

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-8-110-122

^{1,*}Щербинина О.А., ¹Уваров В.А., ²Щербинин И.А., ¹Попов Е.Н.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова²ООО «ВЕГА»

*E-mail: shcherbinina.oa@gmail.com

РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫБОРУ ТИПОРАЗМЕРОВ КОРПУСА И УДАРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОМОЛЬНО-СМЕСИТЕЛЬНОГО РОТОРНО-ПУЛЬСАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА

Аннотация. В данной статье были проанализированы и даны основные рекомендации, направленные для оптимального выбора типоразмеров корпуса и ударных элементов помольно-смесительного роторно-пульсационного комплекса с учетом потребляемой мощности. Данные рекомендации были направлены для решения конструкторских задач, связанных с определением зависимостей размера корпуса с его основными технологическими параметрами, с возможностью применения данных при проектировании данных комплексов. Произведены расчеты ряда основных типоразмеров комплекса с учетом соотношений диаметра и ширины комплекса, размеров рабочих элементов, их площади тел, числом прорезей основанные на следующих входных величинах производительностью, потребляемой мощностью и параметром, характеризующим эффективность работы комплекса – знакопеременное давление в каналах ротора и статора.

В работе были определены критерии мощности, рассчитываемые для турбулентного режима. Получены графические зависимости общих затрат мощности комплекса от частоты вращения элементов статора и ротора для ряда основных типоразмеров комплекса. Был спроектирован корпус комплекса с учетом принятых типоразмеров. С учетом полученных значений общих затрат мощности для каждого зазора комплекса определили максимальный радиус ротора. Принимая во внимание условия конструктивной прочности толщины стенки цилиндров комплекса провели расчеты для диаметров статора и ротора для ряда типоразмеров комплекса. На основе данных вычислений выбрали число прорезей на роторе и статоре их ширину и высоту.

Ключевые слова: помольно-смесительный роторно-пульсационный комплекс, корпус, критерии мощности, общие затраты мощности, прорези.

Введение. Требования, предъявляемые различными отраслями промышленности, таких как строительная, пищевая, фармацевтическая, нефтеперерабатывающая, молочная, пивная, парфюмерная, сельскохозяйственная и многими другими, всегда опережают внедрение в практику эффективного смесительного оборудования, способного не только перемешивать, но и при этом одновременно гомогенизировать, диспергировать, а если требует технология производства, то и поризовывать, а также частично измельчать и при этом механоактивировать компоненты смеси. С учетом такой подачи необходимых требований, итоговым результатом процесса смешения является обеспечение высокой степени однородности показателей, характеризующих смесь, для исходного объема произведенной смеси, а определяется как получение наиболее максимальных, имеющихся в его составе необходимых для промышленности параметров [1].

Процесс смешения – это целый комплекс химико-технологической системы, главной составной частью которой является смешивающее оборудование [2]. При этом должна быть высокая надежность узлов и деталей самой установки, её

мобильность. Также возможность использования установки для смешения различных компонентов смеси для различных отраслей промышленности и пожеланий заказчика при сохранении высоких технологических параметров готового продукта. С учетом наличия множества актуальных аппаратов применяемых для решения задач смешения отлично себя показали следующие типы смесителей, помольно-смесительные роторно-пульсационные аппараты (РПА), основанные на принципах с реализацией электрогидравлического эффекта [3]. Их знаковыми особенностями являются небольшие габариты и при этом высокая производительность. Также конструктивной особенностью установок является создание значительных величин деформации и напряжений сдвига и обеспечение их равномерности в объеме рабочей камеры рабочего корпуса, что обеспечивает высокие показатели смешения компонентов многокомпонентной смеси.

Методы, оборудование, материалы. В качестве методов, применяемых к обоснованию рекомендаций к обоснованному выбору типоразмеров корпуса и ударных элементов роторно-пульсационного комплекса приняты работы [1–5].

Основная часть. Размер корпуса напрямую связан с тремя основными технологическими параметрами помольно-смесительного роторно-пульсационного комплекса производительностью, потребляемой мощностью и параметром, характеризующим эффективность работы комплекса – знакопеременное давление в каналах ротора и статора.

Размер корпуса его ширина и диаметр, и соотношение диаметра и ширины продиктованы размерами рабочих элементов сегмента статора и ротора и их площадями сечений, и количеством прорезей.

Для корпуса (рис. 1) диаметром 380 мм и шириной 125 мм. Расчет основных параметров мощности и производительности будет определен согласно аналитическим выражениям 1-7.

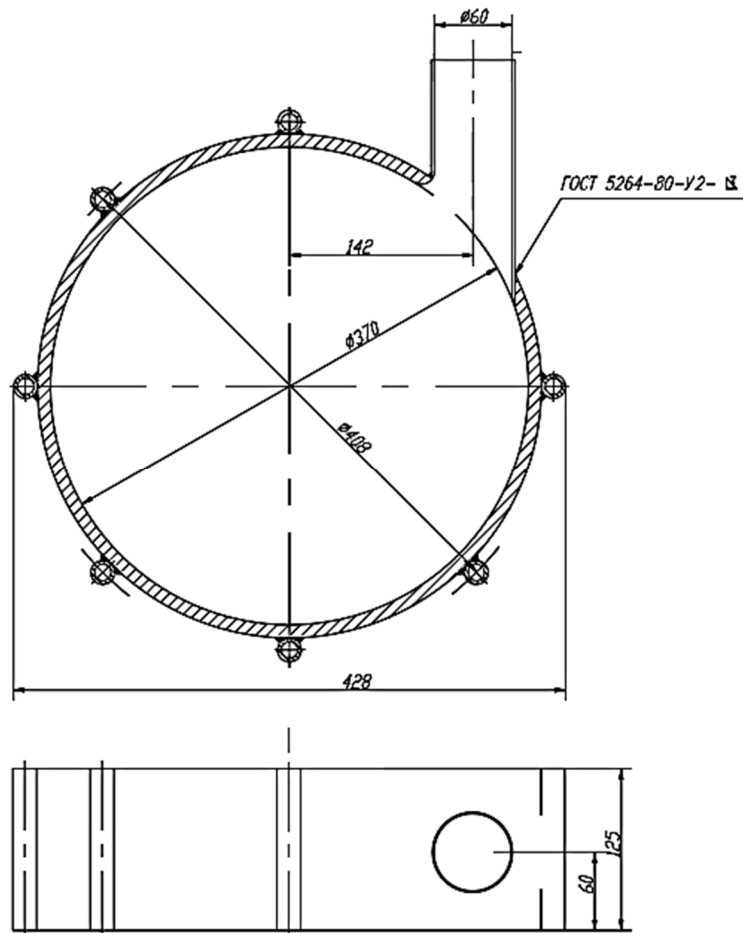


Рис. 1. Корпус ПСРПК с диаметром корпуса 380 мм и шириной 125 мм

Обоснование и выбор электродвигателя:
 Определение объема твердой фазы V [2]:

$$V = G/r, \tag{1}$$

где V – объем твердой фазы, m^3 ;

