

ского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. № 2. -с. 132-134.

4. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: электромагнитное поле. -М.: Высшая школа, 1978. 231 с.
5. Bruel & Kjaer. Frequency analysis. - Denmark: 2001. 389 p.

### **Исследование насоса-сепаратора газожидкостной смеси для санитарно-гигиенического отсека космической станции**

Сальников Н.А.<sup>1</sup>, к.т.н. проф. Николайкина Н.Е.<sup>1</sup>, д.т.н. проф. Бобе Л.С.<sup>2</sup>, к.т.н. Рыхлов Н.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Университет машиностроения

<sup>2</sup>ОАО "НИИХиммаш"

8 (499) 267-07-04, nikols\_153@mail.ru, salnikov.onip@bk.ru

*Аннотация.* В статье оценена возможность применения центробежного насоса-сепаратора газожидкостной смеси в составе системы регенерации санитарно-гигиенической воды космической станции. Представлены результаты исследования насоса-сепаратора.

*Ключевые слова.* Космическая станция, регенерация, насос-сепаратор, автомобильный режим, санитарно-гигиеническая вода, коэффициент проскальзывания

Жизнедеятельность экипажа на космическом корабле поддерживается комплексом систем жизнеобеспечения, основными задачами которых являются снабжение космонавтов кислородом, водой и пищей, очистка атмосферы от вредных примесей, поддержание параметров микроклимата, осуществление сбора и удаления отходов.

Реализация перспективных орбитальных и межпланетных полетов связана с совершенствованием систем жизнеобеспечения (СЖО) экипажа. Одной из важнейших составляющих СЖО являются системы водообеспечения (СВО) [1]. Эти системы должны осуществлять максимальное извлечение и регенерацию воды из водосодержащих продуктов жизнедеятельности человека и биотехнического комплекса, обеспечивая потребности экипажа в воде с минимальным добавлением воды из запасов. Одним из решающих факторов совершенства систем регенерации является максимально возможный коэффициент извлечения воды.

Работы по созданию систем регенерации воды проводились Всесоюзным научно-исследовательским и конструкторским институтом химического машиностроения НИИХиммаш (г. Москва) в содружестве с РКК «Энергия» и Институтом медико-биологических проблем (ИМБП). В результате проведенных фундаментальных исследований и опытно-конструкторских работ были разработаны эффективные малоэнергоёмкие и малоотходные технологии, основанные на физико-химических процессах, и созданы и внедрены на ОКС «Салют», «Мир» и МКС летные системы регенерации воды из конденсата атмосферной влаги и мочи (урины) [2].

На перспективных космических станциях предполагается введение оборудования для обеспечения космонавтов санитарно-гигиеническими процедурами. В настоящее время на борту космических летательных аппаратов отсутствует отсек водных процедур. Экипажи космических станций осуществляют санитарно-гигиенические процедуры при помощи влажных салфеток и полотенец. При этом на доставку чистых салфеток и полотенец расходуется большое количество средств.

