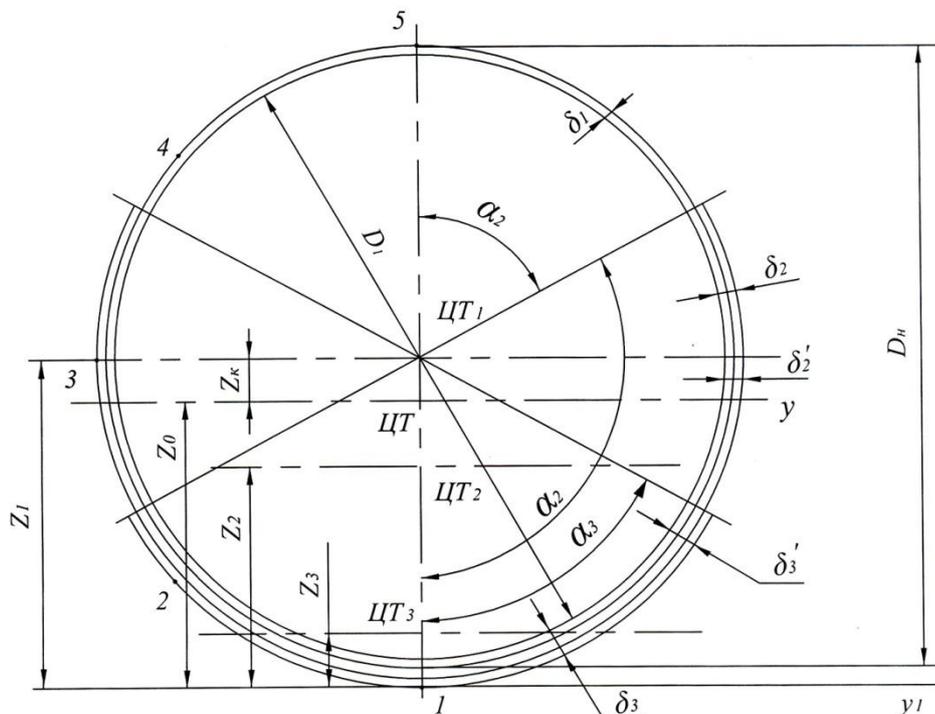


Рисунок 4 – Сечение котла цистерны

Площади поперечных сечений элементов котла:

– 1 – го элемента (кольца)

$$F_1 = \pi D_n \delta_1; \quad (2.26)$$

– 2 – го элемента

$$F_2 = \frac{\pi \alpha_2}{180} (D_n + 2\delta_2') \delta_2; \quad (2.27)$$

– 3 – го элемента

$$F_3 = \frac{\pi \alpha_3}{180} (D_n + 2\delta_2' + 2\delta_3') \delta_3; \quad (2.28)$$

Координаты центра тяжести элементов сечения котла относительно оси y_1

:

– 1 – го элемента

$$Z_1 = \frac{D_n}{2} + \delta'_2 + \delta'_3; \quad (2.29)$$

– 2 – го элемента

$$Z_2 = \left(\frac{D_n}{2} + \delta'_2 \right) \left[1 - \frac{\sin \alpha_2}{\pi \alpha_2} \cdot 180 \right] + \delta'_3; \quad (2.30)$$

– 3 – го элемента

$$Z_3 = \left(\frac{D_n}{2} + \delta'_2 + \delta'_3 \right) \left[1 - \frac{\sin \alpha_3}{\pi \alpha_3} \cdot 180 \right]; \quad (2.31)$$

Момент инерции элементов сечений котла относительно собственных центральных осей:

- 1 – го элемента (кольца)

$$J_1 = \frac{\pi D_n^3}{8} \delta_1; \quad (2.32)$$

– 2 – го элемента

$$J_2 = \frac{(D_n + 2\delta'_2)^3 \delta'_2}{8} \left(\frac{\pi \alpha_2}{180} - \sin \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2 \right); \quad (2.33)$$

– 3 – го элемента

$$J_3 = \frac{(D_n + 2\delta'_2 + \delta'_3)^3 \delta'_3}{8} \left(\frac{\pi \alpha_3}{180} - \sin \alpha_3 \cdot \cos \alpha_3 \right); \quad (2.34)$$

Для определения центра тяжести сечения котла и его момента инерции относительно оси у вычисление выполняется в табличной форме (таблица 1).

Таблица 1 – Геометрические характеристики элементов сечения котла

i	$F_i \cdot 10^{-4}, \text{м}^2$	$Z_i \cdot 10^{-2}, \text{м}$	$F_i \cdot Z_i \cdot 10^{-6}, \text{м}^3$	$F_i \cdot Z_{iu}^2 \cdot 10^{-8}, \text{м}^4$	$J_i \cdot 10^{-8}, \text{м}^4$
1					
2					
3					
$\sum_{i=1}^n$					

Положение координаты Z_0 центра тяжести всего сечения котла

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n F_i Z_i}{\sum_{i=1}^n F_i}; \quad (2.35)$$

2.3 Суммарные напряжения в оболочке котла

Суммарные напряжения в оболочке котла по I режиму нагружения

$$\sigma_{\text{сум}} = \sigma_p + \sigma_q \leq [\sigma]_I, \quad (2.36)$$

где σ_p – напряжение в оболочке котла от внутреннего давления;

σ_q – напряжение в оболочке котла от вертикальной статической нагрузки;

$[\sigma]_I$ – допускаемые напряжения по I режиму нагружения.

Результаты расчета заносим в таблицу 2.

Таблица 2 – Напряжения в оболочке котла при I режиме нагружения

Сечение	Точки в оболочке		Напряжения, МПа						допускаемые
	Номер точки	Под углом β_0	по поперечным площадкам			по продольным площадкам			
			от внутреннего давления	от вертикальной статической нагрузки	суммарные	от внутреннего давления	от вертикальной статической нагрузки	суммарные	
0-0	1	0							
	2	45							
	3	90							
	4	135							
	5	180							
2-2	1	0							
	2	45							
	3	90							
	4	135							
	5	180							

Суммарные напряжения в оболочке котла по III режиму нагружения

$$\sigma_{\text{сум}} = \sigma_p + \sigma_q + \sigma_{qd} \leq [\sigma]_{III}, \quad (2.37)$$

где σ_{qd} – напряжение в оболочке котла от вертикальной динамической нагрузки

$$\sigma_{qd} = \sigma_q \cdot k_{\text{дв}}; \quad (2.38)$$

$k_{\text{дв}}$ – коэффициент вертикальной динамики

$$k_{\text{дв}} = \frac{\bar{k}_{\text{дв}}}{\beta} \sqrt{\frac{4}{\pi} \ln \frac{1}{1 - P(k_{\text{дв}})}}, \quad (2.39)$$

где β – параметры распределения, для грузовых вагонов $\beta = 1,13$;

$P(k_{\text{дв}})$ – доверительная вероятность, $P(k_{\text{дв}}) = 0,97$;

$\bar{k}_{\text{дв}}$ – среднее значение коэффициента вертикальной динамики

$$\bar{k}_{\text{дв}} = a + 3,6 \cdot 10^{-4} b \frac{V_K - 55}{f_{\text{см}}}, \quad (2.40)$$

где a – коэффициент, для элементов кузова, $a = 0,05$;

b – коэффициент, учитывающий влияние числа осей m_0 в тележке или группе тележек под одним концом вагона

$$b = \frac{m_0 + 2}{2m_0}; \quad (2.41)$$

V_K – конструктивная скорость вагона;

$f_{\text{см}}$ – статический прогиб рессорного подвешивания.