G – величина загрузки твердых включений, из соотношений на $1 m^3$ для марки пенобетона средней плотностью в сухом состоянии $600 \text{ кг}/m^3$, ПЦ 500Д0 503 кг, песок $M_k=1,35 \text{ 27 кг}$, $G=530 \text{ кг}$;
 r – плотность воды затворения, $r = 1000 \text{ кг}/m^3$.

$$V = 530/1000 = 0,53 \text{ кг}/m^3.$$

Величина концентрации твердой фазы в суспензии f [2]:

$$\varphi = \frac{V}{(V+V_1)}, \tag{2}$$

где V_1 – объем воды затворения, $V_1=0,292 m^3$.

$$\varphi = \frac{0,53}{(0,53 + 0,292)} = 0,645.$$

Определяем значение коэффициента динамической вязкости суспензии (3) [2].

$$\mu = \mu_{ж} \frac{0,59}{(0,77 - \varphi)^2}, \tag{3}$$

где $\mu_{ж}$ – динамический коэффициент вязкости, жидкости, в данном случае воды, $\mu_{ж} = 0,001 \text{ Па} \cdot \text{с}$.

$$\mu = 0,001 \frac{0,59}{(0,77 - 0,645)^2} = 37,76 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Поскольку в конструкции ПСРПУ имеется три кольцевых зазора, то необходимо произвести расчет затрачиваемой мощности для каждого кольцевого пространства.

Рассчитываем центробежный критерий Рейнольдса $Re_{ц}$ по формуле (4).

$$Re_{ц} = \frac{\rho n d^2}{60 \mu}, \quad (4)$$

где d – начальный диаметр зоны кольцевого пространства, м.

Находим $Re_{ц1}$:

$$Re_{ц1} = \frac{1000 \cdot 1450 \cdot 0,280^2}{60 \cdot 37,76 \cdot 10^{-3}} = 41,210 \cdot 10^3.$$

$$Re_{ц2} = \frac{1000 \cdot 1450 \cdot 0,310^2}{60 \cdot 37,76 \cdot 10^{-3}} = 50,503 \cdot 10^3.$$

$$K_N = 12,5 \cdot Re_{ц}^{-0,3} \cdot \left[\left(\frac{b_P \cdot z_P}{d} \right)^{0,7} + \left(\frac{b_C \cdot z_C}{d} \right)^{0,7} \right] \cdot \left(1 + 7,2 \frac{Q}{\pi \cdot d_P \cdot b_C \cdot z_C \cdot l} \right) \cdot \left(\frac{h}{d} \right)^{0,2}. \quad (5)$$

Рассчитываем критерий мощности:

для первого зазора

$$K_{N1} = 12,5 \cdot 41201^{-0,3} \cdot \left[\left(\frac{0,01 \cdot 30}{0,28} \right)^{0,7} + \left(\frac{0,01 \cdot 30}{0,28} \right)^{0,7} \right] \cdot \left(1 + 7,2 \frac{12,249}{3,14 \cdot 0,27 \cdot 0,01 \cdot 30 \cdot 0,03} \right) \cdot \left(\frac{0,05}{0,27} \right)^{0,2} = 1,982,$$

для второго зазора

$$K_{N2} = 12,5 \cdot 50503^{-0,3} \cdot \left[\left(\frac{0,01 \cdot 30}{0,31} \right)^{0,7} + \left(\frac{0,008 \cdot 45}{0,31} \right)^{0,7} \right] \cdot \left(1 + 7,2 \frac{12,249}{3,14 \cdot 0,31 \cdot 0,008 \cdot 45 \cdot 0,03} \right) \cdot \left(\frac{0,05}{0,31} \right)^{0,2} = 1,477$$

для третьего зазора

$$K_{N2} = 12,5 \cdot 60751^{-0,3} \cdot \left[\left(\frac{0,008 \cdot 45}{0,34} \right)^{0,7} + \left(\frac{0,008 \cdot 45}{0,34} \right)^{0,7} \right] \cdot \left(1 + 7,2 \frac{12,249}{3,14 \cdot 0,34 \cdot 0,008 \cdot 45 \cdot 0,03} \right) \cdot \left(\frac{0,05}{0,34} \right)^{0,2} = 1,284.$$

Затраты мощности рассчитываем по зависимости (6) [2].

$$P = K_N \cdot \rho \cdot l \cdot d^4 \cdot \left(\frac{n}{60} \right)^3, \quad (6)$$

где P – затраты мощности в зазоре, Вт.

Рассчитываем затраты мощности:

для первого зазора

$$P_1 = 1,982 \cdot 822 \cdot 0,03 \cdot 0,28^4 \cdot \left(\frac{1450}{60} \right)^3 = 4239 \text{ Вт},$$

для второго зазора

$$P_2 = 1,477 \cdot 822 \cdot 0,03 \cdot 0,31^4 \cdot \left(\frac{1450}{60} \right)^3 = 4748 \text{ Вт},$$

для третьего зазора

$$Re_{ц3} = \frac{1000 \cdot 1450 \cdot 0,340^2}{60 \cdot 37,76 \cdot 10^{-3}} = 60,751 \cdot 10^3.$$

Поскольку значения центробежного критерия Рейнольдса $Re_{ц}$ во всех кольцевых пространствах больше $3 \cdot 10^2$, то во всех трех зонах доминирующим являются турбулентные течения и расчет параметра мощности K_N , который зависит от конструктивных величин комплекса, а также от значений физико-химических параметров среды и расхода, будем производить для турбулентного режима.

Согласно [2] критерий мощности рассчитывается для турбулентного режима по формуле (5).

$$P_3 = 1,284 \cdot 822 \cdot 0,03 \cdot 0,34^4 \cdot \left(\frac{1450}{60} \right)^3 = 5970 \text{ Вт}.$$

Общие затраты мощности в кольцевых зазорах, $P_{3ц}$, будут равны:

$$P_{3ц} = \sum_{i=1}^3 P_i, \quad (7)$$

$$P_{3ц} = 4239 + 4748 + 5970 = 14957 \text{ Вт}.$$

Зависимость мощности от размеров корпуса ПСРПК и его основных рабочих органов – статора и ротора, представлены в графическом виде на рисунке 2.

Для размерного ряда корпуса помольно-смесительного роторно-пульсационного комплекса рассмотрим расчет параметра потребляемой мощности комплексом размер корпуса 420 мм и длиной 142 мм, представленного на рисунке 3.

