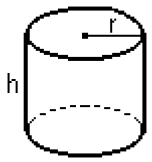
Оптимизация размеров цилиндрического бака



$d = 2 \cdot r$

Справочные данные по объему и площади поверхности цилиндра:

Объем: $V_б = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h$

Площадь боковой поверхности: $S_{бок} = \pi \cdot d \cdot h$

Площадь основания: $S_{осн} = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$

Задание

Требуется определить оптимальное соотношение между высотой и диаметром основания на основе различных критериев оптимизации

Подключение русских размерностей

Для определенности примем требуемый объем бака $V_б := 100 \cdot м^3$

Вариант №1. Оптимизация по принципу минимума суммарной поверхности бака

Выражение для расчета суммарной площади поверхности бака

$$S_\Sigma = S_{бок} + 2 \cdot S_{осн} = \pi \cdot d \cdot h + 2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \pi \cdot d \cdot h + \frac{\pi \cdot d^2}{2}$$

Выразим высоту бака из выражения для его объема

$$V_б = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h \qquad h = \frac{4 \cdot V_б}{\pi \cdot d^2}$$

Подставим полученное выражение для высоты бака в выражение для суммарной площади поверхности и составим функциональную зависимость суммарной площади от диаметра основания бака при заданном его объеме

$$S_\Sigma(d) := \pi \cdot d \cdot \left(\frac{4 \cdot V_б}{\pi \cdot d^2}\right) + \frac{\pi \cdot d^2}{2}$$

Графический способ решения задачи оптимизации

Построим графическую зависимость данной функции

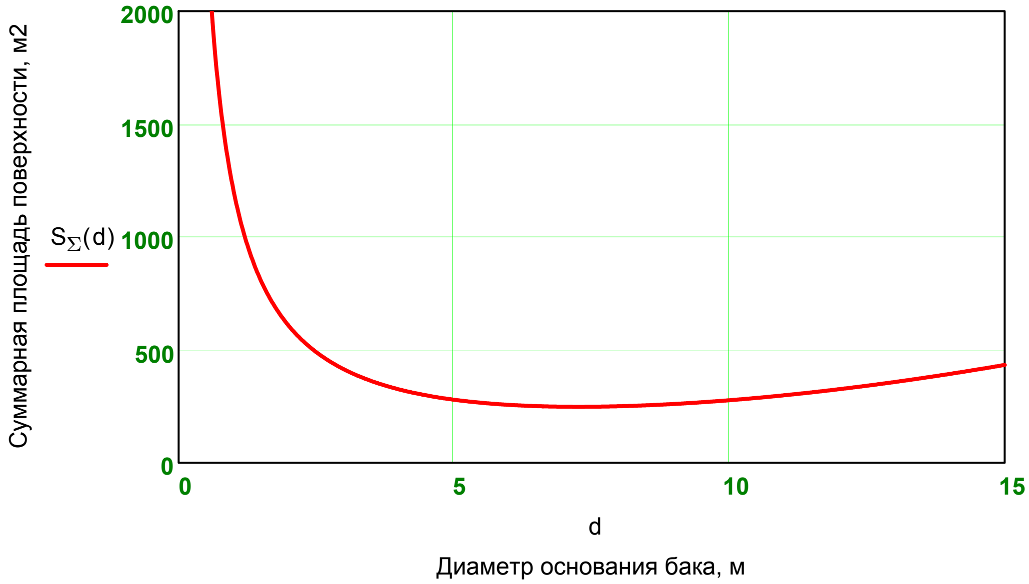
$d_{опт\_граф} := 5.03 \cdot м$ $\qquad h_{опт\_граф} := \dfrac{4 \cdot V_б}{\pi \cdot d_{опт\_граф}^{\,2}} = 5.032 \cdot м$ $\qquad \dfrac{d_{опт\_граф}}{h_{опт\_граф}} = 0.999525$

Примем другой требуемый объем бака: $V_б := 300 \cdot м^3$

Составим функциональную зависимость суммарной площади от диаметра основания бака при заданном его объеме

$$S_\Sigma(d) := \pi \cdot d \cdot \left(\frac{4 \cdot V_б}{\pi \cdot d^2}\right) + \frac{\pi \cdot d^2}{2}$$