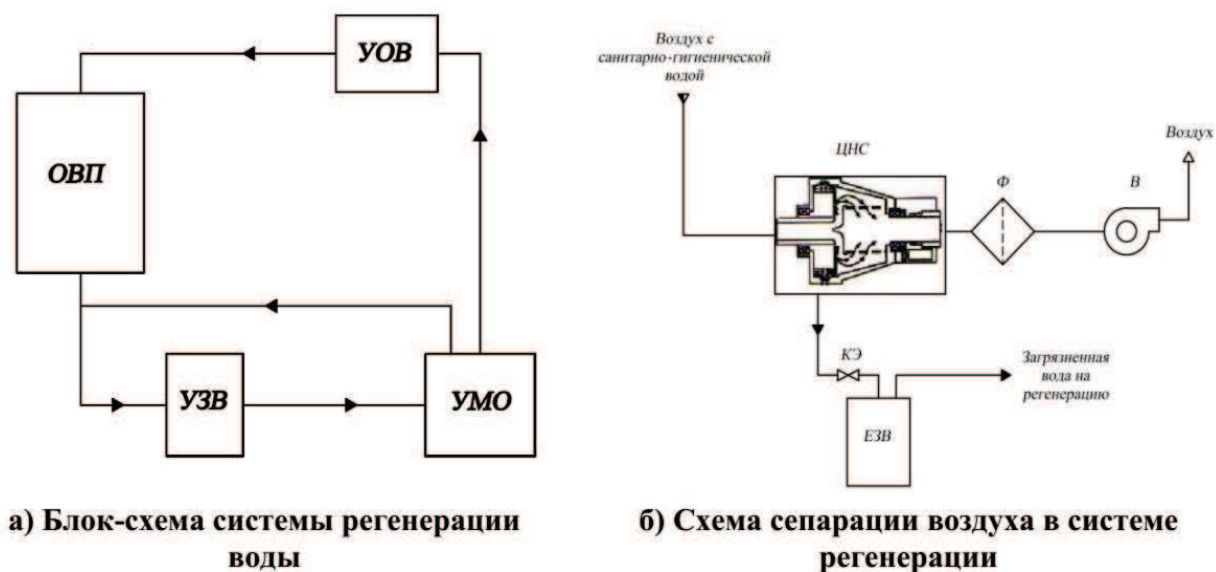
В связи с расширением границ изучения космического пространства планируется экспедиция астронавтов на планету Марс. В ходе этой экспедиции экипаж космического летательного аппарата должен существовать практически автономно с минимальным потреблением ресурсов из запасов. Поэтому на перспективных космических кораблях планируется

введение санитарно-гигиенического отсека для осуществления экипажем водных процедур. Первостепенными задачами являются мытье рук, лица и тела. На эти процедуры по ГОСТ Р 50804-95 «Среда обитания космонавта в пилотируемом космическом аппарате. Общие медико-технические требования» требуется от 0,2 до 7 литров воды на космонавта в сутки, в среднем 36 литров в сутки или 13140 литров в год для экипажа из 6 человек [3]. В перспективе в состав санитарно-гигиенического отсека войдет оборудование для стирки одежды, сауна и т.д. Для осуществления очистки загрязненной воды, образующейся после санитарно-гигиенических процедур, в состав санитарно-гигиенического отсека наряду со средствами помывки необходимо введение системы регенерации санитарно-гигиенической воды.

Предполагается, что данная система не будет объединена с системами питьевого водоснабжения, а будет иметь свой собственный цикл очистки, что позволит снизить расходы на регенерацию воды, так как загрязненная вода будет очищаться до требований к санитарно-гигиенической воде. Для обеспечения большого ресурса работы системы очистку загрязненной санитарно-гигиенической воды целесообразно проводить мембранными методами.

При введении системы регенерации загрязненной санитарно-гигиенической воды в состав санитарно-гигиенического отсека станет возможным проведение санитарно-гигиенических процедур практически без потребления ресурсов из запасов, что сделает возможным осуществление дальних автономных полетов, а также существенно сократит затраты на содержание санитарно-гигиенического отсека орбитальных космических станций.

Научно-исследовательским и конструкторским институтом химического машиностроения ОАО "НИИхиммаш" разрабатывается принципиально новая система регенерации загрязненной санитарно-гигиенической воды (см. рисунок 1).



**Рисунок 1. Система регенерации загрязненной санитарно-гигиенической воды:**  
**ОВП – оборудование для водных процедур; УЗВ – узел загрязненной воды;**  
**УМО – узел мембранной очистки; УОВ – узел очищенной воды;**  
**ЦНС – центробежный насос-сепаратор; КЭ – электромагнитный клапан;**  
**ЕЗВ – емкость для приема загрязненной воды; Ф – фильтр; В – вентилятор**

Система работает следующим образом: загрязненная вода транспортируется из отсека водных процедур потоком воздуха, отделяется от него в сепараторе и накапливается в узле загрязненной воды УЗВ. В системе производится очистка воды мембранными методами и реализована схема тангенциальной фильтрации, при которой загрязненная вода циркулирует по циркуляционному контуру и омывает мембрану в узле мембранной очистки УМО. Часть воды проходит через мембрану, консервируется и накапливается в узле очищенной воды

