

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

ИНСТИТУТ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ СЕРВИСА И ЭНЕРГЕТИКИ

Кафедра «Автомобили и тракторы»

**ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ
МОЕЧНОЙ УСТАНОВКИ**

Санкт-Петербург

2007г.

Исходные данные к расчетному заданию «Гидродинамический расчет моечной установки»

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Параметр	Значение																													
Тип насадки	ц	к	к.и	к.р	ц	к	к.и	к.р	ц	к	к.и	к.р	ц	к	к.и	к.р	ц	к	к.и	к.р	ц	к	к.и	к.р	ц	к	к.и	к.р	ц	к
Диаметр отверстия насадки, мм	4	1	1,7	1,3	1,6	2,1	2	1,5	1,8	2	2,2	3	2	1,45	1,1	2,3	1,2	1,4	1,25	2,1	1,9	1,7	1,45	2,32	1,55	2,25	1,6	1,4	0,8	1
Количество насадок, шт	10	12	15	17	9	13	18	8	10	16	17	15	12	14	10	18	8	10	12	18	16	8	10	12	14	16	18	9	11	13
h_b	1,0	1,4	1,0	1,8	2,2	1,0	2,6	1,4	2,6	1,4	1,8	1,0	2,2	1,5	2,5	1,0	1,4	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	1,2	1,6	1,7	1,3	2,1	2,3	2,5	2,7
h_n	1,8	2,6	2,2	1,0	1,4	1,0	1,8	2,5	1,2	2,2	2,6	1,4	1,1	1,3	1,5	1,7	2,0	2,3	2,5	2,7	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	1,5
$l_1, м$	10	8	7	10	8	9	12	10	8	10	12	7	8	9	10	11	12	8	9	10	11	12	7	8	9	10	11	12	7	8
$d_1, мм$	40	40	40	50	50	50	55	55	55	60	60	60	70	70	70	45	45	45	65	65	65	40	40	40	50	50	50	60	60	60
$l_2, м$	9	12	10	7	12	8	10	12	8	10	12	8	9	7	10	11	12	7	8	9	10	11	12	7	8	9	10	11	12	8
$d_2, мм$	40	40	40	50	50	50	55	55	55	60	60	60	70	70	70	45	45	45	65	65	65	40	40	40	50	50	50	60	60	60
$l_3, м$	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
$d_3, мм$	30	30	30	30	40	40	40	40	50	50	50	50	55	55	55	55	30	30	30	30	40	40	40	40	50	50	50	50	55	55
$l_4, м$	3	4	5	3	5	4	6	3	5	6	4	5	3	4	5	3	5	4	6	3	5	6	4	3	3	4	5	3	5	4
$d_4, мм$	20	20	20	25	25	25	30	30	30	35	35	35	40	40	40	20	20	20	25	25	25	30	30	30	35	35	35	40	40	40
Диаметр щетки, м	1,0	1,2	0,8	0,7	1,0	1,2	0,8	0,7	1,0	1,2	0,8	0,7	1,0	1,2	0,8	0,7	1,0	1,2	0,8	0,7	1,0	1,2	0,8	0,7	1,0	1,2	0,8	0,7	1,0	1,2
Частота вращения щетки, с ⁻¹	1,0	1,4	1,2	1,0	1,2	1,0	1,2	1,4	1,0	1,2	1,4	1,2	1,0	1,2	1,4	1,0	1,2	1,4	1,0	1,4	1,2	1,0	1,2	1,4	1,0	1,2	1,4	1,0	1,4	1,2
Высота щетки, мм	1,0	1,2	1,4	1,2	1,0	1,2	1,4	1,2	1,0	1,2	1,4	1,0	1,2	1,4	1,0	1,2	1,4	1,2	1,0	1,2	1,4	1,2	1,0	1,2	1,4	1,0	1,2	1,4	1,0	1,2
Количество щеток, шт	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3

1 Расчет моечной струйной установки

Таблица 1. – Исходные данные

Параметр	Значение
Тип насадки	
Диаметр отверстия насадки, мм	
Количество насадок, шт	
h_B	
h_H	
$l_1, \text{ м}$	
$d_1, \text{ м}$	
$l_2, \text{ м}$	
$d_2, \text{ м}$	
$l_3, \text{ м}$	
$d_3, \text{ м}$	
$l_4, \text{ м}$	
$d_4, \text{ м}$	
Диаметр щетки, м	
Частота вращения щетки, об/мин	
Высота щетки, мм	
Количество щеток, шт	

1.1 Определение расхода моеющей жидкости

Струйные моечные установки могут иметь одну или две моеющие рамки. Имеются конструкции, в которых, кроме того, предусмотрены рамки-смачивания и ополаскивания, или только рамка ополаскивания.