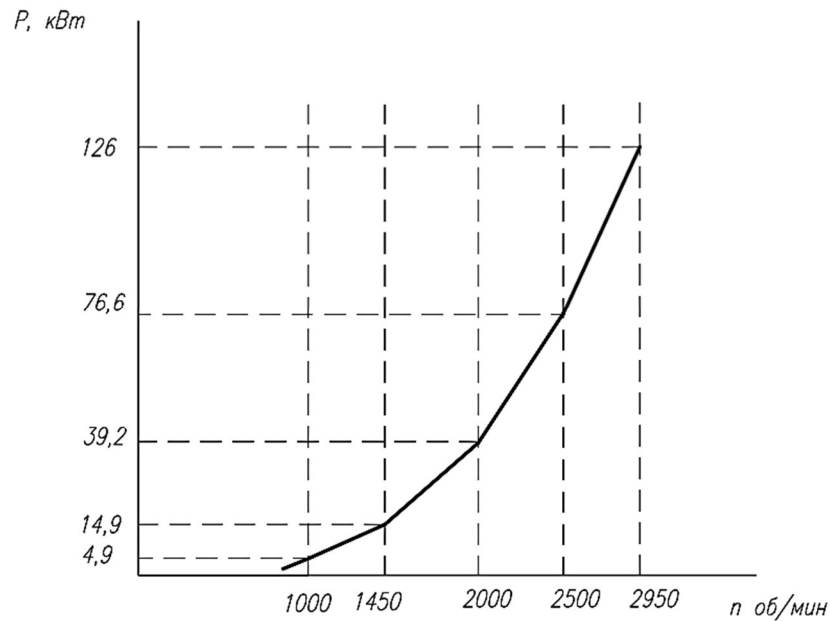


Рис. 2. Зависимость мощности от частоты вращения элементов статора и ротора размеры корпуса 380 мм и шириной 125 мм

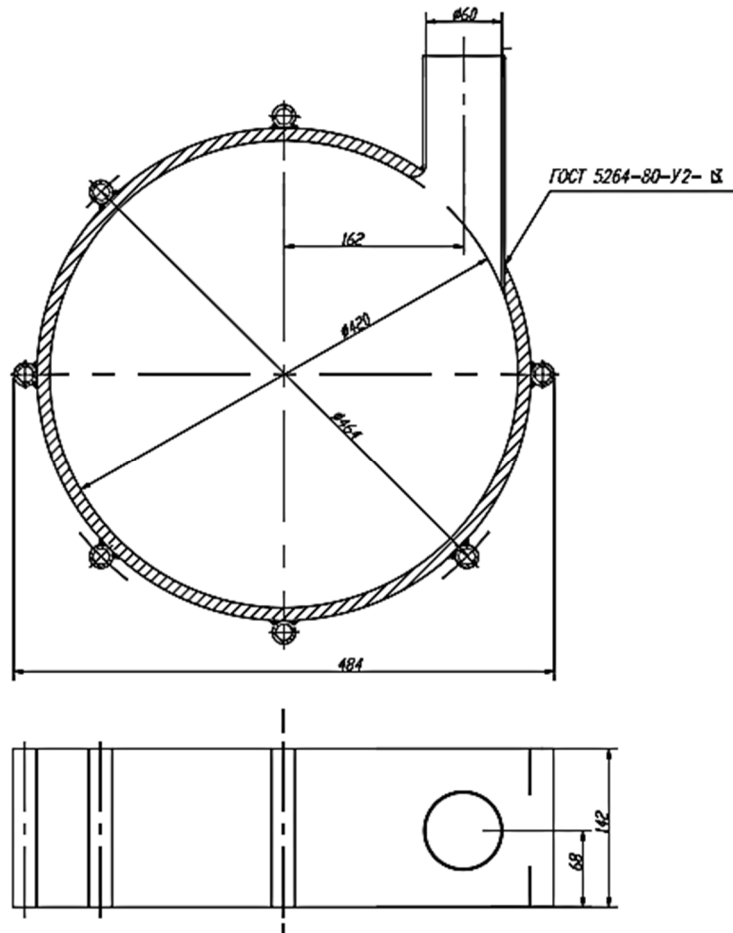


Рис. 3. Корпус ПСРПК с диаметром корпуса 380 мм и шириной 125 мм

Для исходного материала пенобетона средней плотностью в сухом состоянии 600 кг/м^3 коэффициент динамической вязкости суспензии берем из расчета, формула 3 равно $\mu = 37,76 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$.

Остальные параметры зависят от геометрических параметров корпуса ротора и соответственно параметров статора и ротора.

Находим $Re_{ц}$:

$$Re_{ц} = \frac{1000 \cdot 1450 \cdot 0,320^2}{60 \cdot 37,76 \cdot 10^{-3}} = 65,54 \cdot 10^3.$$

$$Re_{12} = \frac{1000 \cdot 1450 \cdot 0,350^2}{60 \cdot 37,76 \cdot 10^{-3}} = 78,4 \cdot 10^3.$$

$$Re_{13} = \frac{1000 \cdot 1450 \cdot 0,380^2}{60 \cdot 37,76 \cdot 10^{-3}} = 92,42 \cdot 10^3.$$

Поскольку значения центробежного критерия Рейнольдса Re_{12} во всех кольцевых пространствах больше $3 \cdot 10^2$, то во всех трех зонах доминирующим являются турбулентные течения и

$$K_{N1} = 12,5 \cdot 65540^{-0,3} \cdot \left[\left(\frac{0,01 \cdot 33}{0,32} \right)^{0,7} + \left(\frac{0,01 \cdot 33}{0,32} \right)^{0,7} \right] \cdot \left(1 + 8 \frac{13,54}{3,14 \cdot 0,31 \cdot 0,01 \cdot 33 \cdot 0,03 \cdot 1450} \right) \cdot \left(\frac{0,05}{0,32} \right)^{0,2} = 1,154,$$

для второго зазора

$$K_{N2} = 12,5 \cdot 78400^{-0,3} \cdot \left[\left(\frac{0,01 \cdot 35}{0,35} \right)^{0,7} + \left(\frac{0,008 \cdot 35}{0,35} \right)^{0,7} \right] \cdot \left(1 + 7,2 \frac{13,54}{3,14 \cdot 0,31 \cdot 0,008 \cdot 45 \cdot 0,35 \cdot 1450} \right) \cdot \left(\frac{0,05}{0,35} \right)^{0,2} = 1,023,$$

для третьего зазора

$$K_{N3} = 12,5 \cdot 92420^{-0,3} \cdot \left[\left(\frac{0,008 \cdot 38}{0,38} \right)^{0,7} + \left(\frac{0,008 \cdot 38}{0,38} \right)^{0,7} \right] \cdot \left(1 + 8 \frac{12,249}{3,14 \cdot 0,35 \cdot 0,008 \cdot 30 \cdot 0,35 \cdot 1450} \right) \cdot \left(\frac{0,05}{0,38} \right)^{0,2} = 0,835.$$

Затраты мощности рассчитываем по зависимости (6) [2].

