

10. Луцет М.О. Процессы теплообмена в окрестности очага пленочного кипения. Письма в ЖТФ. 1999. Т.25, вып. 21. с. 39-46.
11. Аметистов Е.В., Клименко В.В., Павлов Ю.М. Кипение криогенных жидкостей. М.: Энергоатомиздат, 1995. 400 с.
12. Белуков С.В., Соколов А.В. Многофункциональный криогранулятор программного типа для нано-, био- и пищевых технологий. Холодильная техника. 2012. № 2. с. 48 – 51.
13. Белуков С.В., Соколов А.В. Программное замораживание при условиях плавления гранул жидкофазных суспензий в процессе криогранулирования. Вестник международной академии холода. 2012. Выпуск 1. с. 15 – 18.
14. Белуков С.В., Соколов А.В. Криогранулирование в жидком азоте как способ получения заданных параметров материалов: инженерный подход. Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2012. № 8. с. 30 – 33.

Изучение структуры потока в поле центробежных сил

д.т.н. проф. Систер В.Г., Елисеева О.А.
Университет машиностроения

Аннотация. Представлены результаты экспериментальных исследований аэродинамической структуры газового потока внутри центробежного сепаратора. Установлено влияние степени закрутки потока на входе на относительную неравномерность потока по высоте и поперечному сечению аппарата.

Ключевые слова: *Центробежный сепаратор, газовый поток, аэродинамическая структура.*

Введение

Для выделения жидкой фазы из газокapельного потока применяются сепараторы различных типов, среди которых наиболее широко распространенным является класс центробежных каплеуловителей из-за высокой эффективности и производительности, простоты в изготовлении и малой металлоемкости.

В центробежных сепараторах разделение газожидкостного потока происходит за счет вращательного движения газового потока, прошедшего закручивающее устройство. При этом возникает центробежная сила, которая отбрасывает капли дисперсной фазы к внутренней стенке корпуса. Капли, оседая на ней, образуют вращающуюся пленку жидкости, которая затем поступает в узлы окончательного отделения жидкости от газового потока, а очищенный газ отводится из сепаратора через выхлопную трубу.

При определенном значении относительной скорости газа наступает потеря устойчивости системы жидкость-газ. В итоге начинается интенсивный унос жидкости. Эти процессы связаны с взаимодействием сил инерции, тяжести, поверхностного натяжения и трения. Критические скорости газового потока, при которых начинается унос, зависят от физических свойств взаимодействующих сред, параметров пленки жидкости, геометрических размеров и формы аппарата. Поэтому большое значение приобретает правильный расчет скоростей движения фаз, при которых достигается высокая степень разделения с минимальной возможностью возникновения уноса.

Сложность общей картины газокapельного течения, взаимодействия капельного и пленочного потоков в центробежных сепараторах обуславливает трудности ее полного математического описания. Литература по численным исследованиям сепарационных процессов, основанная на решении системы уравнений Навье-Стокса с использованием различного рода упрощений, достаточно обширна [1-4]. Однако до настоящего времени отсутствуют универсальные математические модели, отражающие всю специфику течения применительно к любой конструкции сепаратора. Различные полуэмпирические методы расчета применимы к

конкретным типам и конструкциям сепараторов [5-8]. Это делает экспериментальный путь исследования различных элементов течения наиболее предпочтительным.

Экспериментальная часть

Описание экспериментальной установки

В Московском государственном университете инженерной экологии проведены экспериментальные исследования аэродинамической структуры потока внутри центробежного сепаратора. На экспериментальной установке с помощью воздуходувки обеспечивалась подача воздуха в центробежный сепаратор. Векторный преобразователь частоты с регулятором обратной связи предназначен для установки и регулирования расхода воздуха, который пропорционален скорости вращения двигателя воздуходувки. Диафрагма, установленная на трубе подачи газового потока, использовалась для измерения расхода воздуха. Температура газа на диафрагме измерялась датчиком температуры. Перепад давления на диафрагме измерялся с помощью датчиков давления.

Компьютерная система со встроенной платой L-card 791 использовалась для автоматизации сбора, обработки и хранения полученных данных. Управление экспериментом осуществлялось с помощью компьютерной программы, написанной в среде Labview.

Измерение осевой и тангенциальной составляющей скорости газового потока внутри сепаратора проводилось с помощью термоанемометра. Для вычисления гидравлического сопротивления аппарата измерялся перепад давления в трубе подвода входящего потока и в выхлопной трубе сепаратора с помощью U-образного дифманометра.