Давление воды во вспомогательных рамках не превышает, как правило 0,25...0,5 МПа, и расход через них невелик.

Давление в основных моеющих рамках гораздо выше, так как природа удаления загрязнений с помощью струй заключается в механическом разрушении слоя загрязнений за счет удара движущейся жидкости о преграду.

Загрязнения будут удаляться, если максимальная сила сцепления между частицами загрязнений F_M не будет превышать величины гидродинамического давления P_x при встрече струи с преградой.

Таким образом, условие удаления загрязнений

$$P_x \geq F_M \quad (1)$$

Определим прочность сцепления F_M (Н/м^2) между частицами

$$F_M = \frac{\pi\sigma}{2D} \left(\frac{1}{W} - 1 \right), \quad (2)$$

где σ - поверхностное натяжение воды, Н/м;

D - диаметр частиц загрязнений, м;

W - влажность загрязнений.

Для чистой воды $\sigma = 0,073$ Н/м.

Радиус частиц загрязнения в среднем составляет: для легковых автомобилей -

10...30·10⁻⁶ м, а для грузовых и автобусов – 25...300·10⁻⁶ м. Для практических расчетов можно принимать $D = 20...80 \cdot 10^{-6}$ м.

Из анализа уравнений (1.1) и (1.2) следует, что силу сцепления можно снизить путем увеличения влажности, загрязнений или уменьшением поверхностного натяжения жидкости.

Исследования процесса мойки показали, что если автомобиль постоянно смачивать водой, то влажность W не может превысить 0,2 (20%), что соответствует максимальному количеству влаги, которое может удержать загрязнение.

Поверхностное натяжение σ можно снизить применением подогретой воли или СМС. Например, СМС "Прогресс" уменьшает поверхностное натяжение, до $\sigma = 0,034$ Н/м.

Гидродинамическое давление P_x на расстоянии x от насадка

$$P_x = 0,5\rho V_x^2 \sin \alpha \quad (3)$$

где ρ - плотность жидкости в струе, кг/м³;

V_x - скорость жидкости при встрече с поверхностью, м/с;

α - угол встречи струи с поверхностью, град. = 90

Скорость потока в струе на расстоянии x от насадка V_x (м/с) принимаем равной начальной скорости потока:

$$V_x \approx V_n = \varphi \sqrt{\frac{2P_n}{\rho}}, \quad (4)$$

где φ - коэффициент скорости, зависящий от профиля сопла (таблица 2);

P_n - напор (давление) перед насадкой, Па.

Принимаем $P_n = 2,0 \cdot 10^6$ Па. Скорость жидкости на выходе из насадка может достигать 30...90 м/с.

1.2. Определение размеров зоны действия касательных сил и число распылителей.

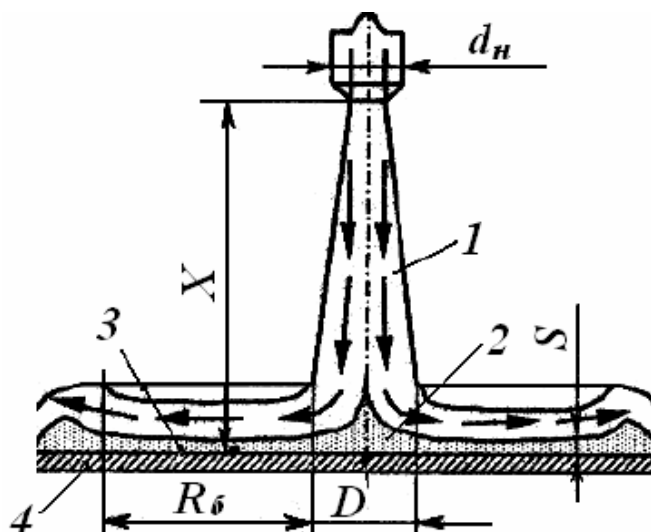


Рисунок 1. Схема растекания струи;