Рассчитываем затраты мощности:

для первого зазора

$$P_1 = 1154 \cdot 822 \cdot 0,03 \cdot 0,32^4 \cdot \left(\frac{1450}{60} \right)^3 = 4213 \text{ Вт},$$

для второго зазора

$$P_2 = 1,023 \cdot 822 \cdot 0,03 \cdot 0,35^4 \cdot \left(\frac{1450}{60} \right)^3 = 5342 \text{ Вт},$$

для третьего зазора

расчет критерия мощности K_N , который зависит от конструктивных величин комплекса, а также от значений физико-химических параметров среды и расхода, будем производить для турбулентного режима.

Согласно [2] критерий мощности рассчитывается для турбулентного режима по формуле (5).

Рассчитываем критерий мощности: для первого зазора

$$P_3 = 0,835 \cdot 822 \cdot 0,03 \cdot 0,38^4 \cdot \left(\frac{1450}{60} \right)^3 = 6059 \text{ Вт}.$$

Общие затраты мощности в кольцевых зазорах, $P_{3ц}$, будут равны:

$$P_{3ц} = 4213 + 5342 + 6059 = 15614 \text{ Вт}.$$

Зависимость мощности от размеров корпуса ПСРПК и его основных рабочих органов - статора и ротора, представлены в графическом виде на рисунке 4.

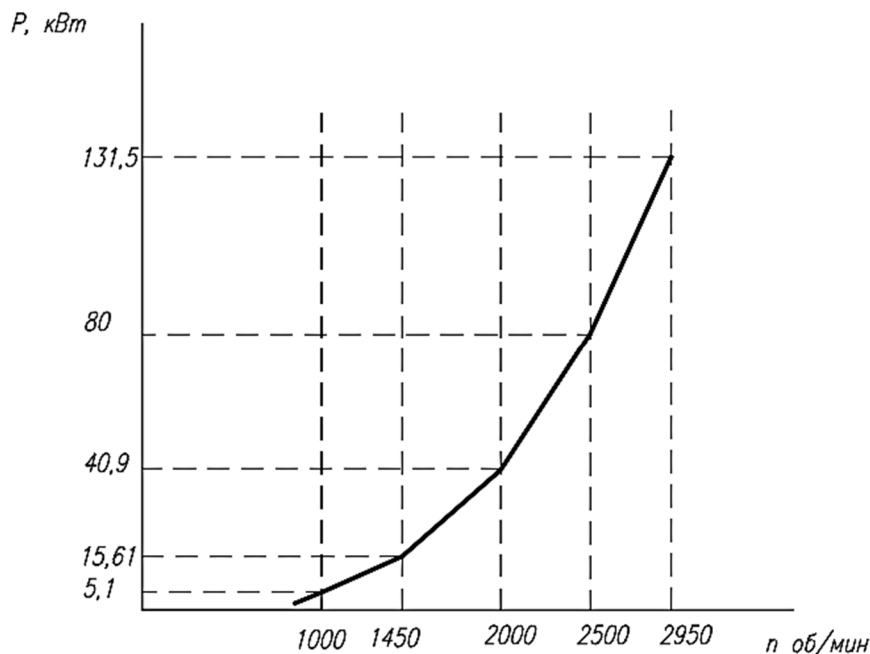


Рис. 4. Зависимость мощности от частоты вращения элементов статора и ротора размеры корпуса 420 мм и шириной 142 мм

$$K_{N2} = 12,5 \cdot 69700^{-0,3} \cdot \left[\left(\frac{0,01 \cdot 36}{0,39} \right)^{0,7} + \left(\frac{0,008 \cdot 36}{0,39} \right)^{0,7} \right] \cdot \left(1 + 8,6 \frac{16,75}{3,14 \cdot 0,31 \cdot 0,008 \cdot 36 \cdot 0,35 \cdot 1450} \right) \cdot \left(\frac{0,05}{0,39} \right)^{0,2} = 1,031,$$

для третьего зазора

$$K_{N2} = 12,5 \cdot 112900^{-0,3} \cdot \left[\left(\frac{0,008 \cdot 39}{0,42} \right)^{0,7} + \left(\frac{0,008 \cdot 39}{0,42} \right)^{0,7} \right] \cdot \left(1 + 8,6 \frac{16,75}{3,14 \cdot 0,35 \cdot 0,008 \cdot 39 \cdot 0,35 \cdot 1450} \right) \cdot \left(\frac{0,05}{0,42} \right)^{0,2} = 0,739.$$

Затраты мощности рассчитываем по зависимости (6) [2].

Рассчитываем затраты мощности:

для первого зазора:

$$P_1 = 1065 \cdot 822 \cdot 0,03 \cdot 0,38^4 \cdot \left(\frac{1450}{60} \right)^3 = 7731 \text{ Вт},$$

для второго зазора

$$P_2 = 1,031 \cdot 822 \cdot 0,03 \cdot 0,39^4 \cdot \left(\frac{1450}{60} \right)^3 = 8301 \text{ Вт},$$

для третьего зазора

$$P_3 = 0,739 \cdot 822 \cdot 0,03 \cdot 0,42^4 \cdot \left(\frac{1450}{60} \right)^3 = 8005 \text{ Вт}.$$

Общие затраты мощности в кольцевых зазорах, $P_{3ц}$, будут равны:

$$P_{3ц} = 7731 + 8301 + 8005 = 24047 \text{ Вт}.$$

Зависимость мощности от размеров корпуса ПСРПК и его основных рабочих органов - статора и ротора представлены в графическом виде на рисунке 6.