Экспериментальные исследования структуры течения газового потока проводились внутри сборной модульной конструкции центробежного сепаратора (рисунок 1).

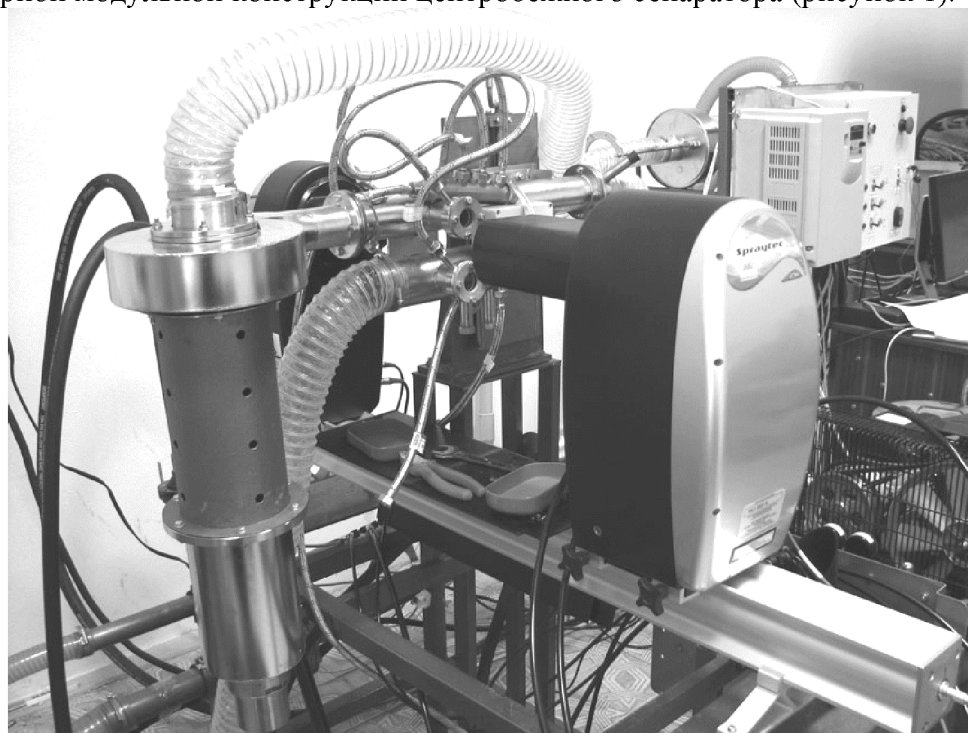


Рисунок 1 – Общий вид конструкции сепаратора для исследования структуры потока внутри аппарата

Для измерения тангенциальной и осевой составляющей скорости газового потока по высоте сепаратора и на разном удалении от его центральной оси внутри сепаратора конструкция аппарата была изменена. Цилиндр из оргстекла был заменен на цилиндр с отверстиями (рисунок 2) внутренним диаметром $D = 138$ мм и высотой $h_{\text{цил}} = 280$ мм. Для ввода зонда термоанемометра в цилиндре на 4-х уровнях выполнены отверстия под углом $\gamma = 75^\circ, 165^\circ, 255^\circ, 345^\circ$ (рисунок 2).

