

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ БИОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПЕРЕКАЧИВАНИЯ ЭМУЛЬСИЙ В ПНЕВМОМАГИСТРАЛИ

Л.П. Карташов, А.В. Колпаков, Ю.А. Хлопко, А.В. Цвяк

Отдел биотехнических систем ГУ Оренбургский НЦ УрО РАН

Изучение гидродинамического процесса перекачивания агрегативно и седиментационно неустойчивых гидрофобных дисперсных систем (золи, суспензии, эмульсии, пены) является одной из центральных задач области использования трубопроводного транспорта при доставке сырья. В достаточно концентрированных эмульсиях, с содержанием дисперсной фазы свыше 1% (натуральное молоко и молочные продукты, яичный желток, млечные соки, лекарства и косметические средства, сырая нефть с содержанием воды, растворов солей и твердых механических примесей до 60%) происходит интенсивная коагуляция и коалесценция частиц дисперсной фазы, с последующей адгезией на внутреннюю поверхность технологического оборудования. Некоторые эмульсии одновременно состоят из грубо-, тонко- и коллоиднодисперсных систем [1]. Примером такого универсального состава является прямая эмульсия – сырое молоко с.-х. животных. Гетерогенная дисперсная фаза молока состоит из жировых шариков (грубодисперсная система – 0,5 - 10 мкм), белков (тонкодисперсная система – 0,1-1 мкм), лактозы (коллоидная система – менее 1 нм).

Изменение устойчивости многокомпонентных эмульсий приводит к негативным последствиям в отраслях сельского хозяйства и перерабатывающих промышленности: пищевой, химической, медицинской – снижение качества перекачиваемого сырья; текстильной – нежелательное пенообразование; нефтяной – интенсивная адгезия природных компонентов дисперсной фазы сырой нефти на внутренние поверхности трубопроводов и т.д. В конечном итоге происходит снижение качественных показателей продукции на выходе и уменьшение внутреннего эффективного сечения технологического оборудования (ТО), что приводит к необходимости повышения развиваемого давления насосов, а значит увеличению энергозатрат.

Целью научной работы является обоснование и разработка биотехнических устройств для перекачивания эмульсий и средств оптимального проектирования на основе ресурсосберегающего параметрического синтеза [2]. Объектами исследования являются закрытые технологические системы находящиеся под вакуумом (доильные установки на МТФ, коммуникации молокоперерабатывающих предприятий).

Нами изучены современные модели процесса трубопроводного транспорта эмульсий и дана оценка воздействий внутренних поверхностей насосов и трубопроводных магистралей на агрегативную и седиментационную устойчивость гидрофобных эмульсий (молоко, соки, жидкие лекарства и косметические средства). Проведена классификация существующих типов эмульсионных насосов, их рабочих органов, выявлены их преимущества и недостатки [3]. Доказано, что снижение воздействия факторов конструктивной и эксплуатационной групп, приводит к повышению эффективности процесса транспортировки.

Основные положения эффективности эксплуатации эмульсионных насосов в технологических системах «вакуум – атмосферное давление», обоснование конструктивных параметров рабочих органов изложены в трудах исследователей: Карл Пфлейдерер, А. Тепел, Дж. Кэмпбэл, Н.В. Барановский, И.И. Волчков, Т.М. Башта, Ю.А. Цой, Л.П. Карташов, А.К. Михайлов, Б.М. Елисеев, А.А. Ломакин, Е.И. Админ, В.Г. Мохнаткин, В.Н. Шулятьев, В.М.Русских, А.Н. Федюшин, Р.М. Горбунов и др. Теориями устойчивости гидрофобных эмульсий в условиях гидродинамических течений занимались: Карман, Прандтль, Гайзенберг, Лин, Тейлор, Фридман А.А., Келлер Л.В., П.А. Ребиндер, Е.Д. Щукин, Б.Д. Сумм, Г.И. Фукс, А.В. Перцов, Е.А. Амелина, В.В. Аминский, В.А. Пчелин, В.Д. Косой, С.Б. Юдин, В.Г. Левич, Н.Б. Урьев, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов, В.В. Малюшенко, и др.

В результате анализа процесса трубопроводной транспортировки эмульсий нами выбраны для проведения параметрического синтеза опорные объекты: тихоходный насос центробежного типа, трубопроводная магистраль круглого сечения.