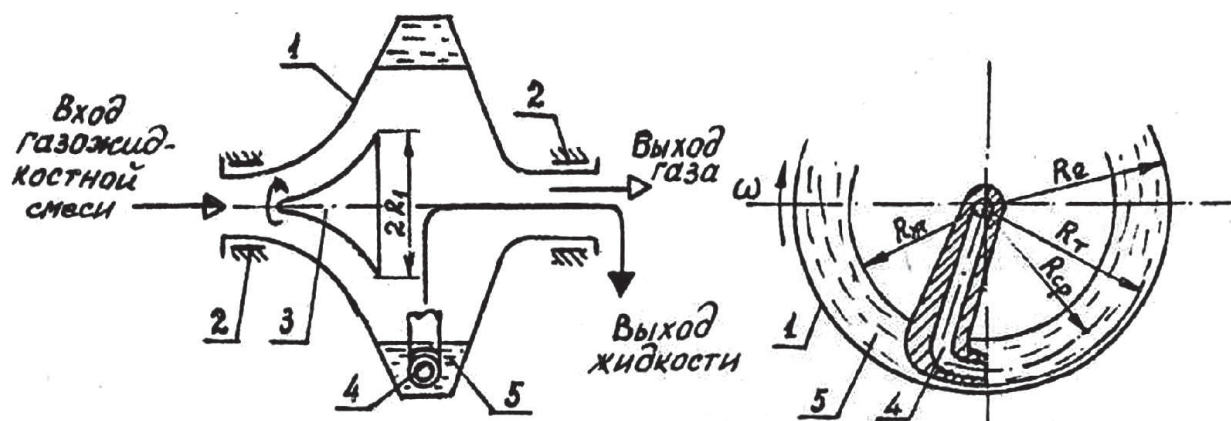
УОВ. По запросу из отсека водных процедур начинается подача воды с дополнительным обеззараживанием перед поступлением в ОВП.

В условиях микрогравитации на борту космического летательного аппарата необходимо применение специальных технических средств для сбора и транспортировки загрязненной воды. Загрязненная вода после проведения санитарно-гигиенических процедур транспортируется из отсека водных процедур потоком воздуха и отделяется от него. Одной из важнейших задач является сепарация жидкости из газожидкостного потока. При этом должно обеспечиваться полное отделение жидкости от транспортирующего ее газа, а также газа от жидкости. Необходимость условия отсутствия газа в отделяемой жидкости обусловлена тем, что загрязненную санитарно-гигиеническую воду предполагается очищать (регенерировать) мембранными методами, при которых наличие газа в жидкости при проведении процесса в условиях микрогравитации не допускается.

При  $g \rightarrow 0$  отсутствует гравитационный механизм разделения фаз газ-жидкость, поэтому при сепарации жидкости из газожидкостного потока преимущественно используются силы поверхностного натяжения и инерционные силы. В условиях микрогравитации существует три принципиально возможных метода сепарации. Они основаны на использовании влагоудерживающего пористого материала, капиллярно-пористых перегородок и центробежных аппаратов [4].

В связи с большим расходом газожидкостной смеси, поступающей из отсека водных процедур, а также наличием в загрязненной жидкости взвешенных частиц применение для сепарации смачиваемых капиллярно-пористых стенок не представляется возможным. Применение для сепарации хорошо смачиваемого влагоудерживающего материала ограничивается трудностями автоматизации процесса извлечения жидкости. Исходя из этого оптимальным для разделения фаз «газ – жидкость» в рассматриваемых условиях является применение центробежного сепаратора.

Важной задачей является унификация изделий, используемых в системах жизнеобеспечения. Поэтому для исследования был выбран центробежный насос-сепаратор со встроенным черпаковым насосом ЦНС, успешно эксплуатирующийся в составе системы приема и консервации урины СПК-УМ на МКС. Схема центробежного насоса-сепаратора ЦНС приведена на рисунке 2.