Построим графическую зависимость данной функции



$d_{опт\_граф} := 7.26 \cdot м$ $\qquad h_{опт\_граф} := \dfrac{4 \cdot V_б}{\pi \cdot d_{опт\_граф}^{\,2}} = 7.247 \cdot м$ $\qquad \dfrac{d_{опт\_граф}}{h_{опт\_граф}} = 1.001794$

Численный способ решения задачи оптимизации

Начальное приближение $\qquad d_{опт\_числ} := 0 \cdot м$

Определение координаты точки минимума целевой функции (суммарной площади поверхности бака) путем обращения к встроенной функции пакета Mathcad Minimize

$d_{опт\_числ} := \mathrm{Minimize}(S_\Sigma, d_{опт\_числ}) = 7.256 \cdot м$

$h_{опт\_числ} := \dfrac{4 \cdot V_б}{\pi \cdot d_{опт\_числ}^{2}} = 7.256 \cdot м$ $\qquad \dfrac{d_{опт\_числ}}{h_{опт\_числ}} = 1.000000002170649$

Начальное приближение $\quad d_{опт\_числ} := 1 \cdot м$

Определение координаты точки минимума целевой функции (суммарной площади поверхности бака) путем обращения к встроенной функции пакета Mathcad Minimize

$d_{опт\_числ} := \mathrm{Minimize}(S_\Sigma, d_{опт\_числ}) = 7.256 \cdot м$

$h_{опт\_числ} := \dfrac{4 \cdot V_б}{\pi \cdot d_{опт\_числ}^{2}} = 7.256 \cdot м$ $\qquad \dfrac{d_{опт\_числ}}{h_{опт\_числ}} = 1.000000002172361$

Начальное приближение $\quad d_{опт\_числ} := 10 \cdot м$

Определение координаты точки минимума целевой функции (суммарной площади поверхности бака) путем обращения к встроенной функции пакета Mathcad Minimize

$d_{опт\_числ} := \mathrm{Minimize}(S_\Sigma, d_{опт\_числ}) = 7.256 \cdot м$

$h_{опт\_числ} := \dfrac{4 \cdot V_б}{\pi \cdot d_{опт\_числ}^{2}} = 7.256 \cdot м$ $\qquad \dfrac{d_{опт\_числ}}{h_{опт\_числ}} = 1.000000005191903$

Начальное приближение $\quad d_{опт\_числ} := -1 \cdot м$

Определение координаты точки минимума целевой функции (суммарной площади поверхности бака) путем обращения к встроенной функции пакета Mathcad Minimize

$d_{опт\_числ} := \mathrm{Minimize}(S_\Sigma, d_{опт\_числ}) = -5.155 \times 10^{-9} \cdot м$

$h_{опт\_числ} := \dfrac{4 \cdot V_б}{\pi \cdot d_{опт\_числ}^{2}} = 1.437 \times 10^{19} \cdot м$ $\qquad \dfrac{d_{опт\_числ}}{h_{опт\_числ}} = -358.675813856185470 \times 10^{-30}$

Еще один из способов поиска минимума - через блок Given..MinErr

Начальное приближение $\quad d_{опт\_числ} := 1 \cdot м$

Given

$S_\Sigma(d_{опт\_числ}) = 0 \cdot м^2$

$d_{опт\_числ} := \mathrm{Minerr}(d_{опт\_числ}) = 7.256\, m$

$h_{опт\_числ} := \dfrac{4 \cdot V_б}{\pi \cdot d_{опт\_числ}^{2}} = 7.256 \cdot м$ $\qquad \dfrac{d_{опт\_числ}}{h_{опт\_числ}} = 1.000000045223627$

Начальное приближение $\quad d_{опт\_числ} := 0 \cdot м$

Given

$S_\Sigma(d_{опт\_числ}) = 0 \cdot м^2$

$d_{опт\_числ} := \mathrm{Minerr}(d_{опт\_числ}) = \blacksquare$

$$h_{опт\_числ} := \frac{4 \cdot V_б}{\pi \cdot d_{опт\_числ}^{\ 2}} = \blacksquare \cdot м \qquad \frac{d_{опт\_числ}}{h_{опт\_числ}} = \blacksquare$$