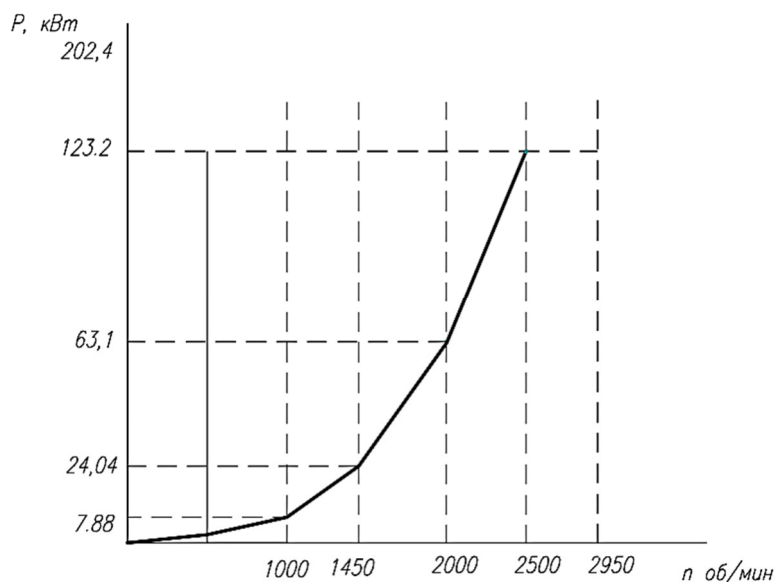


Рис. 6. Зависимость мощности от частоты вращения элементов статора и ротора размеры корпуса 460 мм и шириной 146 мм

Согласно полученным расчетным значениям потребляемой мощности, принимаем мощность электродвигателя $P_H=30$ кВт, выбираем электродвигатель марки АИР200М4, параметры занесем в таблицу 1.

Выбор электродвигателя марки АИР обусловлен высоким к.п.д. и коэффициентом мощности двигателей данной серии. Данная серия относится к двигателям пятого поколения, которые отличаются улучшенными характеристиками, что обусловлено применением новых ферромагнитных материалов.

Таблица 1

Параметры электродвигателя

| Типоразмер | Мощность кВт | Синхронная частота мин ⁻¹ | При ном. нагрузке | | | Тп/Тн ом | Тmax/Тном | Тmin/Тном | Ip/Iном |
|------------|--------------|--------------------------------------|-------------------|------|------|----------|-----------|-----------|---------|
| | | | 3 | 90,5 | 0,89 | | | | |
| АИР200М4 | 30 | 1500 | 3 | 90,5 | 0,89 | 1,9 | 2,9 | 1,8 | 7 |

Проведем расчет двигателя по перегрузу по формуле (8)

$$D_p = (P_H - P) / P_H \cdot 100 \%, \tag{8}$$

$$D_p = (30 - 24) / 24 \cdot 100 \% = 25 \%,$$

где D_p - процент недогруза электродвигателя, %;
 P_H - мощность выбранного электродвигателя, кВт;
 P - расчетная мощность, потребляемая электродвигателем, кВт.

Условие $D < 20\%$ выполняется, следовательно, недогруз выбранного электродвигателя будет удовлетворять условиям экономичной работы.

Рассчитаем номинальную асинхронную частоту вращения вала электродвигателя по формуле (9).

$$n_{ном} = n_0 \cdot s / 100\%, \quad (9)$$

$$n_{ном} = 1500 - 1500 \cdot 3 / 100\% = 1455 \text{ мин}^{-1},$$

где $n_{ном}$ – номинальная частота вращения вала электродвигателя, мин^{-1} ;

n_0 – синхронная частота вращения, мин^{-1} ;

s – скольжение, %.

Рассчитаем относительное отклонение частоты вращения, от принятого ранее значения для расчетов по формуле (10).

$$D_n = (n_{ном} - n) / n_{ном} \cdot 100\%, \quad (10)$$

$$D_n = (1455 - 1450) / 1455 \cdot 100\% = 0,34\%,$$

где D_n – относительное отклонение частоты вращения, %;

$n_{ном}$ – номинальная частота вращения вала электродвигателя, мин^{-1} ;

n – частота вращения, принятая для расчетов, мин^{-1} .

Расчет производительности помольно-смесительного роторно-пульсационного комплекса рассчитываем, на основе использования в качестве подающего устройства в ПСРПК шнекового преднасоса.

Значение параметра производительности аппарата обуславливается тем объемом пропускаемой смеси, которое подает шнек преднасоса.

Соответственно объем смеси, передаваемой шнеком, то есть объемная производительность

ПСРПК Q определяется согласно выражению [5] рисунок 7:

$$Q = \frac{\pi \cdot (D_{нар}^2 - d_{вн}^2) \cdot (t - \delta) \cdot n \cdot K_1}{4 \cdot 60}, \quad (11)$$

где Q – объемная производительность преднасоса, м^3 ;

$D_{нар}$ – наружный диаметр шнека, $D_{нар} = 0,1 \text{ м}$;

t – шаг шнека, $t = 0,04 \text{ м}$;

n – частота вращения, $n = 1450 \text{ мин}^{-1}$;

$d_{вн}$ – внутренний диаметр шнека, $d_{вн} = 0,07 \text{ м}$;

K_1 – коэффициент возврата смеси, $K_1 = 0,95$;

d – толщина лопасти шнека, $d = 0,003 \text{ м}$ [5].

Подставляя значения в формулу 11, получаем:

$$Q = \frac{3,14 \cdot (0,1^2 - 0,07^2) \cdot (0,04 - 0,003) \cdot 1450 \cdot 0,95}{4 \cdot 60} = 12,24 \text{ м}^3.$$

Расчет рабочих диаметров цилиндров роторно-пульсационного аппарата.

Согласно [2] допускаем, что диспергирование смеси осуществляется главным образом в зоне между сегментами ротора и статора, для вычислений применяем зависимость [2]

$$\tau_3 = \chi^2 \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot R^2 \quad (12)$$

или, выражая радиус R , получим выражение (13)

$$R = \sqrt{\frac{\tau_3}{\chi^2 \cdot \rho \cdot \omega^2}}, \quad (13)$$

где R – максимальный радиус ротора, м ;

ρ – значение плотности среды, $\rho = 822 \text{ кг/м}^3$;

τ_3 – предельное напряжение сдвига, при котором газовая среда остается вовлеченной в суспензию, $\tau_3 = 0,8 \cdot 10^5 \text{ Па}$;

ω – значение угловой скорости вращения ротора, рад/с ;

χ – величина коэффициента турбулентного обмена в зазоре, $\chi = 0,3$ [2].