1 - струя; 2 - коноидальный объем; 3 - пограничный слой; 4 - омываемая поверхность; S - толщина пограничного слоя; D - диаметр основания конуса струи; R_δ - радиус действия касательных сил; X - расстояние до омываемой поверхности

Наиболее активное разрушение загрязнений производится касательными силами в зоне радиусом:

$$R_0 = d_n \cdot 0,56(\sqrt{196 \cdot g \cdot P_n} \cdot \frac{d_n}{V_n})^{0,4} \cdot (\frac{V_n^{-2}}{S})^{-0,02} \cdot (\frac{X}{d_n})^{-0,03}, \text{ м} \quad (5)$$

где d_n - диаметр отверстия насадки (*например* = $4 \cdot 10^{-3}$ м), (согласно исх. данных);

X – расстояние от насадки до омываемой поверхности = 1 м;

S – толщина пограничного слоя;

ν – кинематическая вязкость воды, м²/с (при $t = 20$ °С, $\nu = 1 \cdot 10^{-6}$ м²/с);

$$S = 0,346 \sqrt{\frac{\nu \cdot X}{\varphi \sqrt{196 \cdot g \cdot P_x}}}, \text{ м}; \quad (6)$$

Зоной действия касательных сил и ограничивается зона очистки гидравлическими струями. Далее жидкость произвольными потоками стекает с поверхности.

Следовательно, необходимо стремиться, чтобы очищаемая поверхность одновременно или последовательно попала в зону, ограниченную радиусом $R_0 = R_0 + r$.

Решение задачи одновременного попадания поверхности в зону действия струй на практике встречает значительные трудности. Например, струя из насадка $d_n = 4$ мм при напоре 0,5 МПа, на удалении 0,6...0,8 м создает зону с радиусом $R_0 = 0,10...0,15$ м. Следовательно, чтобы охватить такими зонами одновременно всю поверхность автомобиля, потребовалось бы не менее 3000 насадков. Это условие трудновыполнимо. Поэтому насадки закрепляются на рамке, которая перемещается вдоль автомобиля. Иногда для уменьшения числа насадков за счет увеличения площади контакта струи гидранты делают качающимися или вращающимися. Перекрытие площадей соседних зон должно быть в пределах 0,25...0,30 R_0 .

Количество насадок в моеющей рамке:

$$n = \frac{P_a}{2R_0 \cdot K_n}, \quad (7)$$

где P_a - обмываемый периметр автомобиля

$$P_a = 2 \cdot L_a + 2 \cdot B_a \text{ м}; \quad (8)$$

K_n - коэффициент взаимного перекрытия зон действия касательных сил струи = 0,75;

L_a – длина автомобиля, м. (4,5...7).

B_a – ширина автомобиля, м. (1,2...2,5).

Расход жидкости через насадки (подача насоса) Q (м³/с) определим по формуле

$$Q = f \cdot n \cdot \mu \frac{\pi d_n^2}{4} V_x, \quad (9)$$

где: f – коэффициент запаса расхода ($f = 1,2$);

d_n – диаметр отверстия насадки, м;

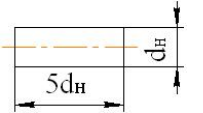
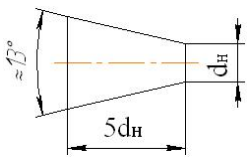
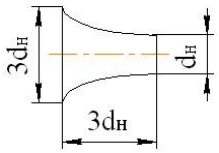
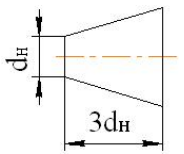
n – число насадок;

μ – коэффициент расхода.

Из формулы (9) следует, что выгоднее иметь насадки малого диаметра, так как если при неизменном расходе площадь сечения насадки уменьшить в n раз, во столько же раз возрастет V_x , а гидродинамическое давление P_x увеличится в n^2 раз.

Однако диаметр насадок на практике выполняют в пределах $2 \dots 6 \cdot 10^{-3}$ м, так как при меньшем диаметре насадки быстро засоряются. Кроме того, тонкая струя обладает малой устойчивостью при полете в воздухе и быстро распадается.