Начальное приближение $\quad d_{опт\_числ} := -1 \cdot м$

Given

$$S_\Sigma\left(d_{опт\_числ}\right) = 0 \cdot м^2$$

$$d_{опт\_числ} := \text{Minerr}\left(d_{опт\_числ}\right) = -9.142\,m$$

$$h_{опт\_числ} := \frac{4 \cdot V_б}{\pi \cdot d_{опт\_числ}^{\ 2}} = 4.571 \cdot м \qquad \frac{d_{опт\_числ}}{h_{опт\_числ}} = -2.000000000000000$$

Аналитический способ решения задачи оптимизации с помощью символьной математики пакета Mathcad

Запишем исходные выражения для суммарной площади поверхности бака и его объема

$$S_\Sigma = \pi \cdot d \cdot h + 2\frac{\pi \cdot d^2}{4} \qquad V_б = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h$$

Выразим с помощью ключевых команд символьной математики зависимость суммарной площади поверхности бака от диаметра основания

а) Для начала выразим высоту бака из его объема и высоты

$$V_б = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h \text{ solve}, h \ \rightarrow \frac{1200 \cdot m^3}{\pi \cdot d^2}$$

численное значение 1200 $м^3$ появилось из значения ранее определенного объема бака умноженного на 4. Для того, чтобы "скрыть" численное значение объема бака достаточно записать следующее:

$$V_б := V_б$$

и тогда

$$V_б = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h \text{ solve}, h \ \rightarrow \frac{4 \cdot V_б}{\pi \cdot d^2}$$

б) Выражение для суммарной площади поверхности

$$S_\Sigma = \pi \cdot d \cdot h + 2\frac{\pi \cdot d^2}{4} \text{ substitute}, h = \frac{4 \cdot V_б}{\pi \cdot d^2} \ \rightarrow \text{function} = \frac{\pi \cdot d^3 + 8 \cdot V_б}{2 \cdot d}$$

Аналогично предыдущему пункту, "скроем" значение S_Σ:

$$S_\Sigma := S_\Sigma$$

$$S_\Sigma = \pi \cdot d \cdot h + 2\frac{\pi \cdot d^2}{4} \text{ substitute}, h = \frac{4 \cdot V_б}{\pi \cdot d^2} \ \rightarrow S_\Sigma = \frac{\pi \cdot d^3 + 8 \cdot V_б}{2 \cdot d}$$

Для определения точки минимума найдем производную функциональной зависимости суммарной площади поверхности бака по диаметру бака

$$\frac{d}{dd}\frac{\pi\cdot d^3+8\cdot V_б}{2\cdot d}\to\frac{3\cdot\pi\cdot d}{2}-\frac{\pi\cdot d^3+8\cdot V_б}{2\cdot d^2}$$

И решим данное выражение относительно диаметра основания бака. Т.е. найдем значения диаметра бака, при которых производная равна нулю:

$$\frac{d}{dd}\frac{\pi\cdot d^3+8\cdot V_б}{2\cdot d}\ \text{solve}, d\ \to\begin{bmatrix}\left(\frac{4\cdot V_б}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}}\\ -\frac{\left(\frac{4\cdot V_б}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}}}{2}+\frac{\sqrt{3}\cdot\left(\frac{4\cdot V_б}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}}\cdot i}{2}\\ -\frac{\left(\frac{4\cdot V_б}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}}}{2}-\frac{\sqrt{3}\cdot\left(\frac{4\cdot V_б}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}}\cdot i}{2}\end{bmatrix}$$

Комплексные значения не удовлетворяют физическому смыслу задачи и могут быть отброшены. Поэтому можем записать:

$$d_{опт\_симв}:=\left(\frac{4\cdot V_б}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}}\qquad h_{опт\_симв}:=\frac{4\cdot V_б}{\pi\cdot d_{опт\_симв}^{\ 2}}\qquad \frac{d_{опт\_симв}}{h_{опт\_симв}}\ \text{simplify}\ \to 1$$

$$\frac{d_{опт\_симв}}{h_{опт\_симв}}=1.000000000000000\qquad \frac{d_{опт\_симв}}{h_{опт\_симв}}\to\frac{\pi\cdot\frac{4\cdot V_б}{\pi}}{4\cdot V_б}$$