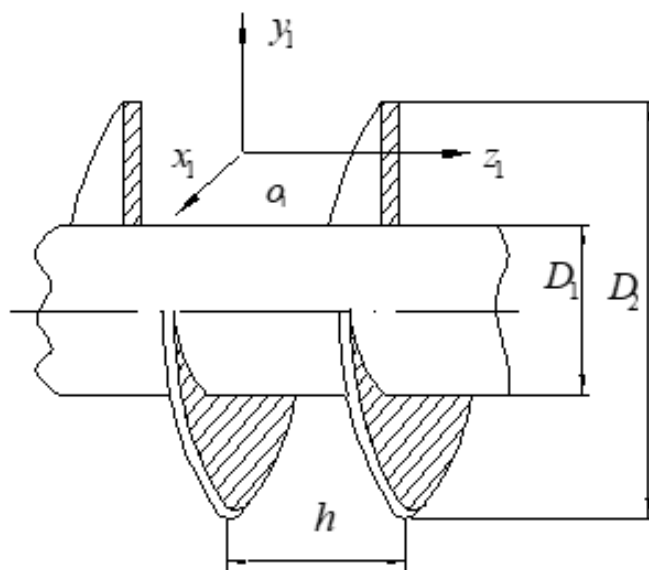


Рис. 7. Расчетная схема к определению производительности ПСРПК

Для данного насоса принимаем двигатель с частотой вращения вала 1450 мин^{-1} , тогда угловая скорость вращения ротора равна:

$$w = 2 \cdot \pi \cdot n / 60, \quad (14)$$

$$w = 2 \cdot 3,14 \cdot 1450 / 60 = 151,84 \text{ рад/с},$$

где n – частота вращения вала, $n = 1450 \text{ мин}^{-1}$.

Подставляя полученные значения в формулу (13), получаем максимальный радиус ротора:

$$R = \sqrt{\frac{0,8 \cdot 10^5}{0,3^2 \cdot 822 \cdot 151,84^2}} = 0,217 \text{ м}.$$

или максимальный диаметр ротора будет равен:

$$d_{\max} = R \cdot 2 = 0,217 \cdot 2 = 0,434 \text{ м}.$$

Согласно рекомендациям, приведенным в [2], наибольший диаметр ротора принимаем равным $d_{p2} = 0,420 \text{ м}$.

Для предотвращения проскальзывания необработанной среды применяют двух- и трехцилиндровые роторы, а также двух- и трехцилиндровые статоры. Исходя из параметров, заложенных для конструктивной прочности, стенки цилиндров должны быть толщиной 10 мм [2], и величине зазора между ротором и статором минимум $h = 5 \text{ мм}$ [2], вычисляем величину диаметров для цилиндров ротора $d_{p1} = 0,280 \text{ м}$, $d_{p2} = 0,340 \text{ м}$; и для цилиндров статоров $d_{c1} = 0,250 \text{ м}$, $d_{c2} = 0,310 \text{ м}$. (1 типоразмер корпуса 380 мм), $d_{p2} = 0,310 \text{ м}$, $d_{p2} = 0,380 \text{ м}$; для цилиндров статоров $d_{c1} = 0,280 \text{ м}$, $d_{c2} = 0,340 \text{ м}$. (2 типоразмер корпуса 420 мм) а для 3 типоразмера корпуса диаметр 460 мм $d_{p2} = 0,330 \text{ м}$, $d_{p2} = 0,390 \text{ м}$; для цилиндров статоров $d_{c1} = 0,360 \text{ м}$, $d_{c2} = 0,420 \text{ м}$.

Далее, исходя из размеров роторов и статоров и технологических условий, выбираем число прорезей на роторе и статоре их ширину и высоту.

По рекомендациям, приведенным в [2], для первой входной пары сегментов ротор – статор возможно сделать 30 прорезей с шириной 10 мм, $z_{p1} = z_{c1} = 30$, $b_{p1} = b_{c1} = 0,01 \text{ м}$, на второй – 45 прорезей с шириной 8 мм, $z_{p2} = z_{c2} = 45$, $b_{p2} = b_{c2} = 0,008 \text{ м}$. Высота прорезей на всех цилиндрах – 30 мм, $l = 0,03 \text{ м}$.

Выводы.

1. Получены значения для затрат мощности для каждого зазора в отдельности и общие затраты мощности, для ряда основных типоразмеров комплекса с учетом соотношений диаметра и ширины комплекса.

2. Получены графические зависимости мощности от частоты вращения элементов статора и ротора с учетом соотношений диаметра и ширины комплекса.

3. Разработаны корпуса комплекса с учетом принятых типоразмеров корпуса и соотношений его диаметра и ширины.

4. На основе полученных значений общих затрат мощности для каждого зазора комплекса определили максимальный радиус ротора, с учетом предложенного размерного ряда.

5. Учитывая конструктивную прочность толщины стенки цилиндров комплекса, рассчитали для диаметров статора и ротора для предложенного ряда типоразмеров комплекса число прорезей на роторе и статоре. На основе расчетов выбрали их ширину и высоту.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Балабудкин М.А., Борисов Г.Н. О применении аппаратов роторно – пульсационного типа для приготовления диспергированных лекарственных средств // Хим.-фарм. журнал. 1973. Т.7. №6. С. 29–32.
2. Балабудкин М.А. Роторно-пульсационные аппараты в химико-фармацевтической промышленности. М.: Медицина, 1983. 160 с.
3. Брагинский Л.Н., Бегачев В.И., Барабаш В.М. Перемешивание в жидких средах. Физические основы и инженерные методы расчета. Л.: Химия, 1984. 336 с.
4. Богданов В.В., Христофоров Е.И., Клоцунг Б.А. Эффективные малообъемные смесители. М.: Высшая школа. 1985. 220 с.
5. Курмаз Л.В., Скойбеда А.Т. Детали машин проектирование. Учебное пособие. М. В-Ш.: 1995. 308 с.
6. Scheibe W. Formation and dispersion of agglomerates during dry fine-grindings // ZKG International. 1991. Vol. 2. Pp. 57–62.
7. Xiongwei Ni, Colin C. Stevenson. On the effect of gap size between baffle outer diameter tube inner diameter on the mixing characteristics in an oscillatory baffled column // Journal of Chemical Technology and Biotechnology. 1999. №74. Pp. 587–593.
8. Боев Е.В., Шулаев Н.С., Николаев Е.А., Иванов С.П. Разработка конструкции малообъемного роторно-дискового дезинтегратора - смесителя для получения гетерогенных смесей // Химическая промышленность сегодня. 2008. № 3. С. 42–44.
9. Лапонов С.В., Шулаев Н.С., Иванов С.П., Ибрагимов И.Г. Влияние конструктивных особенностей роторно-дисковых смесителей на дисперсный состав эмульсий // Труды РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. 2018. №1/290. С. 72–81.
10. Удодов С.А., Чариков Г.Ю. Оптимизация параметров активации в роторно-пульсаци-

онных аппаратах // Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КубГТУ". 2020. № 8. С. 258–263.

11. Шафрай А.В., Сафонова Е.А., Бородулин Д.М., Головачева Я.С., Ратников С.А., Керлос В.Б. Моделирование процесса интенсификации экстракции изогумулона в роторно-пульсационном аппарате при помощи нейронных сетей // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 3. С. 593–603. DOI: 10.21603/2074-9414-2021-3-593-603

12. Карташов С.Г., Клычев Е.М. Модернизация роторно-пульсационных аппаратов для использования в технологиях приготовления жидких кормов // Вестник всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2018. № 4. С. 27–30.