Рациональный выбор технологической схемы трубопроводной транспортировки и ее параметрический синтез проведен следующими методами вычислительного эксперимента: математическое моделирование, алгоритмизация, программная реализация.

Математическое моделирование процесса состоит из разделов: выбор реологических параметров эмульсий; функциональные модели силового воздействия лопасти центробежного колеса с многокомпонентной эмульсией и диффузионной кинетики ламинарного и турбулентного потоков эмульсий в трубопроводе; расчет конструктивно-эксплуатационных параметров центробежного эмульсионного насоса.

Результаты проведенного моделирования следующие:

1) Функциональное выражение (1) траектории кривой, описывающей оптимальную лопасть центробежного рабочего колеса для эмульсий с конкретными реологическими параметрами (рис. 1).

$$x = (\cos\psi)^{2\omega} \cdot e^{\frac{k}{m}\psi} \cdot \left[\left(\frac{3 \cdot \bar{c} \cdot \eta}{2 \cdot \rho \cdot d} \cdot \cos\psi - \frac{N}{m} \cdot \sin\psi \right) \cdot \left(1 - 2 \cdot \omega - \left(\frac{k}{m} \right)^2 - \frac{k}{m} \cdot \psi + \left(\omega + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{k}{m} \right)^2 \right) \cdot \psi^2 \right) + \right. \\ \left. + \left(\frac{3 \cdot \bar{c} \cdot \eta}{2 \cdot \rho \cdot d} \cdot \sin\psi + \frac{N}{m} \cdot \cos\psi \right) \cdot \left(\frac{k}{m} - \left(2 \cdot \omega + \left(\frac{k}{m} \right)^2 \right) \cdot \psi \right) \right], \quad (1)$$

где ω – угловая скорость вращения колеса, с^{-1} ; k – динамический коэффициент, кг/с ; m – масса частицы дисперсной фазы, кг ; N – сила нормального давления, Н ; ρ – плотность эмульсии, кг/м^3 ; η – динамическая вязкость, сП ; \bar{c} – градиент скорости или среза, с^{-1} ; d – средний диаметр (размер) частицы дисперсной фазы, м .

2) Функциональное выражение (2) длины участка установления диффузионного режима распределения вещества, графический анализ которого позволил сделать вывод, что наименьшие контактные взаимодействия в ламинарном диффузионном пограничном слое возникают в области установления стационарного диффузионного режима.

$$H \approx \left(\frac{\sqrt[3]{6}}{\Gamma(\frac{1}{3})} \right)^3 \cdot \eta^3 \cdot e^{-\frac{2}{3}\eta^3} \cdot R^3 \cdot \frac{v_0}{DR} = 1,4625 \cdot 10^{-4} \frac{v_0 R^2}{D} = 0,731 \cdot 10^{-4} Re \cdot Pr \cdot R, \quad (2)$$

где η - безразмерная величина (подстановка), R - радиус трубопровода, м, D - коэффициент диффузии коллоидных частиц, м²/с, v_0 - максимальная скорость в центре трубы ($r=0$), Re - число Рейнольдса, Pr - число Прандтля.

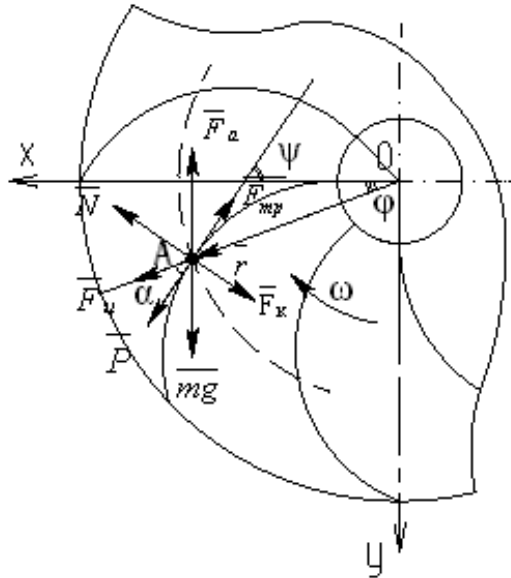


Рис. 1 - Схема внешних действующих сил на жировой шарик молока:

\bar{P} - результирующая сила от потока молока, Н; \bar{F}_{mp} - сила внутреннего трения струи молока о рабочую поверхность лопасти, Н; \bar{N} - сила нормального давления со стороны лопасти рабочего колеса на поток молока, Н; \bar{F}_a - сила Архимеда, Н; \bar{F}_k - кориолисова сила инерции, Н; $\bar{F}_ц$ - центробежная сила инерции, Н; α - угол, составленный касательной к лопатке с положительным направлением радиус-вектора \bar{r} , рад; ϕ - полярный угол, рад; ψ - угол, составленный касательной к лопатке с положительным направлением оси абсцисс, рад.