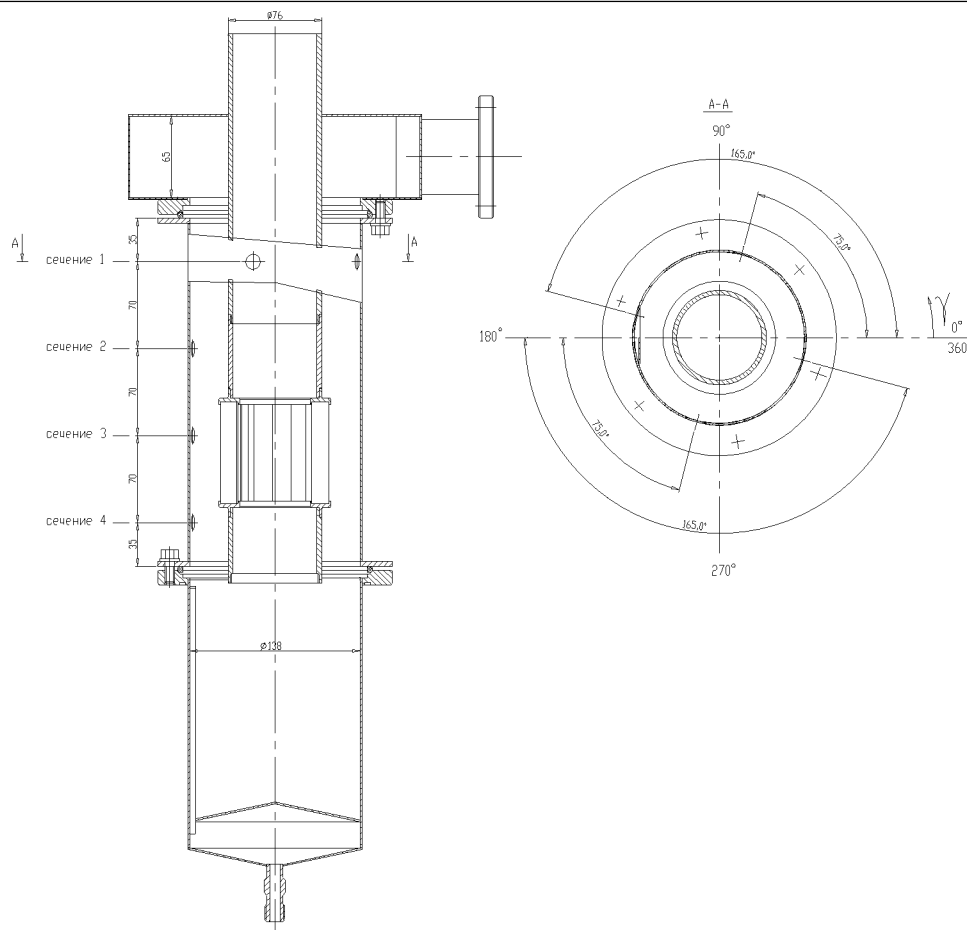


Рисунок 2 – Схема расположения отверстий в цилиндре для измерения тангенциальной и осевой составляющей скорости газового потока

Методика проведения экспериментов

Диапазон варьирования расхода газового потока в экспериментах составлял $Q_r = 19 \div 360$ м³/час. Заслонка во входной камере устанавливалась в 4-х положениях с $\psi_{вх} = 50,8^\circ$; $57,4^\circ$; $64,4^\circ$ и $73,2^\circ$ и соответствующие им $K_{вх}$ равные 10,3; 16,3; 27,9 и 76,2. При этом скорость газового потока на входе в центробежный сепаратор изменялась в диапазоне $v_{вх} = 1,6 \div 139$ м/с. Высота сепаратора H составляла 570 мм.

Измерение скорости проводилось в отсутствие дисперсной среды в верхней части цилиндрической зоны сепаратора (цилиндрическая часть - цилиндр с отверстиями (рис. 2)). Были проведены измерения тангенциальной и осевой компонент скорости газового потока на разных уровнях по высоте и удалении от оси вращения при различных значениях расхода и степени закрутки потока на входе. В цилиндр с отверстиями помещался телескопический зонд и производились измерения скорости газового потока в 4-х поперечных сечениях по высоте сепаратора и в радиальном направлении между внутренней стенкой и выхлопной трубой на расстояниях 1; 11 и 22 мм от внутренней стенки сепаратора.

Результаты и обсуждение

Зависимость гидравлического сопротивления аппарата ΔP от среднерасходной скорости потока $v_{ср-расх}$ при разных степенях закрутки потока на входе $K_{вх}$ представлена на рисунке 3.

Как видно из графика, влияние величины среднерасходной скорости $v_{ср-расх}$ на изменение общего гидравлического сопротивления ΔP возрастает с увеличением степени закрутки потока на входе $K_{вх}$.