13. Новосельцева М.А., Гутова С.Г., Каган Е.С., Бородулин Д.М. Структурно-параметрическая идентификация модели технологического процесса при использовании роторно-пульсационного аппарата // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2019. № 49. С. 63–72.

DOI: 10.17223/19988605/49/8

14. Удодов С.А., Чариков Г.Ю. Оптимизация параметров активации в роторно-пульсационных аппаратах // Девелопмент и инновации в строительстве. Сборник материалов III Международной научно-практической конференции. 2020. С. 257–263.

15. Король А.А., Еренков О.Ю. Совершенствование конструкции роторно-пульсационного аппарата // Наука сегодня: реальность и перспективы. материалы международной научно-практической конференции. Научный центр "Диспут". 2017. С. 15–17.

Информация об авторах

Щербинина Ольга Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: shcherbinina.oa@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Уваров Валерий Анатольевич, доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: isi@bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Щербинин Игорь Алексеевич, кандидат технических наук, директор ООО «ВЕГА». Россия, 308009, Белгород, ул. пр-т Гражданский, д.18.

Попов Евгений Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: evg-porov@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

16. Карпов А.Г., Василишин М.С., Кухленко А.А., Иванов О.С., Егоров В.Ю. К оценке напорно-расходных характеристик роторно-пульсационного аппарата // Химическая промышленность сегодня. 2017. № 2. С. 27–30.

17. Кухленко А.А., Василишин М.С., Иванова Д.Б. Методика расчета площади проходного сечения прерывателя многоступенчатого аппарата роторно-пульсационного типа // Химическая технология. 2017. Т. 18. № 5. С. 233–239.

18. Просин М.В., Стабровская Е.И., Васильченко Н.В., Сафонова Е.А. Влияние рециркуляции продукта на эффективность роторно-пульсационного аппарата // Инновации в пищевой биотехнологии. Сборник трудов Международного симпозиума. 2018. С. 349–353.

19. Щербинина О.А., Щербинин И.А., Уваров В.А. Вычисление радиальной компоненты вектора скорости вязкого материала в роторно-пульсационной установке // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 5. С. 106–109.

20. Щербинина О.А., Щербинин И.А., Уваров В.А. Вычисление тангенциальной компоненты вектора скорости вязкого материала в роторно-пульсационной установке // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. № 6. С. 170–173.

21. Макаров Ю.И., Колесников Г.Е., Карпенко Л.А. К вопросу об оптимальном проектировании роторно-пульсационных аппаратов // Оптимальное проектирование в задачах химического машиностроения. М.: МИХМ, 1983. С. 5–8.

22. Мещеряков И.В., Анушенков А.Н. Разработка и исследование гидроударно-кавитационного аппарата роторного типа // Научный журнал «Сибирского федерального университета» серия «Техника и технологии». Красноярск. 2013. №7. С. 786–799.

Поступила 22.11.2022 г.

© Щербинина О.А., Уваров В.А., Щербинин И.А., Попов Е.Н., 2023

^{1,*}*Shcherbinina O.A.*, ¹*Uvarov V.A.*, ²*Shcherbinin I.A.*, ¹*Popov E.N.*

¹*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*

²*LLC "VEGA"*

**E-mail: shcherbinina.oa@gmail.com*

RECOMMENDATIONS FOR THE SELECTION OF STANDARD SIZES OF THE BODY AND IMPACT ELEMENTS OF THE GRINDING AND MIXING ROTARY PULSATION COMPLEX

Abstract. In this article, the main recommendations aimed at the optimal choice of body sizes and impact elements of the grinding and mixing rotary pulsation complex, taking into account the power consumption, were analyzed and given. These recommendations were aimed at solving design problems related to determining the dependencies of the size of the housing with its main technological parameters, with the possibility of using data in the design of these complexes. Calculations of a number of basic standard sizes of the complex have been made taking into account the ratios of the diameter and width of the complex, the dimensions of the working elements, their body area, the number of slots based on the following input values, productivity, power consumption and a parameter characterizing the efficiency of the complex – alternating pressure in the channels of the rotor and stator.

In the work, the power criteria calculated for the turbulent regime were determined. Graphical dependences of the total power costs of the complex on the rotational speed of the stator and rotor elements for a number of basic sizes of the complex are obtained. The housing of the complex was designed taking into account the accepted standard sizes. Taking into account the obtained values of the total power costs for each gap of the complex, the maximum radius of the rotor was determined. Taking into account the conditions of structural strength of the cylinder wall thickness of the complex, calculations were made for the diameters of the stator and rotor for a number of standard sizes of the complex. Based on these calculations, we selected the number of slots on the rotor and stator, their width and height.

Keywords: grinding and mixing rotary pulsation complex, housing, power criteria, total power costs, slots.

REFERENCES

- Balabudkin M.A., Borisov G.N. On the use of rotary pulsation type apparatuses for the preparation of dispersed medicines [O primeneni apparatov rotorno – pul'sacionnogo tipa dlya prigotovleniya dispergirovannykh lekarstvennykh sredstv]. Chem. – pharm. journal. 1973. Vol.7. No. 6. Pp. 29–32. (rus)
- Balabudkin M.A. Rotary pulsating devices in the chemical and pharmaceutical industry [Rotorno – pul'sacionnye apparaty v himiko – farmaceuticheskoy promyshlennosti]. M.: Medicine, 1983. 160 p. (rus)
- Braginsky L.N., Begachev V.I., Barabash V.M. Mixing in liquid media. Physical foundations and engineering methods of calculation [Peremeshivanie v zhidkih sredah. Fizicheskie osnovy i inzhenernye metody rascheta]. L.: Chemistry, 1984. 336 p. (rus)
- Bogdanov V.V., Khristoforov E.I., Klotsung B.A. Efficient low-volume mixers [Effektivnye maloob"emnye smesiteli]. Moscow: Higher School. 1985. 220 p. (rus)
- Kurmaz L.V., Skoybeda A.T. Machine parts design [Detali mashin proektirovanie]. Textbook. M. V. S.: 1995. 308 p. (rus)
- Scheibe W. Formation and dispersion of agglomerates during dry fine-grindings. ZKG International. 1991. No.2. Pp. 57–62.
- Xiongwei Ni, Colin C. Stevenson. On the effect of gap size between baffle outer diameter tube inner diameter on the mixing characteristics in an oscillatory baffled column. Journal of Chemical Technology and Biotechnology. 1999. No.74. Pp. 587–593.
- Boev E.V., Shulaev N.S., Nikolaev E.A., Ivanov S.P. Design development of a low-volume rotary-disk disintegrator -mixer for obtaining heterogeneous mixtures [Razrabotka konstrukcii maloob"emnogo rotorno-diskovogo dezintegratora - smesitelya dlya polucheniya geterogennykh smesey]. Chemical industry today. 2008. No. 3. Pp. 42–44. (rus)
- Laponov S.V., Shulaev N.S., Ivanov S.P., Ibragimov I.G. Influence of design features of rotary-disk mixers on the dispersed composition of emulsions [Vliyanie konstruktivnykh osobennostej rotorno-diskovykh smesitelej na dispersnyy sostav emul'sij]. Proceedings of Gubkin Russian State University of Oil and Gas. 2018. No. 1/290. Pp. 72–81. (rus)
- Udodov S.A., Charikov G.Yu. Optimization of activation parameters in rotary pulsation devices [Optimizatsiya parametrov aktivatsii v ro-

torno-pul'sacionnyh apparatah]. Electronic network polythematic journal "Scientific works of KubSTU". 2020. No. 8. Pp. 258–263. (rus)