3) Методики расчета теоретических и действительных параметров насоса, выбора и расчета основных размеров центробежного колеса, определения функциональных соотношений основных параметров насоса с геометрией рабочего колеса.

Алгоритмизация процесса трубопроводной транспортировки эмульсий проведена с помощью метода построения блок-схемы математического моделирования (рис. 2).

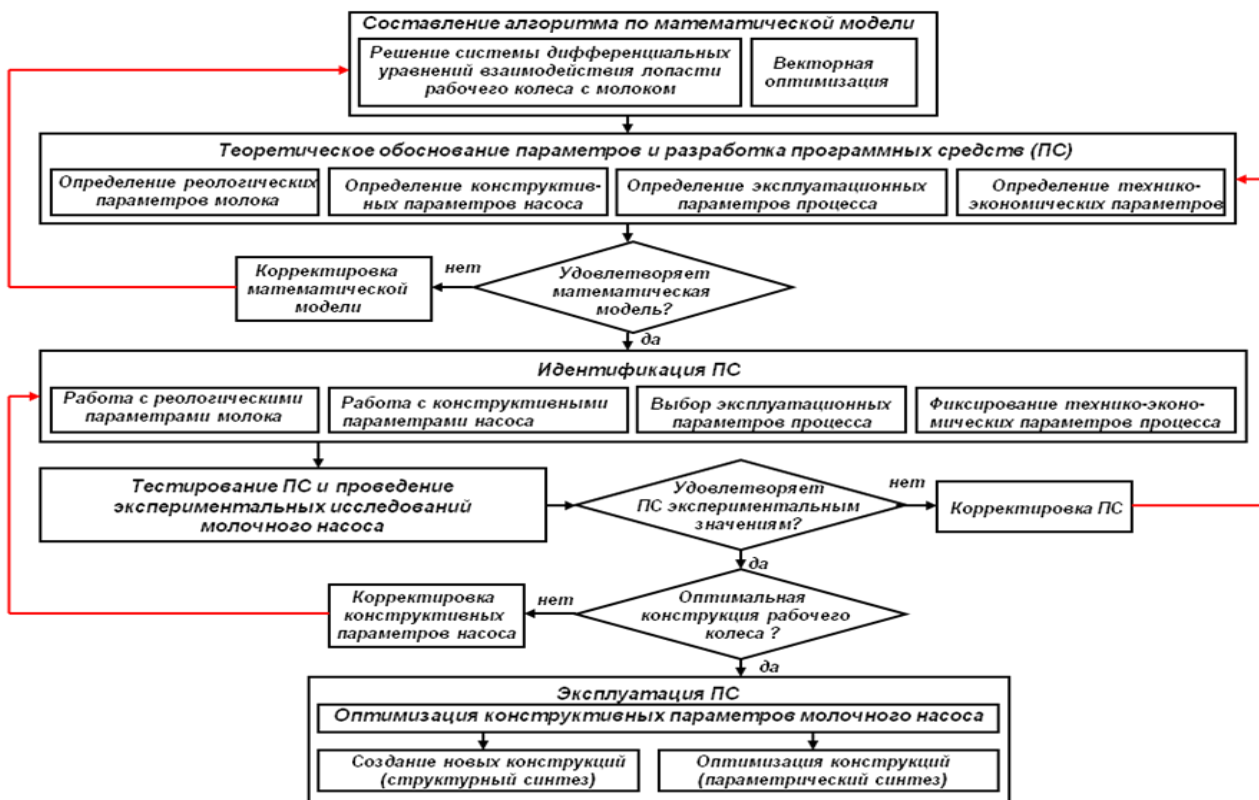
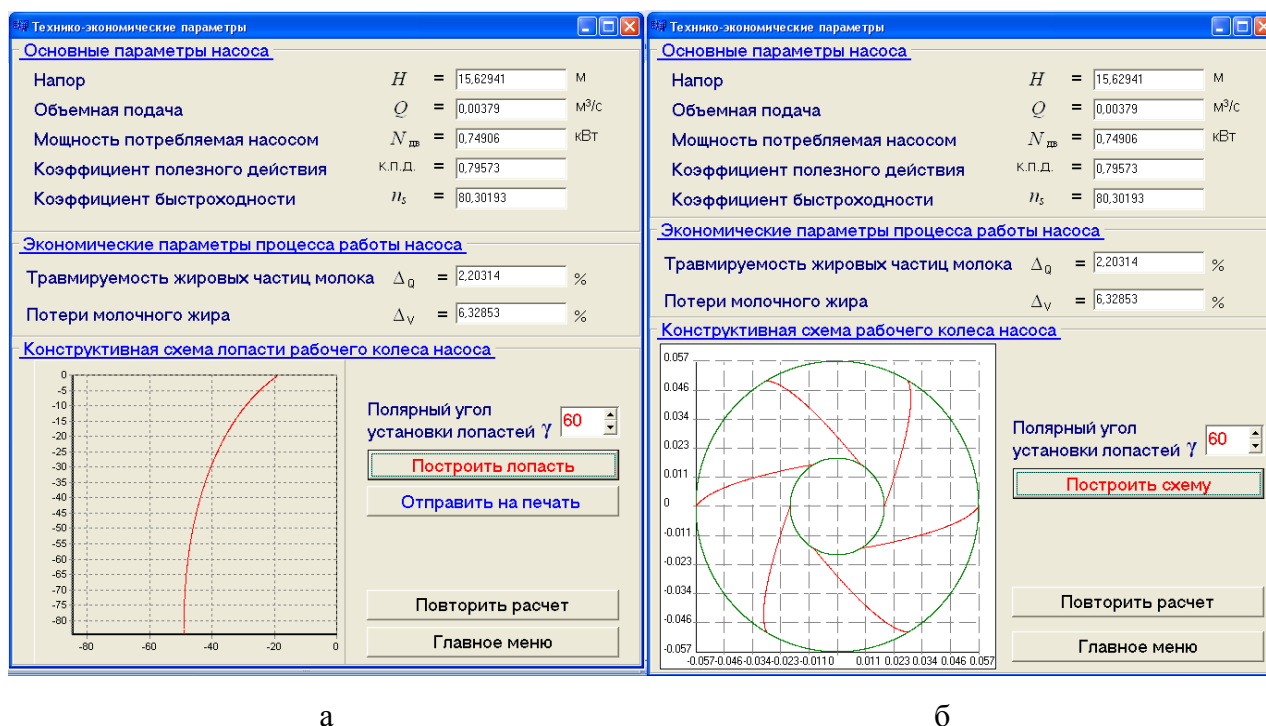