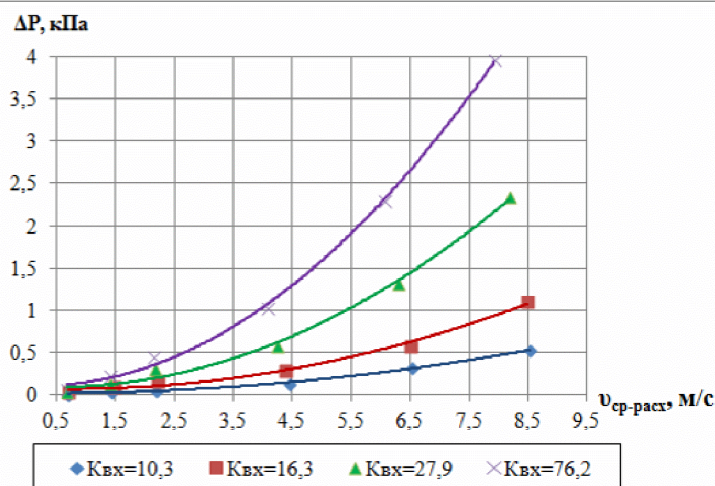


Рисунок 3 – Зависимость гидравлического сопротивления аппарата ΔP от среднерасходной скорости $v_{ср-расх}$

Получены зависимости осредненных по поперечным сечениям относительной тангенциальной составляющей $\frac{\overline{v_{\tau z}}}{v_{ex}}$ и осевой составляющей $\frac{\overline{v_{oz}}}{v_{ex}}$ скорости газового потока от относительного радиуса r/R при разных значениях степеней закрутки на входе $K_{вх}$ и расхода газового потока $Q_{г}$.

При $K_{вх} = \text{const}$ и варьировании $Q_{г}$ кривые имеют схожий характер. Также подобен характер этих зависимостей при изменении способа нормировки представляемых величин.

При сохранении всех режимных параметров постоянными значения $\frac{\overline{v_{\tau z}}}{v_{ex}}$ и $\frac{\overline{v_{oz}}}{v_{ex}}$ уменьшаются от сечения 1 к сечению 4 из-за постепенного уменьшения закрутки потока и потерь напора при его движении в сепараторе. При увеличении $K_{вх}$ разница в значениях $\frac{\overline{v_{\tau z}}}{v_{ex}}$, $\frac{\overline{v_{oz}}}{v_{ex}}$ между сечениями сокращается (снижается относительная неравномерность потока по высоте).

При увеличении $v_{вх}$ за счет увеличения $K_{вх}$ (при $Q_{г} \approx \text{const}$) значения $\frac{\overline{v_{\tau z}}}{v_{ex}}$ возрастают от $K_{вх} = 10,3$ до $16,3$, а при $K_{вх}$ от $16,3$ до $76,2$ – убывают. Т.е. существует некоторое пороговое значение степени закрутки, до которого ее целесообразно повышать для увеличения тангенциальной составляющей скорости газового потока (с возрастанием которой повышается центробежная сила) с целью повышения эффективности сепарации. Нецелесообразность дальнейшего увеличения $K_{вх}$ заключается и в возрастании при этом гидравлического сопротивления аппарата.

На рисунке 4 приведены полученные зависимости максимальных по радиусу r (средних по верхнему поперечному сечению 1) значений тангенциальной составляющей скорости газового потока внутри сепаратора $v_{тг_max}$ от $K_{вх}$.

Видно, что при разных расходах газового потока кривые зависимости $v_{тг_max}$ от $K_{вх}$ имеют схожий характер.

Установлено две области (рисунок 4):

1) при $K_{вх} < 24$ – область достаточно резких изменений $v_{тг_max}$ при слабом возрастании ΔP ;

2) при $K_{вх} > 24$ - область незначительного увеличения $v_{тг_max}$ при сильном возрастании ΔP .

Таким образом, значение $K_{вх} \approx 24$ – пороговое значение степени закрутки потока на входе для использованной в экспериментах конструкции центробежного сепаратора, до которого ее целесообразно повышать для увеличения тангенциальной составляющей скорости газового потока с целью повышения эффективности сепарации.

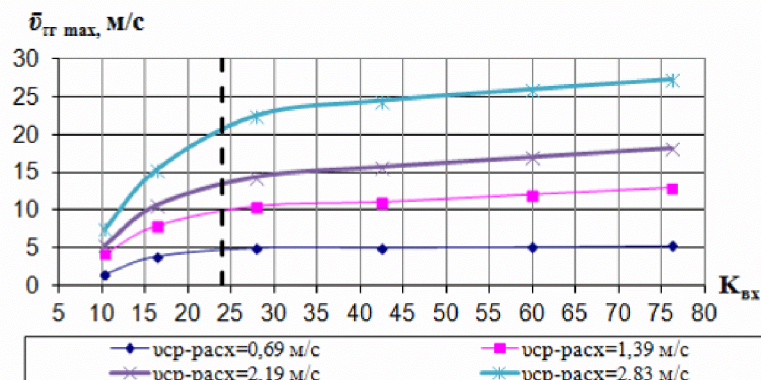


Рисунок 4 – Зависимость максимальных по радиусу r (средних по поперечному сечению 1) значений тангенциальной составляющей скорости газового потока внутри сепаратора $v_{тг_max}$ от степени закрутки потока на входе $K_{вх}$