Таблица 2 - Характеристика насадок

Тип насадки	Профиль сопла	Коэффициент расхода μ	Коэффициент скорости φ
Цилиндрический		0,82	0,82
Конический		0,940	0,963
Коноидальный		0,980	0,980
Конический расходящийся		0,450	0,775

Лучшая форма насадок – коноидальная. Но из-за сложности их изготовления чаще используют конические или цилиндрические насадки.

Количество насадок в моющей рамке определяется обмываемым периметром автомобиля. Расстояние между насадками принимается равным 0,5 м.

1.3. Определение необходимого давления насосной установки

Выбор насоса производится с учетом его совместной работы с трубопроводами. Давление насоса P , Па проектируемой установки будет равно

$$P = P_n + \sum \Delta P_i + P_{\Gamma} \quad (10)$$

где $\Sigma \Delta P$ - суммарные потери давления в трубопроводах установки, МПа;
 P_r - геометрическое давление, Па;
 P_n - давление в насадке, Па.

$$P_r = H_r \cdot \rho_n \cdot g \quad (11)$$

где: H_r - геометрический напор, м;
 ρ_n - плотность жидкости, кг/м³

$$H_r = h_b + h_n \quad (12)$$

где: h_b - высота всасывания, м;
 h_n - высота нагнетания, м.

Основная расчетная схема изображена на рисунке 2.

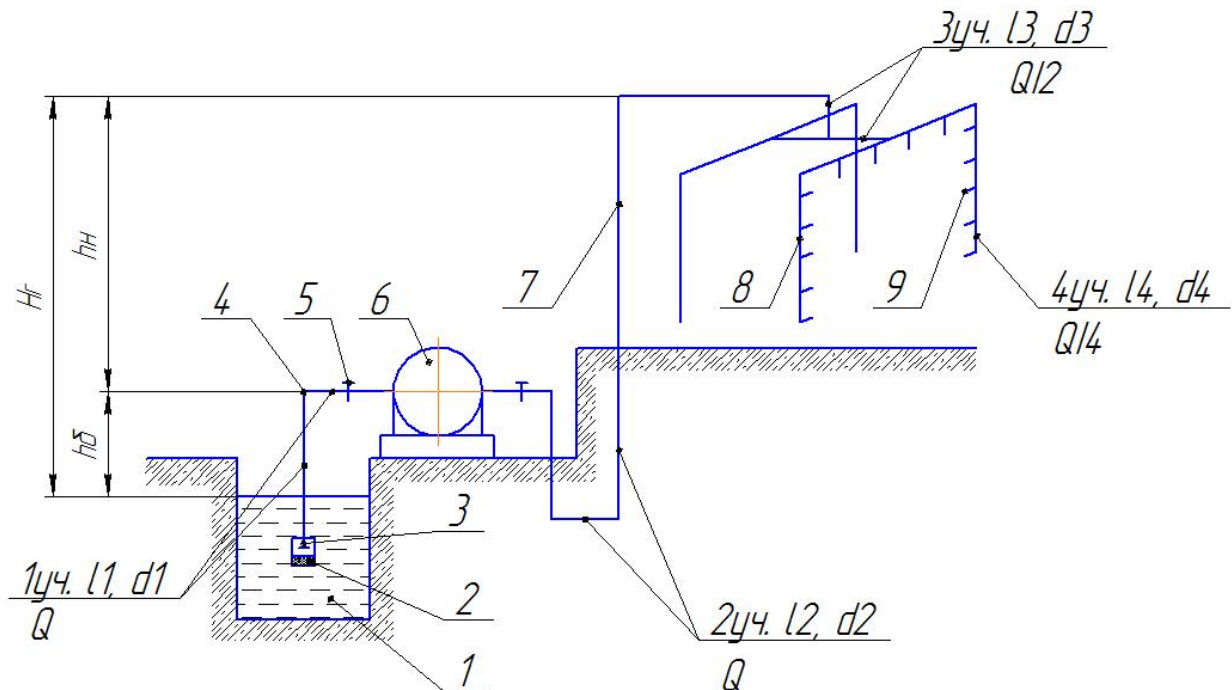


Рисунок 2- Расчетная схема насосной установки

1 - заборный колодец; 2 - сетка; 3 - всасывающий клапан; 4 - колено; 5 - задвижка; 6 - насос; 7 - трубопроводы; 8 - мощная рамка; 9 - насадка распылителя.