Рис. 2 – Схема решения задачи математического моделирования

Программная реализация. Расчет параметров процесса трудоемок и требует применения современных средств вычислительной техники. Поэтому созданы программы (свидетельства о гос. рег. программы для ЭВМ № 2008610484, 2009616867) в среде программирования C++ Builder 6.0. Программы позволяют быстро провести расчет и оптимизацию технологического оборудования управляемого воздействия на многокомпонентные гидрофобные эмульсии, с целью повышения ресурсоэффективности процесса перекачивания (рис. 3).

Натуральное моделирование процесса трубопроводной транспортировки в системе «вакуум – атм. давление» проводилось на комплексе лабораторно-испытательного оборудования: стенды для моделирования гидродинамических режимов течения газожидкостной смеси (патент 2321773), устройство для заполнения молочного насоса (патент 2321774), устройства для изучения контактных взаимодействий эмульсий с внутренними поверхностями насоса (патент 2348915) и участками гидравлических сопротивлений трубопроводов, устройство для моделирования загрязнений и гидродинамической очистки внут-

ренных поверхностей трубопроводов, устройство для оценки качества очистки поверхностей от адгезивных загрязнений (патент 2378825).



а

б

Рис. 3 – Интерфейсные окна технико-экономических параметров программных средств: а - ПС№1, б - ПС№2.

Программа экспериментальных исследований процесса перекачивания эмульсий включает три цикла, каждый из которых две серии опытов.

Первый цикл посвящен определению эксплуатационных параметров процесса перекачивания эмульсий насосом центробежного типа. Найдены оптимальные значения параметров для прямой эмульсии (сырое молоко): динамический коэффициент пропорциональности $k_{opt} = 5,685$; усилие $N_{opt} = 27,279 \cdot 10^{-3}$ Н, соответствующее нормальному закону распределения жировых шариков по размерным классам ($f = 20 \dots 30\%$, $d = 3 \dots 4$ мкм) (рис. 4).