"Автоматизация" символьных вычислений

$$d_{опт\_симв}:=\frac{d}{dd}\left(S_\Sigma=\pi\cdot d\cdot h+2\frac{\pi\cdot d^2}{4}\right)\left|\begin{matrix}\text{substitute}, h=\left(V_б=\frac{\pi\cdot d^2}{4}\cdot h\ \text{solve}, h\ \to\frac{4\cdot V_б}{\pi\cdot d^2}\right)\\ \text{solve}, d\end{matrix}\right.\to\begin{bmatrix}\frac{(-4)^{\frac{1}{3}}\cdot V_б^{\frac{1}{3}}}{\pi^{\frac{1}{3}}}\\ \frac{(-4)^{\frac{1}{3}}\cdot V_б^{\frac{1}{3}}\cdot\left(-\frac{1}{2}+\text{V}\right.}{\pi^{\frac{1}{3}}}\\ -\frac{(-4)^{\frac{1}{3}}\cdot V_б^{\frac{1}{3}}\cdot\left(\frac{1}{2}+\text{V}\right.}{\pi^{\frac{1}{3}}}\end{bmatrix}$$

$$h_{опт\_симв} := \frac{4 \cdot V_б}{\pi \cdot d_{опт\_симв}^{2}} \qquad \frac{d_{опт\_симв}}{h_{опт\_симв}} = \begin{pmatrix} -1.000000000000000 \\ -1.000000000000000 \\ -1.000000000000000 \end{pmatrix}$$

Преодоление "ошибки" в 14 версии пакета Mathcad

$$d_{опт\_симв} := \frac{d}{dd}\left(S_{\Sigma} = \pi \cdot d \cdot h + 2\frac{\pi \cdot d^2}{4}\right) \left| \begin{array}{l} \text{substitute}, h = -\left(V_б = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h \text{ solve}, h \rightarrow \frac{4 \cdot V_б}{\pi \cdot d^2}\right) \\ \text{solve}, d \end{array}\right. \rightarrow \left[\begin{array}{c} \dfrac{4^{\frac{1}{3}} \cdot V_б^{\frac{1}{3}}}{\pi^{\frac{1}{3}}} \\ \dfrac{4^{\frac{1}{3}} \cdot V_б^{\frac{1}{3}} \cdot \left(-\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}\right.}{\pi^{\frac{1}{3}}} \\ -\dfrac{4^{\frac{1}{3}} \cdot V_б^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}\right.}{\pi^{\frac{1}{3}}} \end{array} \right.$$

$$h_{опт\_симв} := \frac{4 \cdot V_б}{\pi \cdot d_{опт\_симв}^{2}} \qquad \frac{d_{опт\_симв}}{h_{опт\_симв}} = \begin{pmatrix} 1.000000000000000 \\ 1.000000000000000 \\ 1.000000000000000 \end{pmatrix}$$

Вариант №2. Оптимизация по принципу минимума тепловых потерь

Коэффициента неравномерности, учитывающий неравномерность теплового потока через дно и другие поверхности бака

$a := 0.5$

Выражение для расчета площади поверхности бака, относительно которой пропорциональны тепловые потери

$$S_{\Sigma\_теп} = S_{бок} + S_{дно} + S_{крышк} = \pi \cdot d \cdot h + a \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} + \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \pi \cdot d \cdot h + \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot (a + 1)$$

Составим функциональную зависимость сплощади поверхности бака, относительно которой пропорциональны тепловые потери, от диаметра основания бака при заданном его объеме

$$S_{\Sigma\_теп}(d) := \pi \cdot d \cdot \left(\frac{4 \cdot V_б}{\pi \cdot d^2}\right) + \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot (a + 1)$$