Результаты расчетов заносятся в таблицу «Напряжения в оболочке котла при III режиме нагружения», форма которой соответствует таблице 2.

2.4 Расчет цилиндрической части оболочки котла на устойчивость

Потеря устойчивости цилиндрической оболочки котла может произойти результате вакуума внутри котла, возникающего при нижнем сливе жидкости или при быстром охлаждении паров жидкости после пропарки цистерн при

закрытых крышках горловин люков и одновременно неисправном предохранительно-впускном клапане. Расчет сводится к определению величины коэффициента запаса устойчивости оболочки n . Допускаемая величина $[n] \geq 1,05$.

Коэффициент запаса устойчивости оболочки котла определяется из соотношения

$$n = \frac{p_{кр}}{p_{расч}^{вн}} \geq [n], \quad (2.42)$$

где $p_{кр}$ – критическое давление;

$p_{расч}^{вн}$ – расчетная величина внешнего давления (при вакууме) для оболочки котла, $p_{расч}^{вн} = 0,05$ МПа.

Критическое давление, т.е. давление, при котором может произойти потеря устойчивости оболочки котла, определяется по формуле

$$p_{кр} = 0,6kE \frac{R_1}{L_{ц}} \left(\frac{\delta_{наим}}{R_1} \right)^{2,5}, \quad (2.43)$$

где E – модуль упругости материала оболочки котла, $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа – для углеродистой и низколегированной стали, $E = 2,0 \cdot 10^5$ МПа – для нержавеющей стали, $E = 0,7 \cdot 10^5$ МПа – для алюминиевого сплава;

$L_{ц}$ – длина цилиндрической оболочки, для котлов, подкрепленных круговыми шпангоутами – наибольшее расстояние между соседними шпангоутами;

$\delta_{наим}$ – наименьшая толщина цилиндрической оболочки;

k – коэффициент, определяемый по выражению

$$k = \frac{(1 - \alpha + \alpha \cdot t^2)^{0,25}}{1 - \alpha + \alpha \cdot t^3}, \quad (2.44)$$

где α – отношение ширины броневых листов к длине внутренней окружности поперечного сечения оболочки;

t – отношение наименьшей толщины цилиндрической оболочки котла к толщине броневых листов.

Для котлов, подкрепленных круговыми шпангоутами, дополнительно должно выполняться условие

$$J_{ш} = \frac{0,6 \cdot p \cdot L_{ш} \cdot R_{ш}^3}{E}, \quad (2.45)$$

где $J_{ш}$ – момент инерции сечения шпангоута с присоединенной частью оболочки, равной ширине шпангоута;

$L_{ш}$ – половина суммы длины двух отсеков – слева и справа от шпангоута;

$R_{ш}$ – радиус окружности, на которой лежит центр тяжести совокупных поперечных сечений шпангоутов.

Для цилиндрической оболочки котла безрамной конструкции цистерны производится проверка устойчивости от действия продольных сжимающих сил

$$n = \frac{\sigma_{кр}}{\sigma_{расч}^{ос}} = \frac{0,15 \cdot E}{\sigma_{расч}^{ос}} \cdot \frac{\delta}{R_1} \geq [n], \quad (2.46)$$

где $\sigma_{кр}$ – критическое напряжение для цилиндрической оболочки, не подкрепленной продольными элементами жесткости. Если $\sigma_{кр} > \sigma_T$, то принимается $\sigma_{кр} = \sigma_T$;

$\sigma_{расч}^{ос}$ – наибольшее расчетное осевое (экваториальное) напряжение сжатия в оболочке по I режиму.

Для совместных действий продольных сил и внешнего давления проверка устойчивости выполняется по формуле

$$n = \frac{1}{\frac{\sigma}{\sigma_{кр}} + \frac{P_{расч}^{вн}}{P_{кр}}} = 0,15 \frac{E \cdot \delta}{\sigma \cdot R_1} \cdot \frac{k}{k + 0,25 \frac{P}{\sigma} \cdot \frac{L_{ш}}{R_1} \cdot \left(\frac{R_1}{\delta}\right)^{\frac{3}{2}}} \geq [n]. \quad (2.47)$$

2.5 Расчет котла безрамной цистерны на продольные усилия

Котел безрамной цистерны, помимо рассмотренных выше нагрузок, воспринимает также продольные усилия, передаваемые ударно-тяговыми приборами. Эти усилия составляют: по I режиму $T_I = 3$ МН, по III режиму $T_{III} = 1$ МН.

Приближенный расчет на эти усилия сводится к рассмотрению котла в виде бруса, эксцентрично растянутого силой T_p или сжатого силой T_c (рисунок 5).

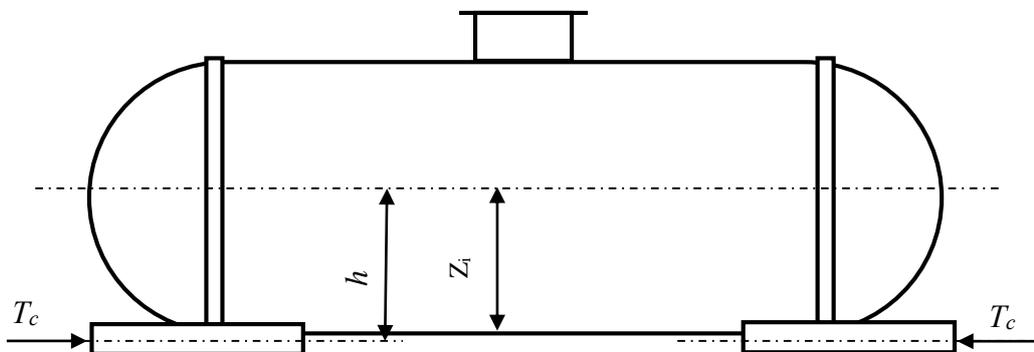


Рисунок 5 – Расчетная схема котла на продольные нагрузки

Местами приложения растягивающих сил T_p являются передние упоры, а сжимающих сил T_c - задние упоры автосцепного устройства. Действия этих сил вызывает в котле два вида деформаций: растяжение-сжатие и изгиб.

Нормальные напряжения в котле от указанных видов деформаций определяются по формулам

$$\sigma_p = \frac{T_p}{F} \pm \frac{T_p}{J_y} \cdot Z_i; \quad (2.48)$$

$$\sigma_c = \frac{T_c}{F} \pm \frac{T_p \cdot h}{J_y} \cdot Z_i, \quad (2.49)$$

где F – площадь сечения котла;

J_y – момент инерции сечения котла;

h - расстояние от оси автосцепки до нейтральной оси котла;

Z_i – расстояние от нейтральной оси котла до точки, в которой определяются напряжения.