Во втором цикле опытов исследовали влияние конструктивно-режимных параметров центробежной насосной установки и прососа воздуха в технологическое оборудование на эффективность процесса перекачивания прямой эмульсии.

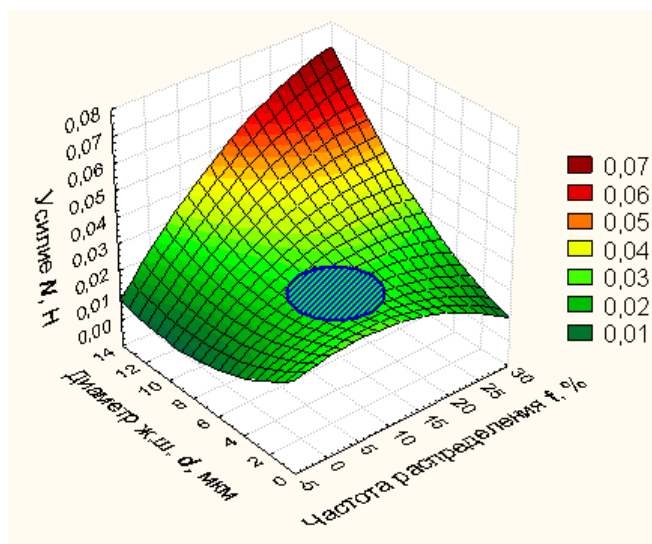


Рис. 4 – Результаты определения нормального усилия N

Определены оптимальные значения конструктивно-геометрических параметров насосной установки линии первичной обработки молока: внутренний диаметр трубопровода - 0,038 м, высота установки насоса - 0,7 м. Максимально допустимое значение содержания воздуха в прямой эмульсии, соответствующее высокой эффективности процесса трубопроводной транспортировки, составляет $X=3,525\%$, при этом основные параметры насоса снижаются до значений: подача $Q=2,833 \text{ м}^3/\text{ч}$, напор $H=3 \text{ м}$, мощность $N=0,6 \text{ кВт}$, к.п.д.= 0,053.

$$\begin{cases} H=7,115 \cdot e^{-0,245 \cdot X}, & \text{при } X \leq 7,855\% \\ H=4,714 - 4,101 \cdot \log X, & \text{при } 7,855 < X \leq 100\% \end{cases} \quad (3)$$

$$\quad (4)$$

В третьем цикле опытов исследовали влияние конструкций рабочих колес на эксплуатационные параметры процесса перекачивания эмульсий. Получено семейство уравнений нелинейной регрессии (5)-(9) и найдены оптимальные конструктивные параметры рабочего колеса: углы установки лопастей на входе в колесо $\beta_1=30^\circ$ и выходе $\beta_2=14^\circ$, полярный угол установки лопастей $\gamma=60^\circ$, число лопастей $z=6$. При этом основные параметры насоса имеют значения: расход $Q=4,419 \text{ м}^3/\text{ч}$, напор $H=9,274 \text{ м}$, мощность $N=0,706 \text{ кВт}$, к.п.д.=0,163, удельная мощность $N_{\text{уд}}=0,16 \text{ кВт}/(\text{м}^3/\text{ч})$.

$$Q = 4,023 - 2,363 \cdot \beta_1^2 + 0,560 \cdot \beta_2 + 0,013 \cdot z^2 \quad (5)$$

$$H = -1,321 + 3,729 \cdot z - 0,377 \cdot z^2 + 0,857 \cdot \beta_2^2 \quad (6)$$

$$N = 0,733 + 0,221 \cdot \beta_2^2 \quad (7)$$

$$\text{к.п.д.} = -0,025 + 0,058 \cdot z - 0,0056 \cdot z^2 \quad (8)$$

$$N_{\text{уд}} = 0,275 + 0,991 \cdot \beta_1^2 - 0,613 \cdot \beta_2 \quad (9)$$

Исследования по определению гидромеханического воздействия оптимальной (РКУ) и серийной (НМУ–01.01.170.000) конструкций рабочих колес на агрегативную и седиментационную устойчивости прямой эмульсии показали, что снижение травмирования жировых шариков молока на 8,9%, за счет внедрения РКУ, привело к сокращению потерь молочного жира до 0,28% (при базовой жирности – 3,18%) (рис. 5). Годовой экономический эффект от внедрения РКУ центробежного насоса в пневматическую линию первичной обработки молока (в расчете на 200 коров, среднегодовая продуктивность – 3467,5 кг.) составит 550 тыс. руб.