Численный способ решения задачи оптимизации

Начальное приближение $d_{опт\_числ} := 0 \cdot м$

Определение координаты точки минимума целевой функции (суммарной площади поверхности бака) путем обращения к встроенной функции пакета Mathcad Minimize

$$d_{опт\_числ} := \text{Minimize}\left(S_{\Sigma\_теп}, d_{опт\_числ}\right) = 7.986 \cdot м$$

$$h_{опт\_числ} := \frac{4 \cdot V_б}{\pi \cdot d_{опт\_числ}^{2}} = 5.989 \cdot м \qquad \frac{d_{опт\_числ}}{h_{опт\_числ}} = 1.333333327971930$$

Аналитический способ решения задачи оптимизации

$a := a$

$$\frac{d}{dd}\left[\pi\cdot d\cdot\left(\frac{4\cdot V_б}{\pi\cdot d^2}\right)+\frac{\pi\cdot d^2}{4}\cdot(a+1)\right] \text{ solve}, d \rightarrow \begin{bmatrix} \left(\frac{8\cdot V_б}{\pi+\pi\cdot a}\right)^{\frac{1}{3}} \\ -\frac{\left(\frac{8\cdot V_б}{\pi+\pi\cdot a}\right)^{\frac{1}{3}}}{2}+\frac{\sqrt{3}\cdot\left(\frac{8\cdot V_б}{\pi+\pi\cdot a}\right)^{\frac{1}{3}}\cdot i}{2} \\ -\frac{\left(\frac{8\cdot V_б}{\pi+\pi\cdot a}\right)^{\frac{1}{3}}}{2}-\frac{\sqrt{3}\cdot\left(\frac{8\cdot V_б}{\pi+\pi\cdot a}\right)^{\frac{1}{3}}\cdot i}{2} \end{bmatrix}$$

$$d_{опт\_симв} := \left(\frac{8\cdot V_б}{\pi+\pi\cdot a}\right)^{\frac{1}{3}} \qquad h_{опт\_симв} := \frac{4\cdot V_б}{\pi\cdot d_{опт\_симв}^{\;2}} \qquad \frac{d_{опт\_симв}}{h_{опт\_симв}} \text{ simplify} \rightarrow \frac{2}{a+1} \qquad \frac{d_{опт\_симв}}{h_{опт\_симв}} = 1\frac{1}{3}$$

Вариант №3. Оптимизация по принципу минимума затрат на сооружение и эксплуатацию бака

Будем учитывать следующие составляющие:

- стоимость землеотвода;
- земельный налог;
- стоимость металла;
- стоимость изоляции;
- тепловые потери;
- стоимость сооружения бака.

а) Стоимость землеотвода

Курс доллара $\$US := 26.2\cdot руб$

Примем коммерческую стоимость выкупа земли $Ц_{земли} := 10^5\cdot\frac{\$US}{100\cdot м^2}$

Тогда затраты на землеотвод с учетом организации подхода к баку (2 м) будут составлять

$$Ст_{зем}(d) := (d+2\cdot м)^2\cdot Ц_{земли}$$

б) Земельный налог

Ставка земельного налога: $K_{зем.нал} := 0.75\cdot\frac{\%}{год}$

В качестве упрощения примем исчисление земельного налога как процент от коммерческой стоимости земли. Тогда годовые затраты на земельный налог будут составлять

$$Ст_{зем.нал}(d) := K_{зем.нал}\cdot Ст_{зем}(d)$$

в) Стоимость металла

Цена металла $Ц_{ме} := 400000\cdot\frac{руб}{м^3}$

Толщина крышки бака $\delta_{крышк} := 5\cdot мм$

Толщину стенок и дна будем определять из условия надежной работы:

Коэффициент прочности швов $\phi := 0.9$

Допустимое напряжение металла $\sigma_{ме} := 500 \cdot МПа$

Прибавка к расчетной толщине стенки на утонение за счет коррозии, с учетом срока службы $C1 := 2 \cdot мм$

Техническая прибавка, предусматривающая утонение стенки при технологических операциях $C2 := 0.5 \cdot мм$

Допуск на толщину стенки $C3 := 2 \cdot мм$

Барометрическое давление $P_б := 760 \cdot мм\_рт\_ст$

Плотность воды $\rho_в := wspDENSPT(P_б, 40\ °C) = 992.2 \cdot \frac{кг}{м^3}$

Тогда толщина стенок бака будет рассчитываться по следующему выражению:

$$\delta_{металла} = C1 + C2 + C3 + \frac{(P_б + \rho_в \cdot g \cdot h) \cdot d}{2\sigma_{ме} \cdot \phi + (P_б + \rho_в \cdot g \cdot h)}$$