Знак во втором слагаемом формул зависит от положения точек, в которых определяются напряжения, а также от характера действующих сил (T_p и T_c). При действии сжимающих усилий знак (+) будет в точках, расположенных выше нейтральной оси, а знак (–) – в точках, расположенных ниже нейтральной оси.

При действии растягивающих усилий – наоборот. Для сечений, удаленных от мест приложения сил T_p и T_c на расстояние, превышающее диаметр котла, площадь поперечного сечения и момент инерции берутся только для части сечения котла, расположенной ниже его центра тяжести.

Кроме напряжений, вычисляемых по формулам (2.48) и (2.49), следует учитывать местные напряжения, возникающие в зоне приложения усилий T_p и T_c к оболочке котла. Такой учет приближенно может быть выполнен путем умножения основных напряжений на коэффициент концентрации напряжений $K_\sigma = 1,2$.

Результаты расчетов напряжений заносятся в таблицы, аналогичные таблице 2, дополнив их графой «напряжения от продольных сил».

3 РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ КРЕПЛЕНИЯ КОТЛА К РАМЕ

Крепление котла к раме осуществляется в средних и концевых его частях. В средней части броневой лист котла 1 крепится к хребтовой балке 5 рамы с помощью фасонных лап 2 и опорных планок 4, соединенных между собой болтами 3 (рисунок 6).

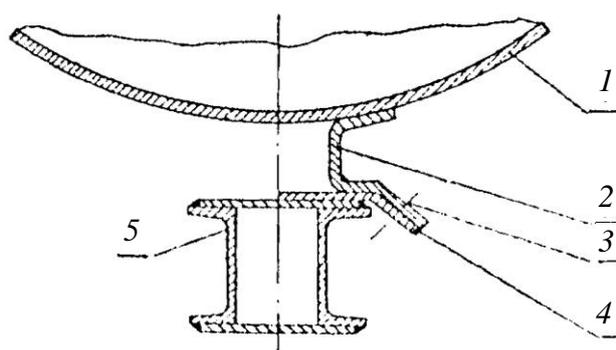


Рисунок 6 – Схема крепления котла на раме

Фасонные лапы приварены к котлу, а опорные планки – к хребтовой балке. Такая связь препятствует сдвигам котла относительно рамы при соударении, трогании и торможении вагона. Болтовое соединение предусмотрено для удобства ремонта, когда необходимо отделять котел от рамы.

Концевые части котла, лежащие свободно на крайних опорах (деревянные брусья), могут иметь продольные смещения относительно рамы. От смещения относительно рамы, вызванных действием вертикальных и боковых сил, котел удерживается на раме с помощью стяжных хомутов. Натяжением хомутов стремятся предотвратить вибрацию котла при движении вагона.

3.1 Расчет крепления котла к раме в средней части

При расчете крепления котла к раме в средней части проверяют на срез следующие элементы:

- болты;
- сечения лап и опорных планок по отверстиям под болты;
- сварные швы опорных планок;
- сварные швы лап.

Проверке на смятие подлежат:

- болты;
- сечения лап и опорных планок по отверстиям под болты.

Расчетной силой является сила инерции, действующая на котел при I режиме нагружения

$$T_{II} = T_I \frac{m_k + m_{жс}}{m_{бр}}, \quad (3.1)$$

где T_I – продольная сила по I режиму нагружения, $T_I = 3$ МН;

m_k – масса котла;

$m_{жс}$ – масса груза;

$m_{бр}$ – масса вагона брутто.

Нормальные напряжения смятия в болтах и лапах

$$\sigma_{см} = \frac{T_{II}}{n_o d_o \delta_{nl}} \leq [\sigma_{см}], \quad (3.2)$$

где n_o – число болтов в опоре, у типовых цистерн $n_o = 56$;

$d_{\text{б}}$ – диаметр болта, у типовых цистерн $d_{\text{б}} = 24$ мм;

$\delta_{\text{пл}}$ – толщина опорной планки, у типовых цистерн $\delta_{\text{пл}} = 11$ мм;

$[\sigma_{\text{см}}]$ – допустимое напряжение смятия; в болтах из стали Ст.3
 $[\sigma_{\text{см}}] = 384$ МПа.

Касательные напряжения среза в болтах

$$\tau = \frac{T_{\text{II}}}{n \cdot F_{\text{б}}} \leq [\tau_{\text{сп}}], \quad (3.3)$$

где $F_{\text{б}}$ – площадь поперечного сечения болта

$$F_{\text{б}} = \frac{\pi d_{\text{б}}^2}{4}; \quad (3.4)$$

$[\tau_{\text{сп}}]$ – допустимое напряжение среза, для стали Ст.3 $[\tau_{\text{сп}}] = 129$ МПа.

Касательные напряжения среза в лапах или опорных планках

$$\tau = \frac{T_{\text{II}}}{F_{\text{лап}}} \leq [\tau_{\text{сп}}], \quad (3.5)$$

где $F_{\text{лап}}$ – площадь поперечного сечения лап по продольной оси

$$F_{\text{лап}} = n_1 \cdot \delta_{\text{л}} \cdot l, \quad (3.6)$$

где n_1 – число лап опоры, $n_1 = 4$;

$\delta_{\text{л}}$ – толщина листа лапы или опорной планки, $\delta_{\text{л}} = 0,01$ м;

l – длина лапы котла, у типовых цистерн $l = 0,905$ м.

Касательные напряжения среза в сварных швах лап или опорных планок

$$\tau = \frac{T_{\text{II}}}{0,7 \cdot h \cdot l_{\text{п}} \cdot 4} \leq [\tau_{\text{сп}}], \quad (3.7)$$

где h – высота катета сварного шва, $h = 10$ мм;

$l_{\text{п}}$ – расчетная длина сварного шва;

$[\tau_{\text{сп}}]$ – допустимое напряжение среза; для сварных швов, выполняемых электродами Э 42 $[\tau_{\text{сп}}] = 120$ МПа.

3.2 Расчет стяжных хомутов

Стяжные хомуты рассчитывают на разрыв от нормальной силы P , действующей вдоль хомутов.

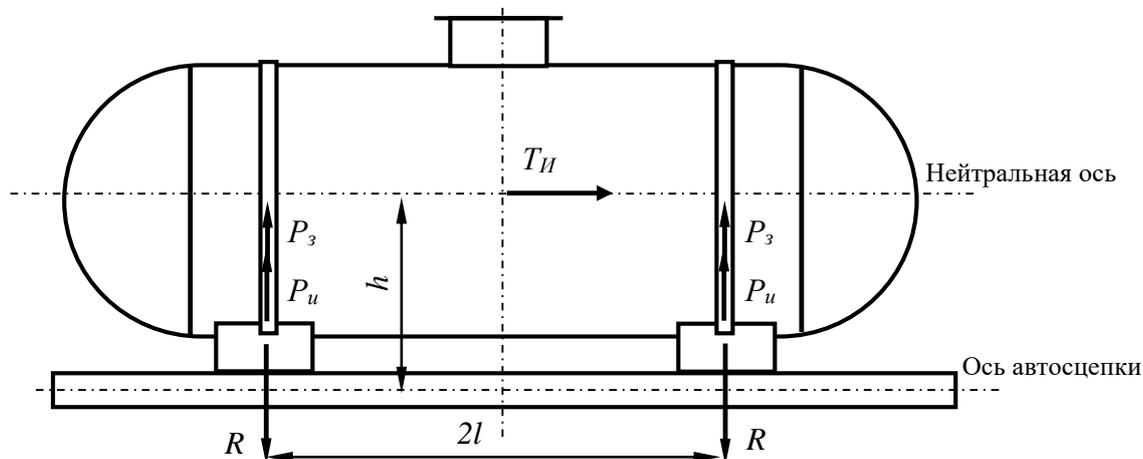


Рисунок 7 – Расчётная схема стяжных хомутов

Нормальные напряжения в поясе хомута

$$\sigma_n^x = \frac{P_x}{F_x}, \quad (3.8)$$

где P_x – нормальная сила, действующая вдоль пояса хомута;

F_x – площадь поперечного сечения пояса хомута.