Получены зависимости отношения локальной тангенциальной составляющей скорости газового потока к осредненной по поперечному сечению тангенциальной составляющей скорости $v_{тг}/\overline{v_{тг}}$ и отношения локальной осевой составляющей скорости газового потока к осредненной по поперечному сечению осевой составляющей скорости $v_{оз}/\overline{v_{оз}}$ от относительного радиуса r/R в поперечных сечениях сепаратора при максимальном и минимальном значениях $K_{вх}$.

Для уменьшения степени неравномерности потока внутри сепаратора подводящая камера выполнена с диаметром, превышающим диаметр сепаратора, с целью ограничения зоны максимальной неравномерности потока (характерной для областей, прилегающих к входному патрубку) от расположенной ниже цилиндрической части сепаратора. Несмотря на это, неравномерность присутствует, причем в большей степени в поперечном сечении 1, где поток перестраивается. Далее, при движении по цилиндрическому каналу вниз от сечения 1 к сечению 4 относительная неравномерность потока падает.

Следует отметить, что с увеличением степени закрутки потока на входе $K_{вх}$ степень неравномерности по поперечному сечению также уменьшается. Это может быть связано с тем, что при увеличении степени закрутки увеличивается количество витков по высоте аппарата, которые совершает газовый поток (если сделать предположение о его квазиструйном течении) в виде условной закрученной струи, уменьшается угол наклона винтообразной струи к горизонтали и шаг между витками. Таким образом, при измерении датчиком термоанемометра составляющих скорости потока в горизонтальных сечениях аппарата при увеличении $K_{вх}$ снижается возможность попадания в точки периферийной области струи, где значения скоростей отличаются от значений скоростей в центре (на оси) условной струи. По этой причине неравномерность по поперечному сечению уменьшается с увеличением расхода газового потока $Q_{г}$ (при $K_{вх} = \text{const}$), так как при этом также увеличивается количество витков по высоте аппарата, которые совершает газовый поток, уменьшается угол наклона винтообразной струи к горизонтали (увеличивается угол закрутки потока φ) и шаг между витками.

Закключение

На экспериментальной установке проведены эксперименты по исследованию аэродинамической структуры потока внутри центробежного сепаратора. Выявлены следующие

особенности:

- влияние величины среднерасходной скорости $v_{\text{ср-расх}}$ на изменение общего гидравлического сопротивления Δp возрастает с увеличением степени закрутки потока на входе $K_{\text{вх}}$;
- при $K_{\text{вх}} = \text{const}$ и варьировании $Q_{\text{г}}$ кривые зависимости осредненных по поперечным сечениям относительной тангенциальной составляющей и осевой составляющей скорости газового потока от относительного радиуса имеют схожий характер;
- при сохранении всех режимных параметров постоянными, значения осредненных по поперечным сечениям относительной тангенциальной составляющей и осевой составляющей скорости газового потока уменьшаются от верхнего сечения к нижнему из-за постепенного уменьшения закрутки потока и потерь напора при его движении в сепараторе;
- при увеличении $K_{\text{вх}}$ разница в значениях осредненных по поперечным сечениям относительной тангенциальной составляющей, а также осевой составляющей скорости газового потока между сечениями сокращается (снижается относительная неравномерность потока по высоте);
- при увеличении $v_{\text{вх}}$ за счет увеличения $K_{\text{вх}}$ (при $Q_{\text{г}} \approx \text{const}$) значения относительной тангенциальной составляющей скорости газового потока сначала возрастают, а затем убывают;
- пороговое значение степени закрутки потока на входе для использованной в экспериментах конструкции центробежного сепаратора, до которого ее целесообразно повышать для увеличения тангенциальной составляющей скорости газового потока с целью повышения эффективности сепарации, – $K_{\text{вх}} \approx 24$;
- неравномерность потока по поперечным сечениям внутри сепаратора присутствует, причем в большей степени в верхнем поперечном сечении, вблизи питающего патрубка, где поток перестраивается. Далее, при движении по цилиндрическому каналу вниз от верхнего сечения к нижнему относительная неравномерность потока падает;
- степень неравномерности по поперечному сечению уменьшается с увеличением $K_{\text{вх}}$, а также с увеличением расхода газового потока $Q_{\text{г}}$ (при $K_{\text{вх}} = \text{const}$).