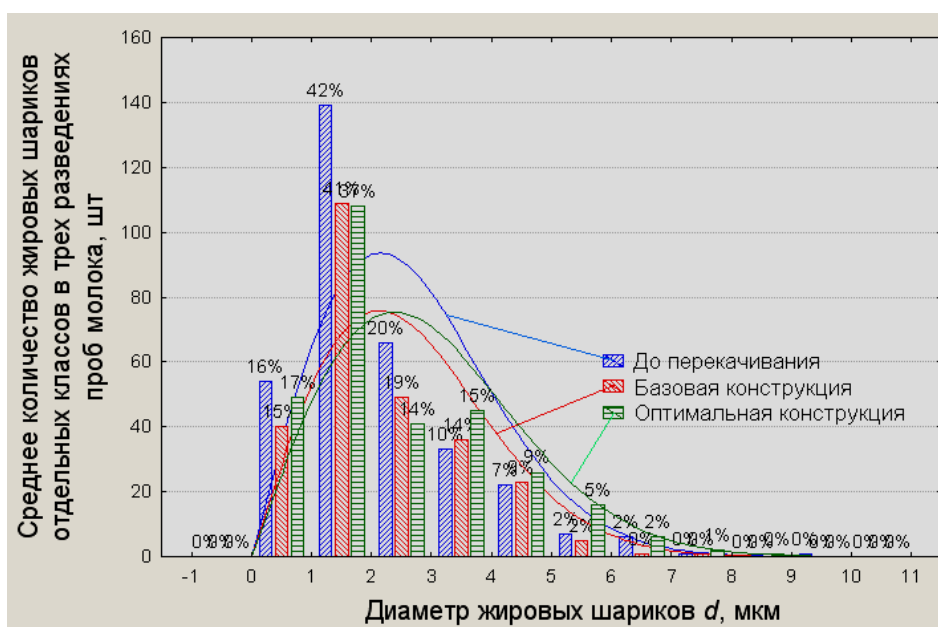


Рис. 5 – Гистограмма распределения жировых шариков сырого молока

В результате проведенных НИОКР созданы опытные образцы ресурсосберегающего технологического оборудования.

1) Колесо РКУ (рис. 6).

Инновационные эффекты – снижение травмирования жировых шариков (в сравнении с крыльчаткой НМУ-01.01.170.000 насоса НМУ-6А) на 8,9%, позволяющее сократить потери жира до 0,28% (при базовой жирности – 3,18%); высокая стабильность работы насоса с рабочим колесом в условиях перекачивания из-под вакуума 50 кПа (частота вращения – 2810 об/мин., расход – 4,42 м³/ч, напор – 9,27 м.); унифицированность РКУ, с целью применения в молочных насосах центробежного типа (достигается при помощи механизма фиксации колеса на валу электродвигателя). *Форма лопастей* – лопатки с изменяющейся кривизной (профиль получен на основе модели силового взаимодействия лопасти рабочего колеса насоса с молоком).

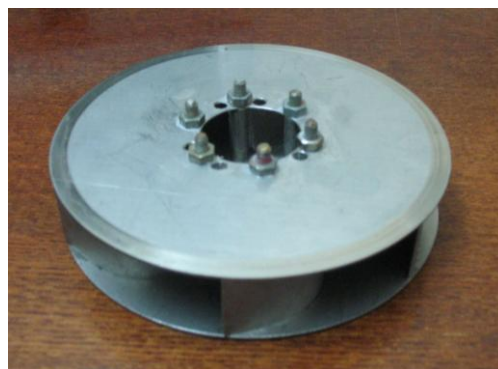
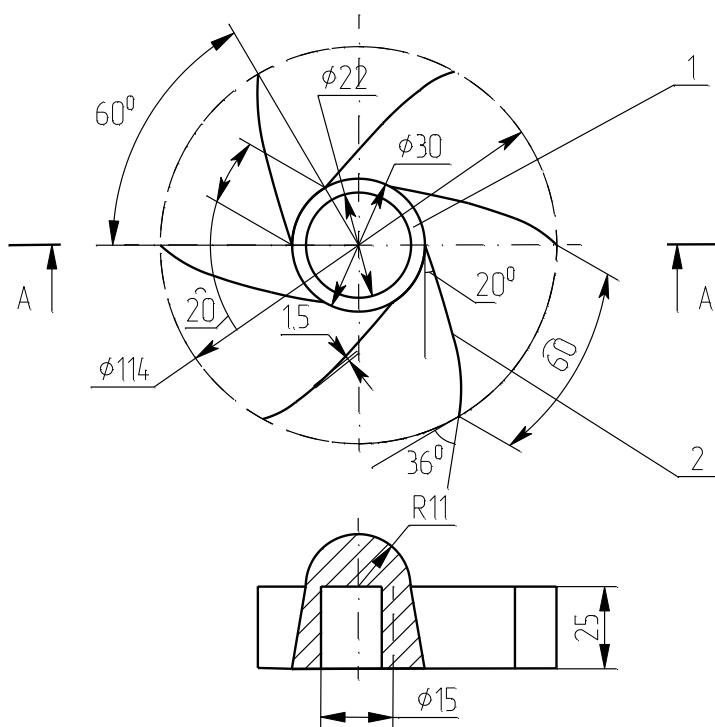