Нормальная сила, действующая на пояс хомута

$$P_x = 0,25P_n + P_3, \quad (3.9)$$

где P_3 – усилие затяжки одного конца стяжного хомута, при данном расчёте можно не учитывать;

P_n – вертикальная составляющая силы инерции $T_{И}$, действующая на консольную часть котла при соударении или торможении вагонов

$$P_n = T_{И} \frac{h}{2l}, \quad (3.10)$$

где $T_{И}$ – сила инерции;

$2l$ – база цистерны;

h – расстояние от нейтральной оси котла до оси автосцепки;

P_3 – усилие затяжки одного конца стяжного хомута.

4 КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ЯЗЫКУ ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON

Согласно <https://ru.wikipedia.org/wiki/Python> , Python — высокоуровневый язык программирования общего назначения, ориентированный на повышение производительности разработчика и читаемости кода. Синтаксис ядра Python минималистичен. В то же время стандартная библиотека включает большой объём функций.

Python поддерживает несколько парадигм программирования, в том числе структурное, объектно-ориентированное, функциональное, императивное и аспектно-ориентированное. Основные архитектурные черты — динамическая типизация, автоматическое управление памятью, полная интроспекция, механизм обработки исключений, поддержка многопоточных вычислений и удобные высокоуровневые структуры данных. Код в Питоне организовывается в функции и классы, которые могут объединяться в модули (они в свою очередь могут быть объединены в пакеты).

Эталонной реализацией Python является интерпретатор CPython, поддерживающий большинство активно используемых платформ.

В рамках курсового проектирования не требуется глубоких знаний языка, т.к. в данной случае он в основном используется как «продвинутый» калькулятор. Однако, он позволяет легко находить ошибки в расчетах и вносить исправления, что сокращает трудоемкость проектирования. Следует отметить, что среда разработки, поставляемая с языком, является бесплатной.

На рисунках ниже показаны основные моменты работы с Python.

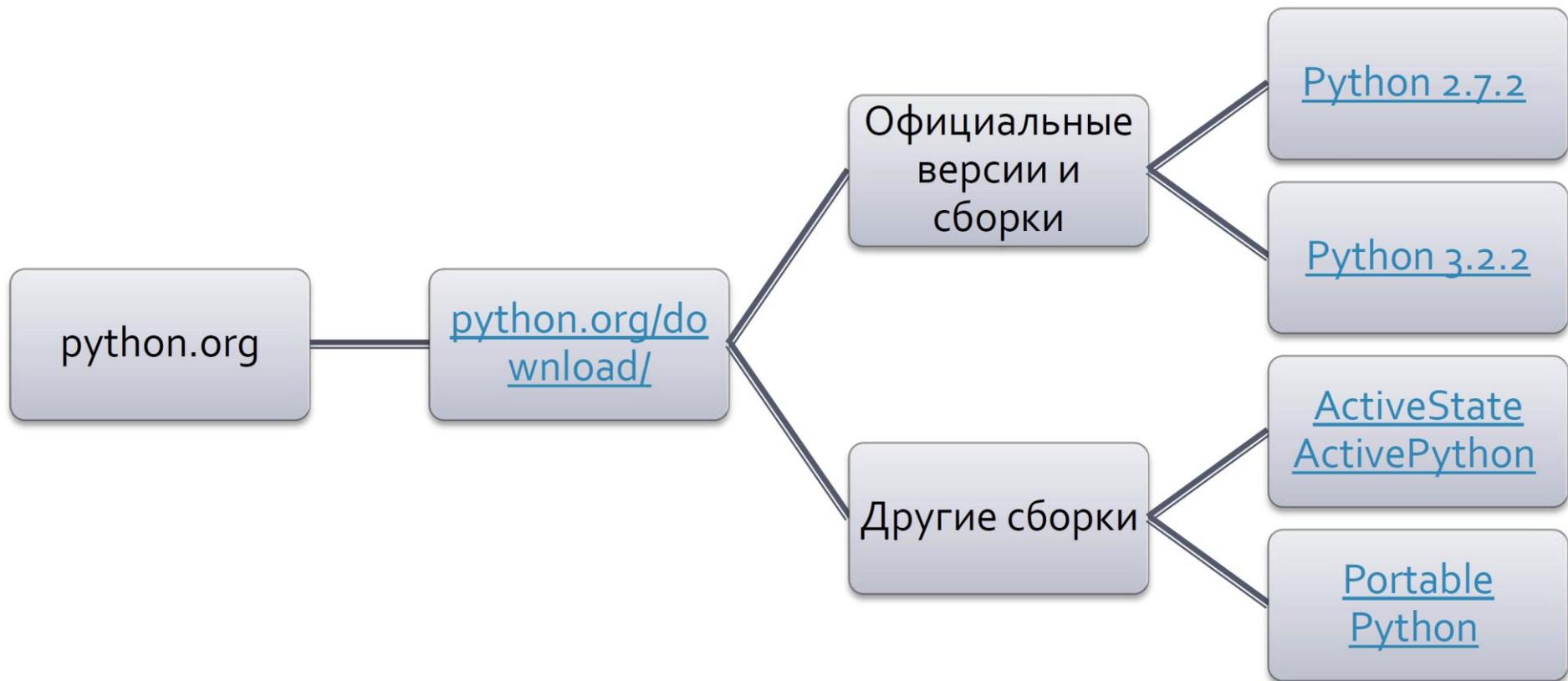


Рис. 8. Варианты установки Python

ABOUT >>
NEWS >>
DOCUMENTATION >>
DOWNLOAD >>
License
Releases
Windows
Macintosh
Other
Source

下載 >>
COMMUNITY >>
FOUNDATION >>
CORE DEVELOPMENT >>

Python Wiki
Python Insider Blog
Python 2 or 3?
Help Maintain Website
Help Fund Python



Non-English Resources

Release Schedule
воскресенье, 4 мар
Python 3.3.0 alpha 1

Alternative Implementations

This site hosts the "traditional" implementation of Python (nicknamed CPython). A number of alternative implementations are available as well, namely

← **скачать**

- [Python running on .NET](#)
- [Python running on the Java Virtual Machine](#)
- [PyPy](#) (A fast python implementation with a JIT compiler)
- [Stackless Python](#) (Branch of CPython supporting microthreads)

Download Python

The current production versions are [Python 2.7.2](#) and [Python 3.2.2](#).