Подставив выражение для высоты бака получим, с учетом округления

$$\delta_{металла}(d) := Ceil\left[C1 + C2 + C3 + \frac{\left[P_б + \rho_в \cdot g \cdot \left(\frac{4 \cdot V_б}{\pi \cdot d^2}\right)\right] \cdot d}{2\sigma_{ме} \cdot \phi + \left[P_б + \rho_в \cdot g \cdot \left(\frac{4 \cdot V_б}{\pi \cdot d^2}\right)\right]}, мм\right]$$

Тогда объем металла будет составлять

$$Ст_{ме} = (S_{бок} + S_{дно}) \cdot \delta_{металла}(d) + S_{крышк} \cdot \delta_{крышк}$$

А затраты на металл

$$Ст_{ме}(d) := \left[\left[\pi \cdot d \cdot \left(\frac{4 \cdot V_б}{\pi \cdot d^2}\right) + \frac{\pi \cdot d^2}{4}\right] \cdot \delta_{металла}(d) + \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \delta_{крышк}\right] \cdot Ц_{ме}$$

г) Стоимость изоляции

Примем толщину изоляции $\delta_{изол} := 30 \cdot см$

Цена изоляции $Ц_{изол} := 600 \cdot \frac{руб}{0.3 \cdot м^3}$

Затраты на изоляцию при условии ее равномерного нанесения

$$Ст_{изол} = (V_{изол\_бок} + V_{изол\_дно} + V_{изол\_крышк}) \cdot Ц_{изол}$$

$$Ст_{изол} = \left[h \cdot \delta_{изол} \cdot \pi \cdot \left(d + \frac{\delta_{изол}}{2}\right) + \frac{\pi \cdot (d + \delta_{изол} \cdot 2)^2}{4} \cdot \delta_{изол} + \frac{\pi \cdot (d + \delta_{изол} \cdot 2)^2}{4} \cdot \delta_{изол}\right] \cdot Ц_{изол}$$

$$Ст_{изол}(d) := \left[\left(\frac{4 \cdot V_б}{\pi \cdot d^2}\right) \cdot \delta_{изол} \cdot \pi \cdot \left(d + \frac{\delta_{изол}}{2}\right) + \frac{\pi \cdot (d + \delta_{изол} \cdot 2)^2}{4} \cdot \delta_{изол} + \frac{\pi \cdot (d + \delta_{изол} \cdot 2)^2}{4} \cdot \delta_{изол}\right] \cdot Ц_{изол}$$

д) Тепловые потери

Средняя разность температур воды и окружающего воздуха $\Delta t := 30 \cdot K$

Коэффициент теплоотдачи от воды к стенкам бака $\alpha_1 := 500 \dfrac{Вт}{м^2 К}$

Коэффициент теплопроводности изоляции $\lambda_{изол} := 0.056 \dfrac{Вт}{м \cdot К}$

Коэффициент теплоотдачи от стенок бака к воздуху $\alpha_2 := 15 \dfrac{Вт}{м^2 К}$

Тариф на тепло $Ц_{теп} := 1000 \dfrac{руб}{Гкал}$

Коэффициент теплопередачи от воды к воздуху:

$$k := \frac{1}{\dfrac{1}{\alpha_1} + \dfrac{\delta_{изол}}{\lambda_{изол}} + \dfrac{1}{\alpha_2}} = 0.184 \cdot \frac{Вт}{м^2 К}$$

Тогда тепловые потери можно оценить как

$$Ст_{теп}(d) := \left[\pi \cdot (d + \delta_{изол}) \cdot \left(\frac{4 \cdot V_б}{\pi \cdot d^2}\right) + a \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} + \frac{\pi \cdot d^2}{4}\right] \cdot k \cdot \Delta t \cdot Ц_{теп}$$