**Рисунок 2. Схема центробежного насоса-сепаратора со встроенным черпаковым насосом: 1 – вращающийся корпус (ротор); 2 – опоры; 3 – отбойник; 4 – черпаковый насос; 5 – кольцо жидкости**

Центробежный насос-сепаратор со встроенным черпаковым насосом работает следующим образом. Газожидкостная смесь поступает в аппарат и закручивается за счет сил трения. Вследствие возникновения центробежного ускорения жидкость из потока и с поверхности

отбойника 3 отбрасывается на стенки корпуса (ротора) 1, транспортируется в направлении увеличения его радиуса и собирается в жидкостное кольцо 5, откуда отводится черпаковым насосом 4 [2, 4].

Под избыточным давлением, возникающем в центробежном поле, жидкость выводится из аппарата через неподвижную обтекаемую лопатку с каналом, называемую черпаком 4, которая вместе с элементами ротора представляет собой черпаковый насос [4].

Основной задачей исследования было определение возможности использования центробежного насоса-сепаратора ЦНС в составе системы регенерации загрязненной санитарно-гигиенической воды космической станции. С этой целью был проведен эксперимент с имитатором санитарно-гигиенической воды, загрязненной моющим средством, содержащим поверхностно активные вещества (ПАВ), и определены гидравлические характеристики центробежного насоса-сепаратора.

Так как для санитарно-гигиенических процедур предполагается использовать жидкое мыло общего применения, при транспортировке загрязненной санитарно-гигиенической воды будет образовываться большое количество пены. В связи с этим экспериментально проверялось наличие уноса пены с воздушным потоком из центробежного насоса-сепаратора ЦНС.

Для проведения эксперимента был приготовлен имитатор санитарно-гигиенической воды, загрязненной жидким мылом Ауга, содержащим поверхностно-активные вещества (ПАВ). Концентрация моющего средства составила: 2 – 3 грамма на 300 мл воды. По оценочным данным именно такое количество воды и моющего средства расходуется при мытье рук, что соответствует нормативам ГОСТ Р 50804-95.

Во время проведения эксперимента при различных значениях расхода воздуха через сепаратор за время  $\tau=30$  с равномерно вводилось 330 мл имитатора санитарно-гигиенической воды, загрязненной моющим средством, что обеспечивало расход жидкости  $G=40$  л/ч. Во время введения имитатора санитарно-гигиенической воды через прозрачную трубку визуально контролировался унос пены с воздушным потоком из сепаратора.

При значениях расхода воздуха  $Q = 272, 312$  и  $333$  л/мин уноса пены с воздушным потоком не наблюдалось. Результаты наблюдений представлены в таблице 1.

Таблица 1.

**Результаты наблюдений за уносом пены с воздушным потоком из сепаратора при различных значениях расхода воздуха**

Напряжение, подаваемое на вентилятор U, В	25	28	30
Расход воздуха через сепаратор Q, л/мин	272	312	333
Наличие пены в воздушном потоке на выходе из сепаратора	нет	нет	нет

В связи с положительными результатами по проверке отсутствия уноса пены с воздушным потоком был определен ряд гидравлических характеристик насоса-сепаратора ЦНС, среди которых напор жидкости, создаваемый в зоне ее отвода (на входе в черпак) при отсутствии отвода жидкости из насоса-сепаратора.

Напор, создаваемый жидкостью в зоне отвода, складывается из статической и динамической составляющих.

Статический напор [4, 5]:

$$H_{ст} = \frac{1}{g} \int_{R_{ж}}^{R_{cp}} \omega^2 \varphi_{п}^2 R dR. \quad (1)$$

Динамический напор:

$$H_{д} = \frac{\varphi_{п}^2 \omega^2 R_{cp}^2}{2g}, \quad (2)$$

где  $\varphi_{п}$  – коэффициент, представляющий собой отношение скорости проскальзывания кольца жидкости  $\omega_{ж}$  к скорости вращения ротора  $\omega_{р}$ :