← **Выбрать версию**

Start with one of these versions for learning Python or if you want the most compatibility, they're both considered stable production releases.

If you don't know which version to use, start with Python 2.7; more existing third party software is compatible with Python 2 than Python 3 right now.

For the MD5 checksums and OpenPGP signatures, look at the [detailed Python 2.7.2 page](#)

← **Выбрать ОС**

- [Python 2.7.2 Windows Installer](#) (Windows binary -- does not include source)
- [Python 2.7.2 Windows X86-64 Installer](#) (Windows AMD64 / Intel 64 / X86-64 binary [1])
- [Python 2.7.2 Mac OS X 64-bit/32-bit x86-64/i386 Installer](#) (for Mac OS X 10.6 and 10.7 [2])
- [Python 2.7.2 Mac OS X 32-bit i386/PPC Installer](#) (for Mac OS X 10.3 through 10.6 [2])
- [Python 2.7.2 compressed source tarball](#) (for Linux, Unix or Mac OS X)
- [Python 2.7.2 bziped source tarball](#) (for Linux, Unix or Mac OS X, more compressed)

Also look at the [detailed Python 3.2.2 page](#):

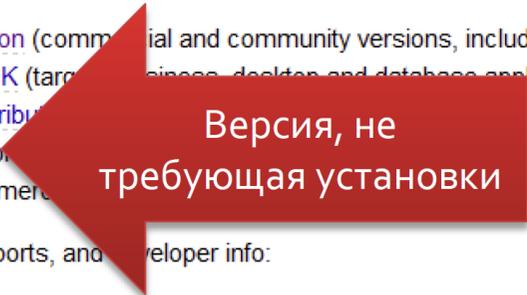
- [Python 3.2.2 Windows x86 MSI Installer](#) (Windows binary -- does not include source)
- [Python 3.2.2 Windows X86-64 MSI Installer](#) (Windows AMD64 / Intel 64 / X86-64 binary [1] -- does not include source)
- [Python 3.2.2 Mac OS X 64-bit/32-bit x86-64/i386 Installer](#) (for Mac OS X 10.6 and 10.7 [2])
- [Python 3.2.2 Mac OS X 32-bit i386/PPC Installer](#) (for Mac OS X 10.3 through 10.6 [2])
- [Python 3.2.2 compressed source tarball](#) (for Linux, Unix or Mac OS X)
- [Python 3.2.2 bziped source tarball](#) (for Linux, Unix or Mac OS X, more compressed)

Рис. 9. Выбор вариантов установки Python

A [comprehensive list of all released versions](#) is available if you need source code for an older version of Python.

Other parties have re-packaged Python. These re-packagings often include more libraries or are specialized for a particular application:

- [ActiveState ActivePython](#) (commercial and community versions, including scientific computing modules)
- [Conceptive Python SDK](#) (targeted for business, desktop and database applications)
- [Enthought Python Distribution](#) (Python for scientific computing)
- [Portable Python](#) (Python for portable device)
- [PyMSL Studio](#) (a commercial Python for non-commercial use)



Information about specific ports, and developer info:

- [Windows \(and DOS\)](#)
- [Macintosh](#)
- [Other platforms](#)
- [Source](#)
- [Python Developer's Guide](#)
- [Python Issue Tracker](#)

OpenPGP Public Keys

Source and binary executables are signed by the release manager using their OpenPGP key. The release managers since Python 2.3 have been:

- Anthony Baxter (key id: [6A45C816](#))
- Georg Brandl (key id: [36580288](#))
- Martin v. Löwis (key id: [7D9DC8D2](#))
- Benjamin Peterson (key id: [A4135B38](#))
- Barry Warsaw (key id: [EA5BBD71](#) and [ED9D77D5](#))
- Ronald Oussoren (key id: [E6DF025C](#))
- Ned Deily (key id: [6F5E1540](#))

Note: Barry's key id EA5BBD71 is used to sign all Python 2.6 and 3.0 releases. His key id ED9D77D5 is a v3 key and was used to sign older releases.

You can import the release manager public keys by either downloading [the public key file from here](#) and then running

Рис. 10. Выбор версии, не требующей установки

IDLE

Режим
«блокнота»