е) Стоимость сооружения бака оценим как равной стоимости материалов

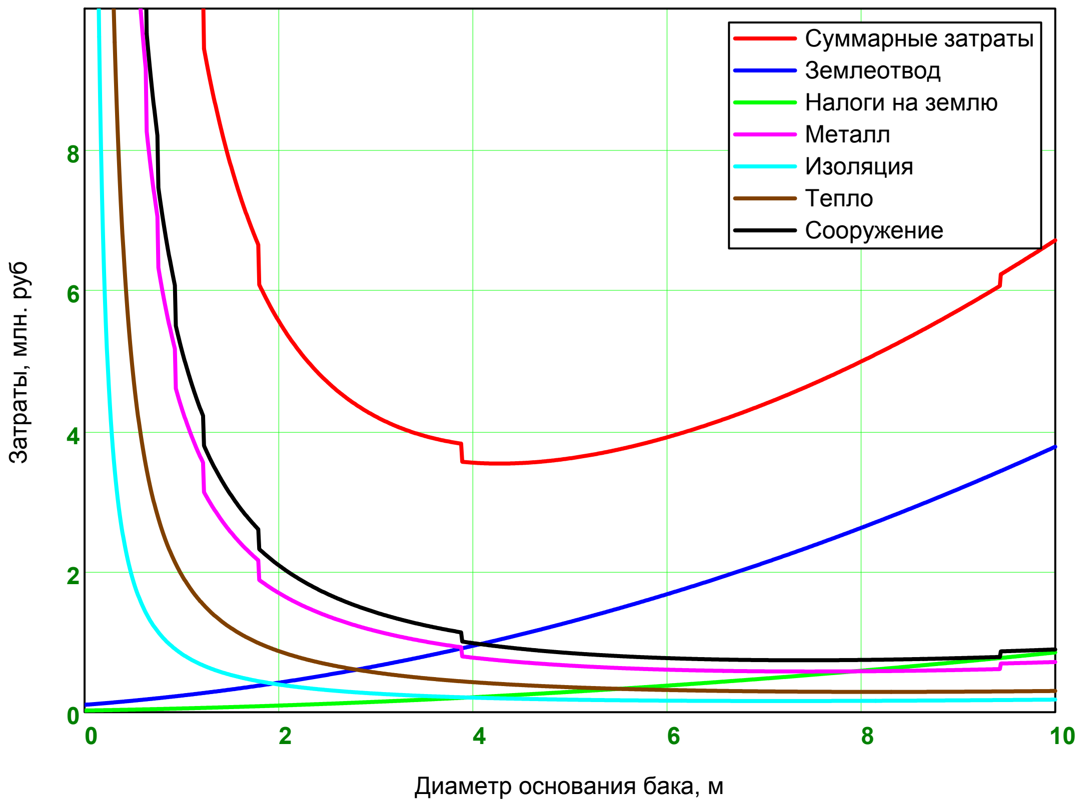
$$Ст_{соорuж}(d) := Ст_{изол}(d) + Ст_{ме}(d)$$

Суммарные затраты на сооружение и эксплуатацию бака

Расчетный срок службы $T_{раб} := 30 \cdot год$

$$\begin{aligned} Ст_{сумм}(d) := {} & Ст_{зем}(d) \ \ldots \\ & + Ст_{зем.нал}(d) \cdot T_{раб} \ \ldots \\ & + Ст_{ме}(d) \ \ldots \\ & + Ст_{изол}(d) \ \ldots \\ & + Ст_{теп}(d) \cdot T_{раб} \ \ldots \\ & + Ст_{сооруж}(d) \end{aligned}$$

Построим графическую зависимость данной функции



Численный способ решения задачи оптимизации

Начальное приближение $d_{опт} := 6 \cdot м$

Определение координаты точки минимума целевой функции (суммарной площади поверхности бака) путем обращения к встроенной функции пакета Mathcad Minimize