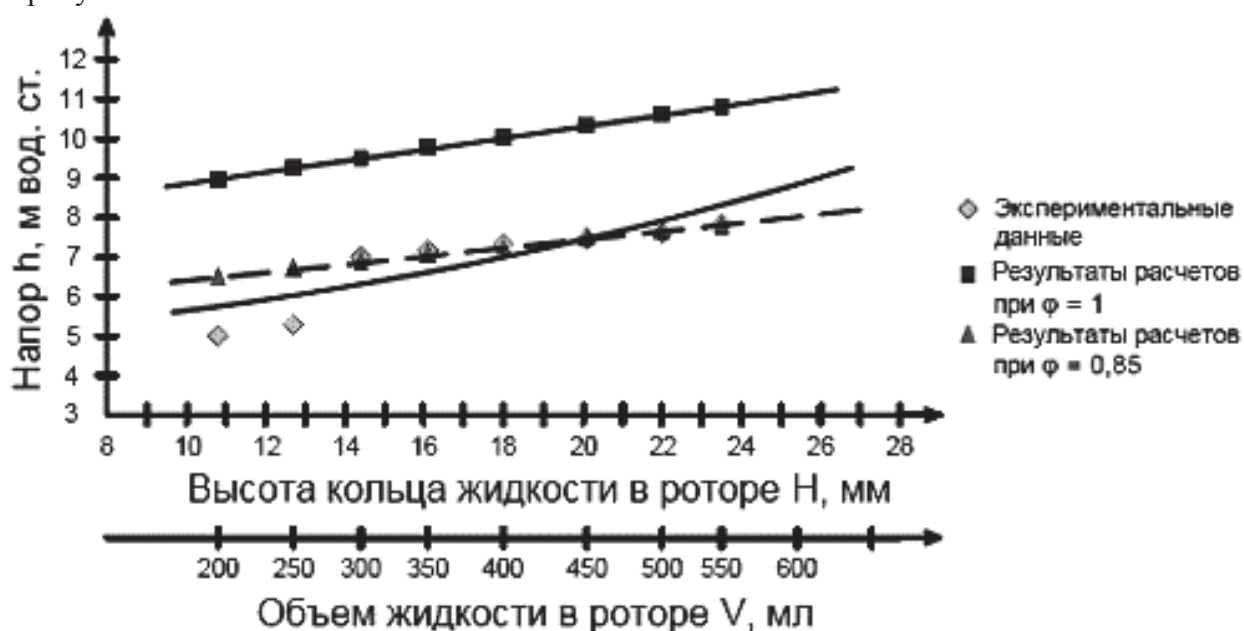
$$\varphi_{п} = \frac{\omega_{ж}}{\omega_{р}} = f(R). \quad (3)$$

Общий напор на входе в черпаковый насос принимает вид:

$$H_0 = \frac{\varphi_{п}^2 \omega^2 (2R_{cp}^2 - R_{ж}^2)}{2g}, \quad (4)$$

где  $H_0$  – максимальный напор при отсутствии расхода жидкости через черпаковый отвод.

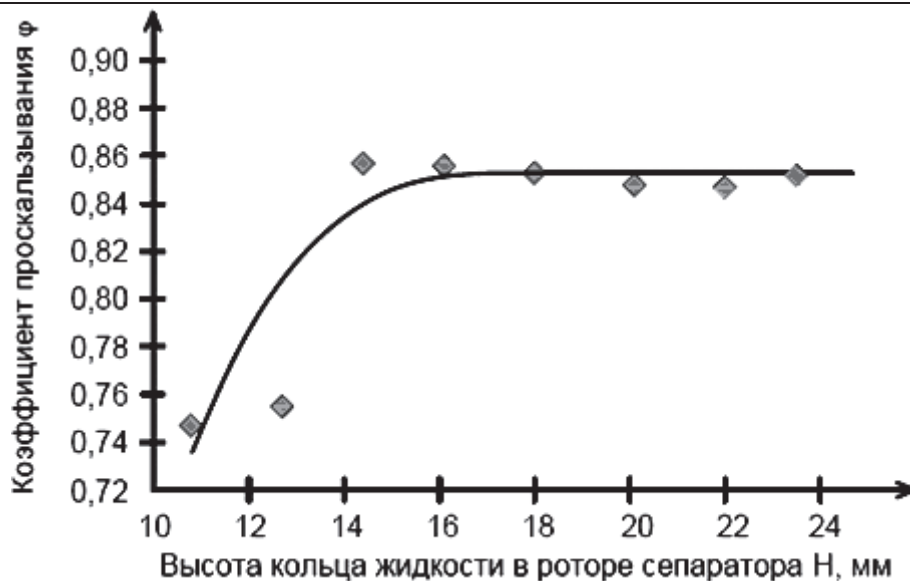
При проведении опыта напор на черпак при отсутствии слива жидкости был найден экспериментально. Зависимости напора в зоне отвода при отсутствии слива жидкости от высоты кольца жидкости (количества жидкости) в роторе сепаратора, полученные в результате расчетов (в идеальном случае) по зависимости (4) и в результате эксперимента представлены на рисунке 3.