Интерактивный
режим

Сложные
расчеты

Длинные
программы

Быстрая
проверка
идей

Работает
как
калькулятор

Несложные
расчеты

Рис. 11. Режимы работы среды разработки

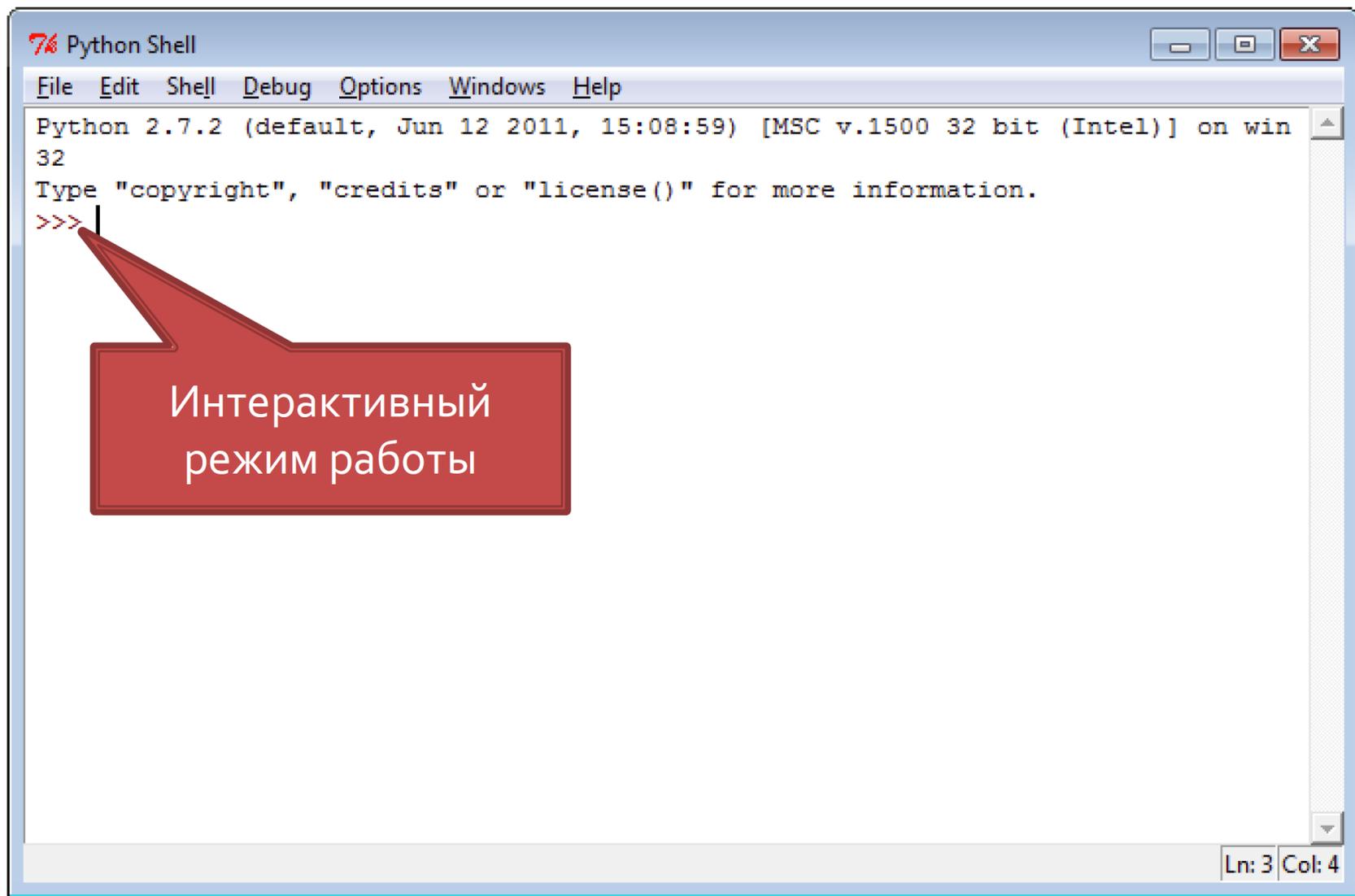


Рис. 12. Итерактивный режим работы

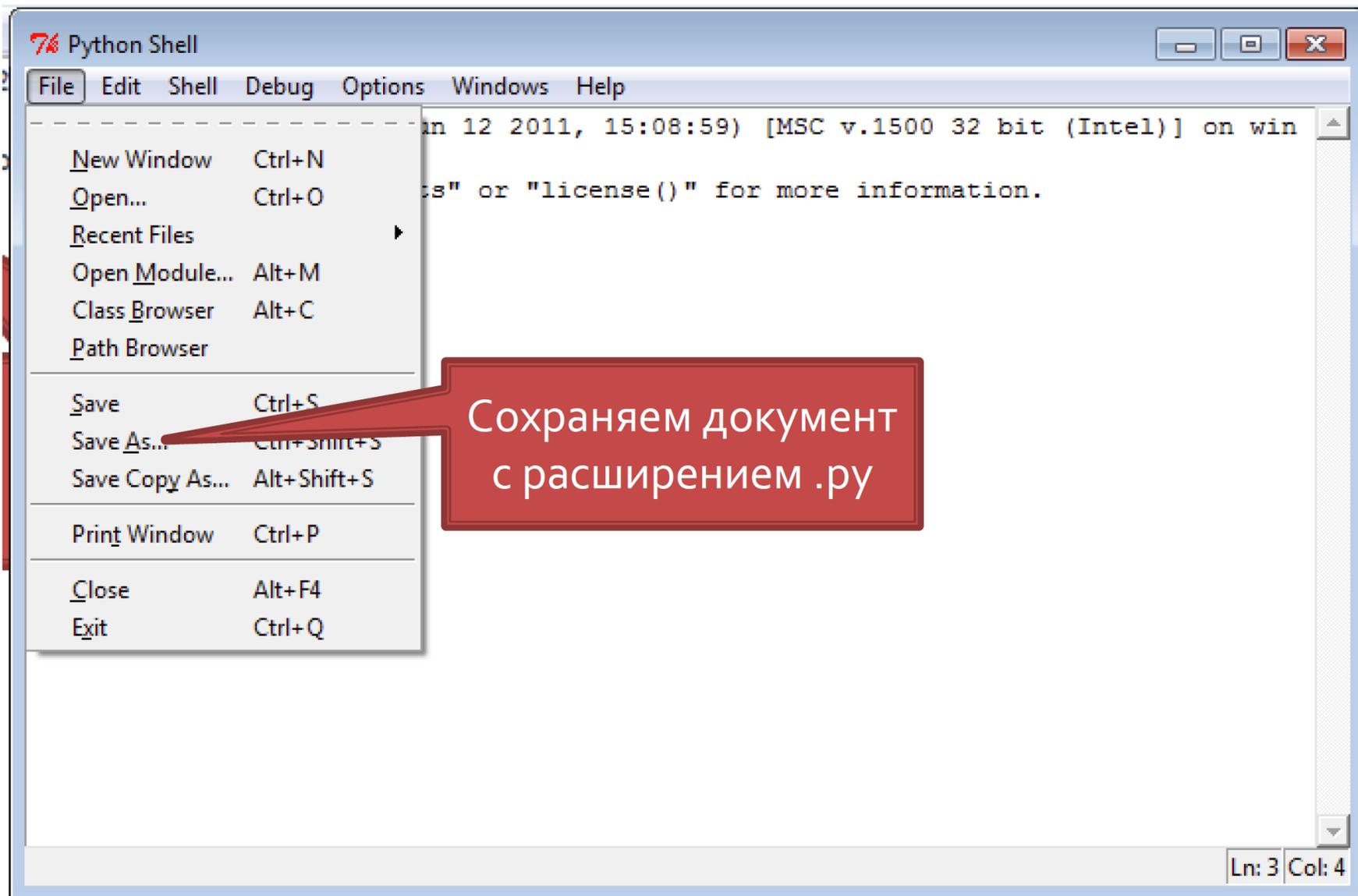


Рис. 13. Сохранение документа

```
7% functions.py - D:\math\tribilogy\python\WinklerKodnir1D\functions.py
File Edit Format Run Options Win
Created on 10/10/2012

@author: Yuri Bulavin
'''
from scipy import log, sqrt, exp, linspace, array
from scipy.integrate import odeint, quad
from scipy.optimize import fsolve

def zazorRigid(z,k,Param):
    za=Param['za']
    return 1-za**2+z**2

def zazorWinklerKodnir(z,k,Param):
    Cp=Param['Cp']
    return zazorRigid(z,k,Param)+Cp*k

def reynoldsRigidKodnir(w,z,Param):
    '''
    Arguments:
        w : vector of the state variables:
            w = [x1,y1,x2,y2]
```

Через меню Run запускаем программу

Через меню File открываем документ и пишем программу

Рис. 14. Запуск программы

www.scipy.org/install.html

SciPy.org

Installing the SciPy Stack

These are instructions for installing *the full SciPy stack*. For installing individual packages, such as NumPy and SciPy, see *Individual binary and source packages* below.

Scientific Python distributions

For most users, especially on Windows and Mac, the easiest way to install the packages of the SciPy stack is to download one of these Python distributions, which includes all the key packages:

- **Anaconda**: A free distribution for the SciPy stack. Supports Linux, Windows and Mac.
- **Enthought Canopy**: The free and commercial versions include the core SciPy stack packages. Supports Linux, Windows and Mac.
- **Python(x,y)**: A free distribution including the SciPy stack, based around the Spyder IDE. Windows only.
- **WinPython**: A free distribution including the SciPy stack. Windows only.
- **Pyzo**: A free distribution based on Python 3 (see *Note on Python 3*) with the IEP editor. Supports Linux and Windows.
- **Algorete Loopy**: A free, community oriented distribution for the SciPy stack maintained by researchers at Dartmouth College. Loopy supports both Python 2 and 3 on Linux, Windows and Mac OSX. The distribution is derived from Anaconda with additional packages (e.g. Space Physics, Bioinformatics).