11. Shafray A.V., Safonova E. A., Borodulin D. M., Golovacheva Ya. S., Ratnikov S. A., Kerlos V. B. Modeling of the process of intensification of isohumulone extraction in a rotary pulsation apparatus using neural networks [Modelirovanie processa intensivatsii ekstrakcii izogumulona v ro-torno-pul'sacionnom apparate pri pomoshchi nejronnyh setej]. Technique and technology of food production. 2021. Vol. 51. No. 3. Pp. 593–603. DOI:10.21603/2074-9414-2021-3-593-603. (rus)

12. Kartashov S.G., Klychev E.M. Modernization of rotary pulsating devices for use in liquid feed preparation technologies [Modernizatsiya ro-torno-pul'sacionnyh apparatov dlya ispol'zovaniya v tekhnologiyah prigotovleniya zhidkih kormov]. Bulletin of the All-Russian Scientific Research Institute of Animal Husbandry Mechanization. 2018. No. 4. Pp. 27–30. (rus)

13. Novoseltseva M.A., Gutova S.G., Kagan E.S., Borodulin D.M. Structural-parametric identification of the technological process model using a rotary pulsating apparatus [Strukturno-parametricheskaya identifikatsiya modeli tekhnologicheskogo processa pri ispol'zovanii ro-torno-pul'sacionnogo apparata]. Bulletin of Tomsk State University. Management, computer engineering and computer science. 2019. No. 49. Pp. 63–72. DOI:10.17223/19988605/49/8. (rus)

14. Udodov S.A., Charikov G.Yu. Optimization of activation parameters in rotary pulsation devices [Optimizatsiya parametrov aktivatsii v ro-torno-pul'sacionnyh apparatah]. Development and innovation in construction. Collection of materials of the III International Scientific and Practical Conference. 2020. Pp. 257–263. (rus)

15. Korol A.A., Erenkov O.Yu. Improving the design of the rotary pulsating apparatus [Sovershenstvovanie konstrukcii ro-torno-pul'sacionnogo apparata]. Nauka segodnya: reality and prospects. materials of the international scientific and practical conference. Scientific center "Disput". 2017. Pp. 15–17. (rus)

16. Karpov A.G., Vasilishin M.S., Kuhlenko A.A., Ivanov O.S., Egorov V.Yu. To assess the pressure-flow characteristics of a rotary pulsating

apparatus [K ocenke naporno-raskhodnyh harakteristik ro-torno-pul'sacionnogo apparata]. Chemical industry today. 2017. No. 2. Pp. 27–30. (rus)

17. Kuhlenko A.A., Vasilishin M.S., Ivanova D.B. Methodology for calculating the area of the passage section of the interrupter of a multistage rotary pulsation type apparatus [Metodika rascheta ploshchadi prohodnogo secheniya preryvatelya mnogostupenchatogo apparata ro-torno-pul'sacionnogo tipa]. Chemical technology. 2017. Vol. 18. No. 5. Pp. 233–239. (rus)

18. Prosin M.V., Stabrovskaya E.I., Vasilchenko N.V., Safonova E.A. The effect of product recirculation on the efficiency of the rotary pulsating apparatus [Vliyanie recirkulyatsii produkta na effektivnost' ro-torno-pul'sacionnogo apparata]. Innovations in food biotechnology. Proceedings of the International Symposium. 2018. Pp. 349–353. (rus)

19. Shcherbinina O.A., Shcherbinin I.A., Uvarov V.A. Calculation of the radial component of the velocity vector of a viscous material in a rotary pulsation installation [Vychislenie radial'noj komponenty vektora skorosti vyazkogo materiala v ro-torno-pul'sacionnoj ustanovke]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2014. No. 5. Pp. 106–109. (rus)

20. Shcherbinina O.A., Shcherbinin I.A., Uvarov V.A. Calculation of the tangential component of the velocity vector of a viscous material in a rotary pulsation installation [Vychislenie tangentsial'noj komponenty vektora skorosti vyazkogo materiala v ro-torno-pul'sacionnoj ustanovke]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2015. No. 6. Pp. 170–173. (rus)

21. Makarov Yu.I., Kolesnikov G.E., Karpenko L.A. On the question of optimal design of rotary pulsating apparatuses [K voprosu ob optimal'nom proektirovanii ro-torno-pul'sacionnyh apparatov]. Optimal design in problems of chemical engineering. Moscow: MIKHM, 1983. Pp. 5–8. (rus)

22. Meshcheryakov I.V., Anushenkov A.N. Development and research of a rotary-type hydraulic shock-cavitation apparatus [Razrabotka i issledovanie gidroudarno-kavitatsionnogo apparata ro-tornogo tipa]. Scientific journal of the Siberian Federal University series "Technique and Technologies". Krasnoyarsk. 2013. No. 7. Pp. 786–799. (rus)

Information about the authors

Shcherbinina, Olga A. PhD, Assistant professor. E-mail: shcherbinina.oa@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Uvarov, Valery A. DSc, Professor. E-mail: isi@bstu.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Shcherbinin, Igor A. PhD, Director of VEGA LLC, Russia, 308009, Belgorod, pr-t Grazhdansky str., 18.

Попов, Evgeniy N. PhD, Assistant professor. E-mail: evg-popov@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 22.11.2022

Для цитирования:

Щербинина О.А., Уваров В.А., Щербинин И.А., Попов Е.Н. Рекомендации к выбору типоразмеров корпуса и ударных элементов помольно-смесительного роторно-пульсационного комплекса // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 8. С. 110–122. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-8-110-122

For citation:

Shcherbinina O.A., Uvarov V.A., Shcherbinin I.A., Popov E.N. Recommendations for the selection of standard sizes of the body and impact elements of the grinding and mixing rotary pulsation complex. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 8. Pp. 110–122. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-8-110-122