**Рисунок 3. Зависимость напора в зоне отвода при отсутствии слива жидкости от высоты кольца жидкости (количества жидкости) в роторе сепаратора**

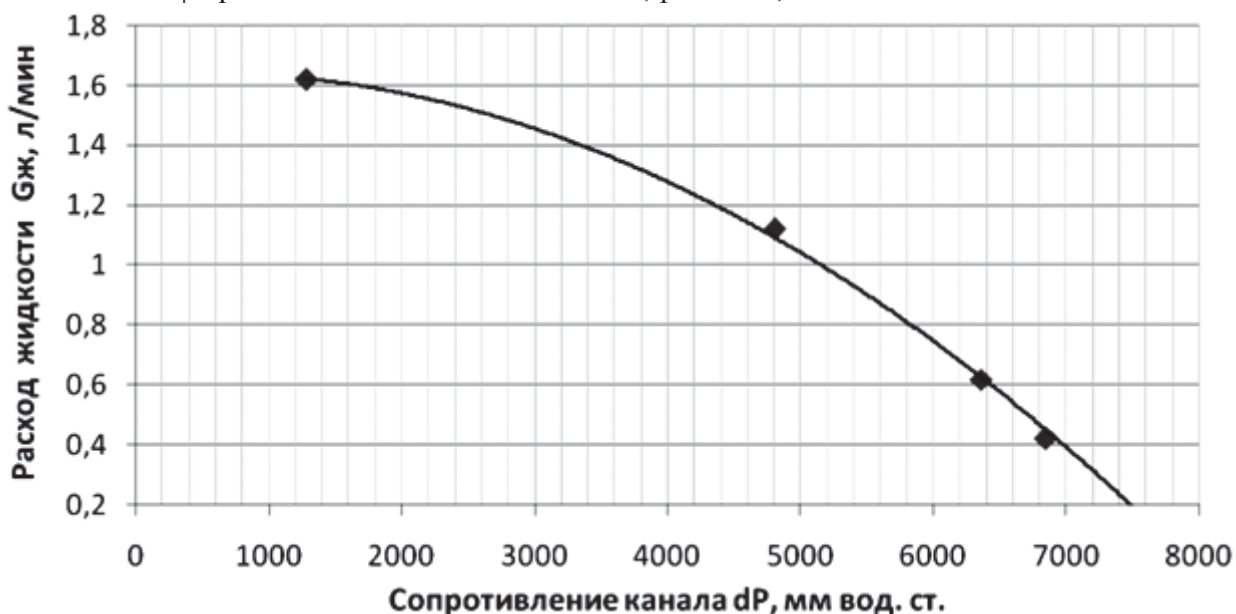
При сопоставлении полученных расчетных и экспериментальных данных было выявлено наличие значительного проскальзывания кольца жидкости относительно ротора насоса-сепаратора ЦНС, была построена зависимость коэффициента проскальзывания от высоты кольца жидкости (количества жидкости) в роторе насоса-сепаратора (рисунок 4).





**Рисунок 4. Зависимость коэффициента проскальзывания от высоты кольца жидкости (количества жидкости) в роторе насоса-сепаратора**

Из графика на рисунке 4 видно, что насос-сепаратор ЦНС переходит в автомоделный режим работы при высоте кольца жидкости в роторе  $h \geq 16$  мм. При этом коэффициент проскальзывания  $\phi$  принимает постоянное значение, равное 0,85.