Linux packages

Users on Linux can quickly install the necessary packages from repositories.

Ubuntu & Debian

```
sudo apt-get install python-numpy python-scipy python-matplotlib ipython ipython-notebook python-pandas python-sympy python-nose
```

The versions in Ubuntu 12.10 and Debian 7.0 meet the current SciPy stack specification. Users might also want to add the **NeuroDebian** repository for extra SciPy packages.

Fedora

```
sudo yum install numpy scipy python-matplotlib ipython python-pandas sympy python-nose
```

Users of Fedora 17 and earlier should then upgrade IPython using pip:

```
sudo pip install --upgrade ipython
```

Gentoo

About SciPy

Install

- Getting Started
- Documentation
- Bug Reports
- Topical Software
- Cookbook ↗
- SciPy Central ↗
- Wiki ↗
- SciPy Conferences ↗
- Blogs ↗
- NumFOCUS ↗

CORE PACKAGES:

- Numpy ↗
- SciPy library ↗
- Matplotlib ↗
- IPython ↗
- Sympy ↗
- Pandas ↗

Table Of Contents

- Installing the SciPy Stack
 - Scientific Python distributions
 - Linux packages
 - Ubuntu & Debian
 - Fedora
 - Gentoo
 - Mac packages

Рис. 15. Дополнительные пакеты Python для научных расчетов

5 ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ РАЗДЕЛОВ

5.1 Определение грузоподъемности цистерны

Пример выполнения расчета на Python. Знаком «#» выделяются комментарии, операторы и переменные набираются латиницей. Текстовая часть в операторе print заключается в кавычки.

```
# -*- coding: utf-8 -*-
from math import*
print '1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЕКТИРУЕМОЙ ЦИСТЕРНЫ'
print '1.1 Определение грузоподъемности цистерны'
To=21.875*1.11 #тара вагона умноженная на собственный коэффициент
print 'тара вагона умноженная на собственный коэффициент To=',To
P=60.0 #грузоподъемность
print 'грузоподъемность (т) P=',P
km=0.98 #коэфф-т,учитывающий влияние применяемого материала на
изменение тары цистерны
print 'коэфф-т,учитывающий влияние применяемого материала на изменение
тары цистерны km=',km
kl=0.97 #коэфф-т, учитывающий изменение линейных размеров элементов
цистерны
print 'коэфф-т, учитывающий изменение линейных размеров элементов
цистерны kl=',kl
kТВ=To/P #технический коэфф-т тары базовой цистерны
print 'технический коэфф-т тары базовой цистерны kТВ=',kТВ
kТ=kТВ*km*kl #(1.2) технический коэффициент тары
print '(1.2) технический коэффициент тары kТ=',kТ
g=9.81 #ускорение свободного падения
m0=4 #число осей
P0=200.8*1.11 #допускаемая нагрузка на ось умноженная на свой
коэффициент,kН
```

```

Pktb=(P0*m0)/((1+kTB)*g) #грузоподъемность,опред-я доп-й осевой
нагрузкой,при коэфф-те тары БАЗОВОЙ цистерны
print '(1.1)грузоподъемность,опред-я доп-й осевой нагрузкой,при коэфф-те тары
БАЗОВОЙ цистерны Pktb=',Pktb
Pkt=(P0*m0)/((1+kT)*g) #грузоподъемность,опред-я доп-й осевой
нагрузкой,при коэфф-те тары ПРОЕКТИРУЕМОЙ цистерны
print '(1.1)грузоподъемность,опред-я доп-й осевой нагрузкой,при коэфф-те тары
ПРОЕКТИРУЕМОЙ цистерны Pkt=',Pkt

```

5.2 Определение массы тары цистерны

```

from math import*
print 'Определение массы тары цистерны:'
kt=0.3846959375 #технический коэфф-т тары
print 'технический коэфф-т тары kt=',kt
P=65.6331507339 #грузоподъемность проектируемой цистерны, т
print 'грузоподъемность проектируемой цистерны, т P=',P
T=kt*P #тара вагона,т
print '(1.3)Тара проектируемой цистерны(т) T=',T
mbr=P+T #масса брутто вагона,т
print '(1.4)Масса брутто вагона(т) mbr=',mbr
mpl=15.0 #масса платформы, устанавливаемой под котел цистерны,т
print 'масса платформы, устанавливаемой под котел цистерны,(т) mpl=',mpl
mk=T-mpl #масса котла с примыкающими
частями(лестницы,помосты,сливоналинные устройства,...
print'(1.5)Масса котла с примыкающими частями(т) mk=',mk
mbrk=mbr-mpl #масса брутто котла,т
print '(1.7)Масса брутто котла(т) mbrk= ',mbrk

```

5.3 Расчет котла

```
from math import*
print '1.3 Расчет котла'
Vpoln=44.8 #полный объём котла,м^3
print 'полный объём котла,м^3 Vpoln=',Vpoln
P=65.6331507339 #грузоподъемность проектируемой цистерны,т
print 'грузоподъемность проектируемой цистерны,т P=',P
Vy=Vpoln/P #удельный оптимальный объем котла, (м^3)/т
print 'Удельный оптимальный объем котла,(м^3)/т Vy=',Vy
kt=1.02 #коэфф-т,учитывающий увеличение объема при расширении груза от
повышения температуры
print 'коэфф-т,учитывающий увеличение объема при расширении груза от
повышения температуры kt=',kt
V=P*Vy*kt #(1.8)полный объем котла проектируемой цистерны, м^3
print '(1.8)Полный объем котла проектируемой цистерны, (м^3) V=',V
D1=0.7*(V**(1/3.0)) #(1.10)внутренний диаметр котла,м^3
print '(1.10)Внутренний диаметр котла(м) D1=',D1
print 'Округлим полученное значение диаметра до стандартного значения = 2,6
м'
h0=0.51 #внутренняя высота овалоидной части днища, h0=0,48...0,53
print 'внутренняя высота овалоидной части днища, h0=0,48...0,53'
R2=0.8*D1 #внутренний радиус днища, м
print 'Внутренний радиус днища(м) R2=',R2
a1=(h0*(2*R2-h0))**(1/2.0)
V0=(1/6.0)*3.14*h0*(3*(a1**2)+h0**2) #(1.13)объем овалоидной части,м^3
print '(1.13)Объем овалоидной части (м^3) V0=',V0
hc=0.070 #высота цилиндрической части днища,0.060...0.080 м
print 'высота цилиндрической части днища,0.060...0.080 м hc'
R1=D1/2.0
print 'Внутренний радиус цилиндрической части котла R1=',R1
```

```

Vcd=(1/6.0)*3.14*hc*(3*(R1**2)+3*(a1**2)+(hc**2)) #(1.14) Объем
цилиндрической части днища, м^3
print '(1.14)Объем цилиндрической части днища(м^3)Vcd=',Vcd
D3=0.57 #диаметр люка (м)
print 'диаметр люка (м) D3=',D3
hl=0.15 #высота люка (м)
print 'высота люка (м) hl=',hl
Vl=(3.14*(D3**2))/4*hl #(1.15)Объем люка, м^3
print '(1.15)Объем люка (м^3) V1=',Vl
Lc=(4*(V-2*V0-Vl))/(3.14*(D1**2)) #(1.17) длина цилиндрической части,м
print'(1.17)Длина цилиндрической части (м) Lc=',Lc
Vc=(3.14*(D1**2))/4*Lc #(1.11)объем цилиндрической части котла,м^3
print '(1.11)Объем цилиндрической части котла (м^3) Vc=',Vc
Vd=V0+Vcd #(1.12)объем днища (м^3)
print'(1.12)Объем днища (м^3) Vd=',Vd
Vpolniy=Vc+2*Vd+Vl #(1.9)объем котла (м^3)
print'(1.9)Объем котла (м^3) Vpolniy=',Vpolniy