Рис. 6 – Универсальное рабочее колесо молочного насоса РКУ: 1 – конусная втулка; 2 - лопасти изменяющейся кривизны.

2) Сильфонный пневматический аккумулятор УЗН (рис. 7)

Инновационные эффекты – обеспечение надежных запусков в работу молочных насосов, в условиях просасываемого воздуха в рабочую камеру; автоматизация процесса заполнения молоком рабочей камеры насоса.

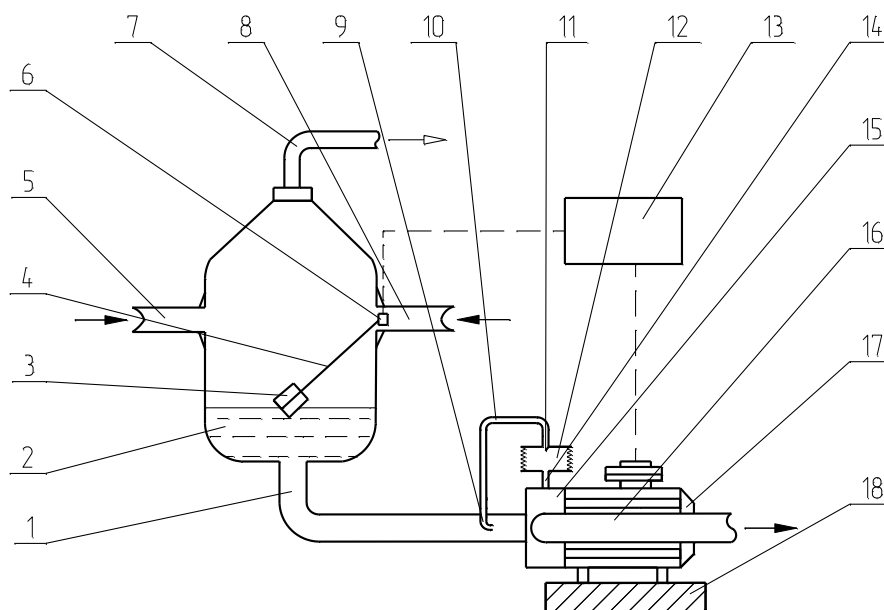


Рис. 7 - Устройство для заполнения молочного насоса УЗН

1 – всасывающий трубопровод, 2 – молокосорник, 3 – поплавок, 4 – шток, 5, 8 – молоковод, 6 – датчик включения насоса, 7 – вакуум-провод, 9 – трубка Пито, 10 – сливная трубка, 11 – отсекагель, 12 – сильфон, 13 – пульт управления, 14 – заборная трубка, 15 – рабочая камера насоса, 16 – нагнетательный трубопровод, 17 – электродвигатель, 18 – крепление насоса.

3) Устройство контроля промывки УКП (рис. 8).

Инновационный эффект – простой способ осуществления контроля санитарного состояния поверхностей молокопроводов после циркуляционной промывки.