**Рисунок 5. Зависимость расхода жидкости от гидравлического сопротивления канала при максимальном заполнении сепаратора**

С учетом полученного значения коэффициента проскальзывания в автомоделном режиме была построена расчетная кривая напоров (штриховая линия на рисунке 3). Данная кривая близка по значениям к экспериментальной, следовательно, полученное значение коэффициента проскальзывания может быть использовано при расчетах насосов-сепараторов данной конструкции.

Также была получена зависимость расхода перекачиваемой жидкости от гидравлического сопротивления отводного канала. Она представлена на рисунке 5.

Из графика видно, что подача насоса-сепаратора ЦНС уменьшается при увеличении гидравлического сопротивления канала, и истечение воды прекращается при достижении

значения гидравлического сопротивления в канале  $\Delta P = 0,75 \cdot 10^5$  Па (7500 мм вод. ст.).

### Выводы

Экспериментально подтверждено отсутствие уноса пены с воздушным потоком из насоса сепаратора ЦНС при расходе воздуха  $Q \leq 333$  л/мин.

Уточнена зависимость коэффициента проскальзывания кольца жидкости относительно ротора насоса-сепаратора ЦНС от количества жидкости в роторе, а также определено, что в автоматическом режиме работы насоса-сепаратора коэффициент проскальзывания  $\phi$  принимает постоянное значение, равное 0,85.

Установлено, что встроенный черпаковый насос создает напор жидкости до  $0,75 \cdot 10^5$  Па. Насос-сепаратор ЦНС может обеспечить достаточное отведение жидкости ( $Q \geq 40$  л/ч) при сопротивлении отводного канала не более  $0,62 \cdot 10^5$  Па.

Центробежный насос-сепаратор ЦНС может быть использован для разделения газожидкостной смеси в условиях микрогравитации в составе системы регенерации загрязненной санитарно-гигиенической воды.

### Литература

1. Бобе Л.С., Гаврилов Л.И., Кочетков А.А., Курмазенко Э.А., Андрейчук П.О. Зеленчуков А.А., Романов С.Ю., Синяк Ю.Е. Регенерация воды и атмосферы на космической станции: опыт орбитальных станций "Салют", "Мир" и МКС, перспективы развития // Сб. материалов междунар. науч. конф. IAC-10.A1.6.6., 27.10.2010 - Москва, 2010.
2. Бобе Л.С., Самсонов Н.М., Новиков В.М., Кочетков А.А., Солоухин В.А. и др. Перспективы развития систем регенерации воды обитаемых космических станций // Известия Академии наук. Энергетика. - 2009. - №1 - С. 69-77.
3. Среда обитания космонавта в пилотируемом космическом аппарате. Общие медико-технические требования: ГОСТ Р 50804-95. – Введ. 1995-08-08. – Москва: Госстандарт России, 1995. – 118 с.: ил.
4. Бобе Л.С. Технологические процессы систем регенерации воды: учеб. пособие – М.: Изд-во МАИ, 1991. – 68 с.
5. Риттенберг Б.Г., Филоненко В.Б., Барабаш П.А. О напоре безлопастных черпаковых насосов с частично заполненным корпусом // Насосы для интенсификации производственных процессов: Тем. сб. науч. тр. ВНИИГИДРОМАШ. М., 1988. – с. 132-137.

### **Воздействие автотранспорта на распределение тяжелых металлов и бенз(а)пирена в водоемах рекреационных зон**

Сорокин А.В., к.х.н. доц. Сотникова Е.В.

Университет машиностроения

8 (495) 223-05-23, alex\_sorokin@list.ru

*Аннотация.* Проведен анализ загрязнения почв и донных отложений нескольких прудов, тяжелыми металлами и бенз(а)пиреном. Исследования химического состава выполнены методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой и высокоэффективной жидкостной хроматографией. Рассчитаны коэффициенты вариации, концентрации анализируемых компонентов в исследуемых средах. Выявлены компоненты с превышенными фоновыми значениями концентраций. Установлено влияние автотранспортных потоков на изменение фоновых концентраций тяжелых металлов в почве и донных отложениях водоемов рекреационных зон.

*Ключевые слова:* тяжелые металлы, почва, донные отложения, коэффициент вариации, бенз(а)пирен