```

5.4 Определение линейных размеров цистерны

```

from math import*
print '1.4 Определение линейных размеров цистерны'
hc=0.070 #высота цилиндрической части днища,0.060...0.080 м
print 'высота цилиндрической части днища,0.060...0.080 (м) hc=',hc
ho=0.51 #внутренняя высота овалоидной части днища, ho=0,48...0,53 м
print 'внутренняя высота овалоидной части днища, ho=0,48...0,53 (м) ho=',ho
hd=hc+ho #(1.18)высота днища,м
print '(1.18)Высота днища (м) hd=',hd
Lc=8.67805425316 #длина цилиндрической части (м)
print 'длина цилиндрической части (м) Lc=',Lc
Lk=Lc+2*hd #(1.16)внутренняя длина котла (м)

```

```

print '(1.16)Внутренняя длина котла (м) Lk=',Lk
sigma2=0.01 #толщина днища (м)
print 'толщина днища (м) sigma2=',sigma2
Lnk=Lk+2*sigma2 #(1.19)наружная длина котла (м)
print '(1.19)Наружная длина котла (м) Lnk=',Lnk
at=0.321 #расстояние от наружной поверхности котла до лобового листа
концевой балки, м
print 'расстояние от наружной поверхности котла до лобового листа концевой
балки, м at=',at
dvaLp=Lnk+2*at #(1.20)длина рамы по концевым балкам (м)
print '(1.20)Длина рамы по концевым балкам (м) dvaLp=',dvaLp
dval=dvaLp/1.41 #(1.21)база цистерны (м)
print '(1.21)База цистерны (м) dval=',dval
dvalk=(dvaLp-dval)/2 #(1.22)длина консольной части (м)
print '(1.22)Длина консольной части (м) dvalk=',dvalk
a=0.61 #вылет автосцепки (м)
print 'вылет автосцепки (м) a=',a
dvaLob=dvaLp+2*a #(1.23)длина вагона по осям сцепления автосцепок (м)
print '(1.23)Длина вагона по осям сцепления автосцепок (м) dvaLob=',dvaLob
Нор=1.29 #расстояние от головки рельсов до нижней опорной точки котла на
раму (м)
print 'расстояние от головки рельсов до нижней опорной точки котла на раму
(м) Нор=',Нор
hlk=0.36 #высота люка с крышкой (м)
print 'высота люка с крышкой (м) hlk=',hlk
sigma1=0.008 #толщина верхнего листа котла (м)
print 'толщина верхнего листа котла (м) sigma1=',sigma1
sigma3=0.009 #толщина нижнего листа котла (м)
print 'толщина нижнего листа котла (м) sigma2=',sigma2
D1=2.6 #внутренний диаметр котла (округленное значение) (м)

```

```

print 'внутренний диаметр котла (округленное значение) (м) D1=',D1
Dn=D1+sigma1+sigma3 #(1.25) Наружный диаметр котла (м)
print '(1.25) Наружный диаметр котла (м) Dn=',Dn
H=Hор+Dn+hлк #(1.24) Полная высота цистерны (м)
print '(1.24) Полная высота цистерны (м) H=',H
kT=0.3846959375 #технический коэффициент тары
print 'технический коэффициент тары kT=',kT
P=65.6331507339 #грузоподъемность тары ПРОЕКТИРУЕМОЙ
цистерны(ФОРМУЛА 1.1)
print 'грузоподъемность тары ПРОЕКТИРУЕМОЙ цистерны(ФОРМУЛА 1.1)
P=',P
q=(P*(1+kT))/dvaLob*9.81 #(1.26)величина погонной нагрузки
print '(1.26)Величина погонной нагрузки спроектированной цистерны q=',q

```

Рекомендуемая литература

1. Вагоны. Конструкция, теория и расчет/ Под. ред. Л.А. Шадура. - М.: Транспорт, 1980. - 439 с.
2. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) ГосНИИВ -ВНИИЖТ. М.: Транспорт, 1996. - 319с.
3. Конструирование и расчет вагонов: Уч-к для вузов ж.-д. транспорта / В.В. Лукин, Л.А. Шагур, В.Н. Котуранов, А.А. Хохлов, П.С. Анисимов.- М.: УМК МПС России, 2000. - 731с.
4. Цистерны. Устройство, эксплуатация, ремонт: Справочное пособие / В.К. Губенко, А.П. Никодимов, Г.К. Жилин и др. - М.: Транспорт, 1990. - 151с.
5. Бороненко Ю.П. и др. О параметрах и структуре эксплуатационного парка цистерн на перспективу // Сб. науч. тр. / ВНИИВ - 1983. - Вып. 50. - С. 88-96.
6. Сергеев А.И. Проектирование цистерн: Методическое руководство к курсовому проекту по дисциплине «Вагоны». - Ростов н/Д: РИИЖТ, 1973. -51с
7. Лукин В.В. Выбор рациональных параметров грузовых вагонов: Учеб. пособие. - ОмИИТ, 1985. - 84 с.
8. Грузовые вагоны колеи 1520 мм железных дорог СССР: Альбом - справочник. - М.: Транспорт, 1989. -176 с.
9. Грузовые вагоны железных дорог колеи 1520 мм: Альбом справочник 002И-97 ПКБ ЦВ. - М.: Проектно-конструкторское бюро ЦВ МПС, 1998,-283 с.
- 10.Пастухов И.Ф., Пигунов В.В. Основы проектирования цистерн: Методические указания к курсовому проектированию по дисциплине «Вагоны и контейнеры». - Гомель: БелИИЖТ, 1987. - 32 с.
11. Бизли Д. Python. Подробный справочник / Д. Бизли — СПб. : Символ-Плюс, 2010. — 864 с.
12. SciPy [Электронный ресурс] : веб-сайт. — Режим доступа : <http://www.scipy.org/>

Учебное издание

Булавин Юрий Павлович
Бутенко Юрий Яковлевич

КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ВАГОНОВ

Печатается в авторской редакции
Технический редактор

Подписано в печать 00.00.16 Формат 60×84/16.
Бумага газетная. Ризография. Усл. печ. л ____.
Тираж экз. Изд. № ____ . Заказ

Редакционно-издательский центр ФГБОУ ВО РГУПС.

Адрес университета: 344038, г. Ростов н/Д, пл. Ростовского Стрелкового Полка
Народного Ополчения, 2.