На каждом участке трубопровода (l_1, l_2, l_3, l_4) потери давления на преодоление гидравлических сопротивлений ΔP_i , Па определяются отдельно по уравнению

$$\Delta P_i = \left(\sum \xi + \lambda_m \frac{l}{d} \right) \frac{16Q^2}{2\pi^2 d^4} \cdot \rho \quad (13)$$

где $\Sigma \xi$ - сумма коэффициентов местных сопротивлений по длине трубопровода на участке длиной l с диаметром трубы d ;

λ_m - коэффициент потерь на трение.

С достаточной для практических расчетов точностью можно считать, что для сетки $\xi = 9,7$ для всасывающего клапана - 7,0 для задвижки - 5,5 для колена - 0,2.

Коэффициент сопротивления отверстия и насадка

$$\xi_n = \frac{1}{\varphi^2} - 1 \quad (14)$$

где φ - коэффициент скорости (таблица 2).

Для водопроводных стальных труб коэффициент потерь на трение определяется по выражению

$$\lambda_m = 0.11 \left(\frac{\Delta}{d} \right)^{-0.25} \quad (15)$$

где Δ – шероховатость трубопровода, мм.

d – диаметр трубопровода, мм.

Для водопроводных стальных труб шероховатость поверхности принимаем равной 0,2 мм.

При последовательном соединении трубопроводов (например l_1 и l_2) суммарные потери давления ΔP_Σ получаются сложением потерь на отдельных участках.

$$\Delta P_\Sigma = \Sigma \Delta P_i \quad (16)$$

ΔP_Σ - суммарные потери давления в разветвленном трубопроводе, МПа;

ΔP_i - потери давления в одном из последовательных трубопроводов, МПа.

При параллельном соединении одинаковых трубопроводов (например l_3 и l_4)

$$Q_i = \frac{Q}{i} \quad (17)$$

где Q_i - расход через один из параллельных трубопроводов, м³/с;

i - количество параллельных участков;

Суммарные потери давления ΔP_Σ при параллельном соединении одинаковых трубопроводов (например l_3 и l_4) равны потерям на отдельном участке.

$$\Delta P_\Sigma = \Delta P_i \quad (18)$$

где ΔP_Σ - суммарные потери давления в разветвленном трубопроводе, Па;

ΔP_i - потери давления в одном из параллельных трубопроводов, Па.

Далее, руководствуясь давлением P и подачей Q , по каталогу выбирают марку насоса.

Средний расход воды на мойку одного автомобиля:

$$Q_{cp} = Q \cdot t, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (19)$$

где: t – время мойки одного автомобиля, мин. = 3...10.

Число автомобилей, проходящих через мойку в течение часа:

$$N_a = \frac{60 \cdot V_a}{L_a \cdot K_H}, \quad (20)$$

где: K_H - коэффициент неравномерности поступления автомобилей = 1,5;

V_a - скорость передвижения автомобиля, м/мин. (2,5...5,5);

L_a - длина автомобиля = 4,5...7 м;

Часовой расход воды:

$$Q_u = Q_{cp} \cdot N_a, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (21)$$

1.4. Расчёт основных параметров очистных сооружений

Площадь сечения потока:

$$F = \frac{Q}{V_n}, \text{ м}^2 \quad (22)$$

где V_n - скорость протекания сточных вод = 0,15...0,2 м/с;