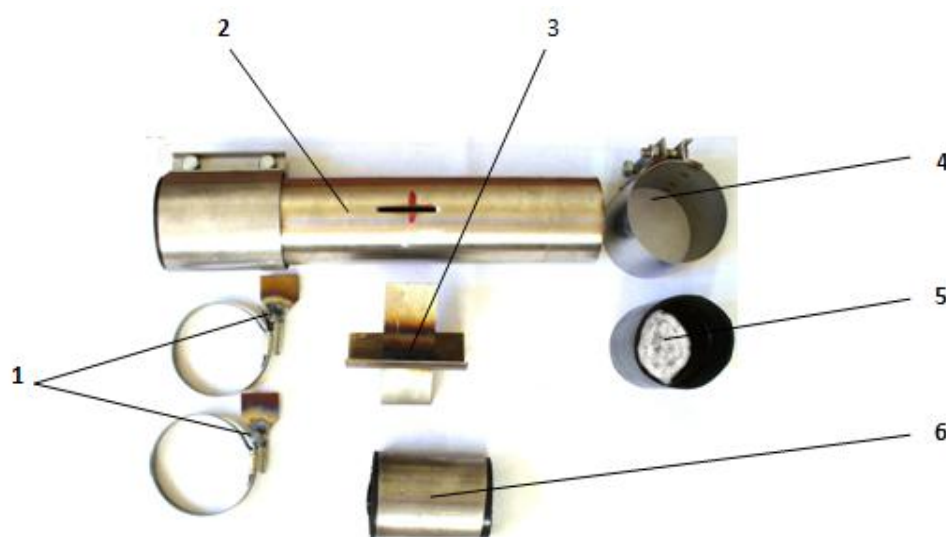


Рис. 8 - Устройство для контроля качества промывки молокопровода от адгезивных загрязнений УКП: 1 – хомуты, 2 – участок трубопровода, 3 – предметная пластина с резиновым изолятором, 4 – соединительные муфты, 5 – полипропиленовая заглушка, 6 – полипропиленовая пробка.

Таким образом, нами разработаны и созданы ресурсосберегающие биотехнические устройства для перекачивания эмульсий в пневмолинии на основе параметрического синтеза – эффективного метода композиционного проектирования технологических объектов.

Работа выполнена в рамках темы «*Изучение кинематической устойчивости жидкодисперсных систем в условиях контактных взаимодействий с твердыми телами различной кривизны*» и включена в план НИР Отдела биотехнических систем Оренбургского научного центра УрО РАН на 2009-2011 г.г., № ГР 01200952374. Научный руководитель - д.т.н. Л.П. Карташов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Григорьев Г.А. Поверхностные явления и дисперсные системы. М.: МИТХТ им. М.В. Ломоносова, 2002, Ч 1, 80 с.
2. Карташов Л.П., Зубкова Т.М. Параметрический и структурный синтез технологических объектов на основе системного подхода и математического моделирования. Екатеринбург: УрО РАН, 2009, 225 с.
3. Колпаков А.В. Совершенствование процесса перекачивания молока насосом доильной установки: Дис.... канд. техн. наук: 05.20.01. Оренбург, 2008. 179 с.

Докт. техн. наук, профессор, зав. отделом
биотехнических систем ОНЦ УрО РАН

Л.П. Карташов

Канд. техн. наук, ст. научн. сотрудник отдела
биотехнических систем ОНЦ УрО РАН

А.В. Колпаков

Канд. техн. наук, доцент, вед. научн. сотрудник отдела
биотехнических систем ОНЦ УрО РАН

Ю.А. Хлопко

Канд. техн. наук, ст. научн. сотрудник отдела
биотехнических систем ОНЦ УрО РАН

А.В. Цвяк

УДК 631.171 *Механизация и автоматизация сельского хозяйства*

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ БИОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПЕРЕКАЧИВАНИЯ ЭМУЛЬСИЙ В ПНЕВМОМАГИСТРАЛИ

Предложен эффективный метод проектирования ресурсосберегающих биотехнических устройств перекачивания гидрофобных эмульсий в пневмомагистрали. Выполнены этапы вычислительных экспериментов процесса перекачивания гидрофобных эмульсий. Проведены научные и производственные испытания по программе экспериментальных исследований (три цикла). Разработаны и созданы новые образцы ресурсосберегающих биотехнических устройств управляемого взаимодействия, позволяющих снизить бактерицидную обсемененность и сохранить реологические свойства вырабатываемого молока, уменьшить адгезивную загрязненность внутренних поверхностей пневмомагистралей.

Ключевые слова: ресурсосбережение; перекачивание; гидрофобная эмульсия; биотехнические устройства; параметрический синтез; пневмомагистраль.