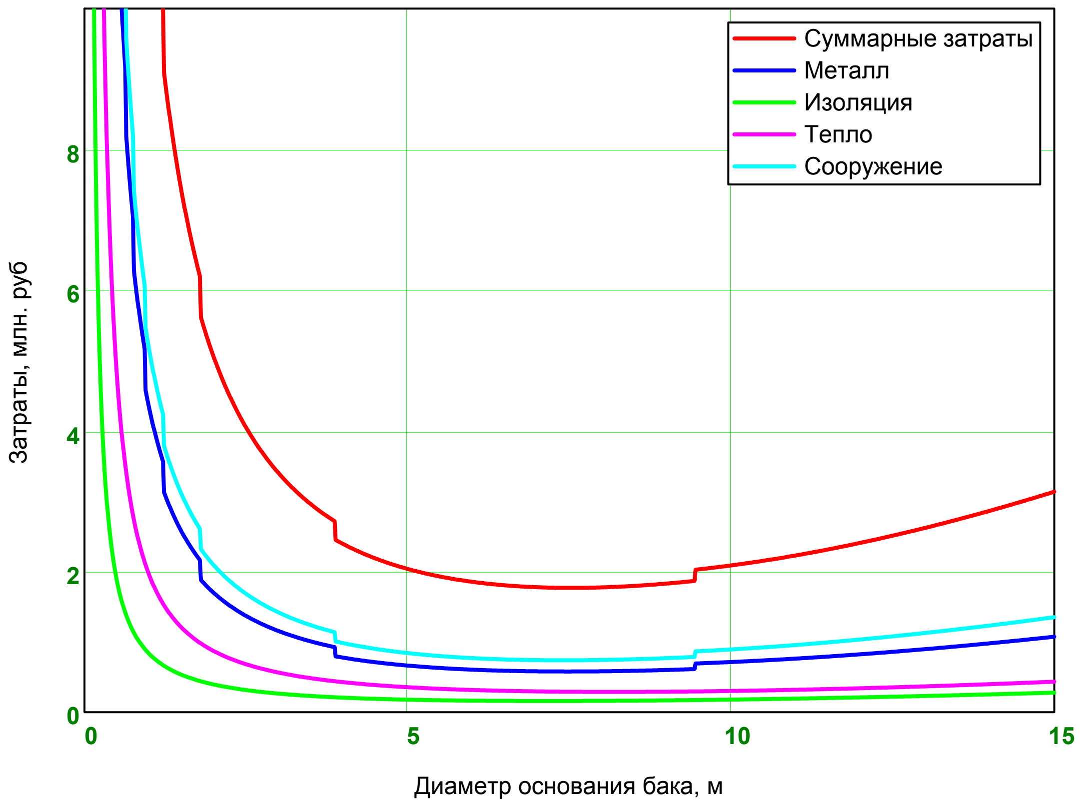
$d_{опт} := \text{Minimize}\left(Ст_{сумм}, d_{опт\_числ}\right) = 4.276 \cdot м$

$h_{опт} := \dfrac{4 \cdot V_б}{\pi \cdot d_{опт}^{\,2}} = 20.893 \cdot м$ $\dfrac{d_{опт}}{h_{опт}} = 0.204653119915060$

Вариант решения задачи при отсутствии затрат на землеотвод и земельный налог

$$Ст_{сумм}(d) := Ст_{ме}(d) \ldots + Ст_{изол}(d) \ldots + Ст_{теп}(d) \cdot T_{раб} \ldots + Ст_{сооруж}(d)$$

Построим графическую зависимость данной функции



Численный способ решения задачи оптимизации

Начальное приближение $d_{опт} := 8 \cdot м$

Определение координаты точки минимума целевой функции (суммарной площади поверхности бака) путем обращения к встроенной функции пакета Mathcad Minimize

$d_{опт} := \text{Minimize}\left(Ст_{сумм}, d_{опт\_числ}\right) = 7.524 \cdot м$

$h_{опт} := \dfrac{4 \cdot V_б}{\pi \cdot d_{опт}^{\ 2}} = 6.747 \cdot м$ $\qquad \dfrac{d_{опт}}{h_{опт}} = 1.115237204860225$

$$\left.\begin{matrix} \dfrac{\sqrt{3}\cdot i}{2}\Big) \\ \hline \\ \dfrac{\sqrt{3}\cdot i}{2}\Big) \\ \hline \end{matrix}\right]$$

$$\left.\begin{matrix} \left.\frac{3\cdot i}{\;}\right) \\ \\ \left.\frac{3\cdot i}{\;}\right) \end{matrix}\right]$$