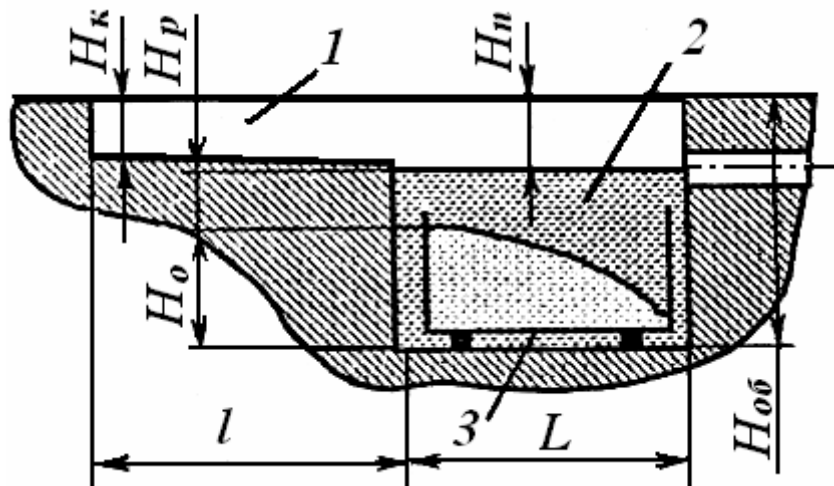


Рисунок 3- Очистные сооружения первого контура:

1 – канава; 2 – песколовка; 3 – контейнер

Длина песколовки:

$$L = K \cdot \frac{H_p \cdot V_n}{U_0}, \text{ м} \quad (23)$$

где: K – коэффициент запаса по длине = 1,3;

$H_p = F/V$ - расчетная глубина проточного слоя песколовки = $10,7 \cdot 10^{-3}$ м;

U_0 - для песка = $15 \dots 18 \cdot 10^{-3}$ м/с;

Глубина от пола до уровня воды в песколовке:

$$H_n = H_k + 0,03 \cdot l, \text{ м} \quad (24)$$

где: H_k – глубина канавы = 0,15 м;

l – расстояние от начала стока до стенки песколовки = 0,2...0,4 м;

Общая глубина песколовки:

$$H_{об} = H_n + H_p + H_0, \text{ м} \quad (25)$$

где H_0 – глубина осадочной части песколовки = 1 м;

Объем приемного резервуара рассчитываем исходя из 15-минутного пребывания в нем сточных вод:

$$V_{np} = 900 \cdot Q, \text{ м}^3 \quad (26)$$

Площадь водного зеркала гидроциклона:

$$F_B = \frac{Q}{M_{ци}}, \text{ м}^2 \quad (27)$$

где: $M_{ци} = 1,8 \cdot 10^{-4} \dots 1,9 \cdot 10^{-3}$ м³/(м²·с) – удельная гидравлическая нагрузка на гидроциклон;

Фактическая площадь зеркала воды одного гидроциклона :

$$F_{всп} = \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \text{ м}^2 \quad (28)$$

где: D – диаметр гидроциклона = 2 м;

Количество гидроциклонов:

$$N = \left(\frac{F_B}{F_{всп}} \right) + 1 \quad (29)$$

Если количество N отличается от целого числа более чем на 20%, следует изменить диаметр гидроциклона и расчет повторить.

Насосная станция второго подъема должна укомплектовываться насосами такой же производительности, что и насосы первого подъема. Напор должен определяться с учетом потерь в фильтрах, которые ориентировочно составляют около 0,1 МПа. Фильтры применяются типовые, например средняя скорость фильтрования $V = 10 \dots 13$ м/ч.

Требуемая площадь фильтров:

$$F_{сп} = \frac{3600 \cdot Q}{V_{сп}}, \text{ м}^2 \quad (30)$$

где $V_{сп}$ - средняя скорость фильтрования.

Объем резервуара очищенной воды определяю исходя из расчета обеспечения 30-минутного запаса воды для мойки автомобилей:

$$V_{рез} = 0,5 \cdot Q_ч, \text{ м}^3. \quad (31)$$

Бак для сбора нефтепродуктов выбирается таким, чтобы его наполнение продолжалось не менее суток:

$$V_{бн} = C \cdot Z \cdot T \cdot \frac{Q_ч}{\gamma_n}, \text{ м}^3 \quad (32)$$

где C – содержание нефтепродуктов исходя из их содержания в сточных водах = 0,9...1,2 кг/м³;

Z – количество рабочих смен в сутки = 1...2;

T – продолжительность рабочей смены = 12ч;

γ_n - плотность нефтепродуктов = 850...900 кг/м³;

Объем камеры бензомаслоуловителя принимается равным 1/3...1/5 объема песколовки:

$$V_б = \frac{1}{5} \cdot L \cdot B \cdot H_{об}, \text{ м}^3 \quad (33)$$

где B – ширина бензомаслоуловителя, м. = 1...3.