Обозначения

a – высота входного сечения тангенциального патрубка, мм; b – регулируемая ширина входного сечения тангенциального патрубка, мм; D, R, H – внутренний диаметр, радиус и высота сепаратора, мм; $f_{\text{вх}}$ – площадь входного сечения подводящей камеры сепаратора, м^2 ; $h_{\text{цил}}$ – высота цилиндра из оргстекла, мм; $K_{\text{вх}}$ – степень закрутки потока на входе центробежного сепаратора; $Q_{\text{г}}$ – расход газа, $\text{м}^3/\text{час}$; $R_{\text{к}}, L_{\text{к}}$ – радиус и высота подводящей камеры, м; r – радиус, м; v – суммарная скорость, м/с; \bar{v} – средняя скорость, м/с; $v_{\text{т}}, v_{\text{о}}$ – радиальная, тангенциальная и осевая составляющие скорости, м/с; W – потребляемая мощность, кВт; Δp – гидравлическое сопротивление, кПа; γ – угол, под которым производился замер профилей скорости, градусы; $\psi_{\text{вх}}$ – угол между осью тангенциального патрубка и радиусом, градусы.

Подстрочные индексы и сокращения:

вх – поток на входе в сепаратор; г – газ; к – камера; о – осевая; ср-расх – среднерасходная (относится к скорости газового потока); цил – цилиндр; т – тангенциальная; max – максимальное значение параметра.

Литература

1. Митрофанова О.В. Гидродинамика и теплообмен закрученных потоков в каналах с завихрителями // Теплофизика высоких температур, 2003. - т. 41, № 4. - с. 587 – 633.
2. Смутьский И.И. Аэродинамика и процессы в вихревых камерах // Новосибирск: ВО «Наука». Сибирская издательская фирма. 1992 г. – 301 с.
3. Казанцева О.В., Пиралишвили Ш.А., Фузеева А.А. Численное моделирование закрученных течений в вихревых трубах // Теплофизика высоких температур. 2005. Т. 43, № 4. - с. 606-611.

4. Овчинников А.А. Динамика двухфазных закрученных турбулентных течений в вихревых сепараторах// Казань: ЗАО «Новое знание», 2005 г. - 288 с.
5. Bingtao Zhao, Yaxin Su. Particle collection theory for cyclone separators: summary and comparison. Part. Part. Syst. Charact. 23 (2006) 484-488.
6. Chang H. Jung and Hyun-Seol Park. A Simplified model to estimate the size distribution change of polydispersed aerosol for cyclone separator. Particulate Science and Technology, 26: 337-348, 2008.
7. Akira Ogawa, Tsuyoshi Ikari, Hiroyuki Murakami and Kouhei Satho. Estimation of the radial distribution of the tangential velocity in a vortex chamber. Journal of Thermal Science Vol. 18, № 1 (2009) 27-32.
8. Лазарев В.А. Метод определения аэродинамических показателей циклонов по геометрическим параметрам их входных и выходных патрубков// Хим. и нефтегаз. машиностр. М., 2006. - № 6. – с. 37 – 39.

Приборное и методическое обеспечение определения водо- и жирорастворимых антиоксидантов

к.т.н. Федина П.А., д.т.н. проф. Латышенко К.П.

Университет машиностроения

kplat@mail.ru

Аннотация. Выбраны оптимальные условия работы амперометрического детектора для определения водорастворимых антиоксидантов, модернизирован прибор для анализа жирорастворимых антиоксидантов, разработан макет универсального многоцелевого первого отечественного портативного жидкостного хроматографа. Это позволило впервые измерить суммарное содержание антиоксидантов в мясных, рыбных и молочных продуктах; расширить банк данных содержания антиоксидантов путём добавления разделов: специи и приправы, мясные, рыбные и молочные продукты; изучить вопрос об оптимальном соотношении в рационе человека водо- и жирорастворимых антиоксидантов.

Ключевые слова: хроматограф, амперометрия, водо- и жирорастворимые антиоксиданты.

В условиях неблагоприятной окружающей среды, социальных заболеваний в биологических жидкостях организма возрастает концентрация высокореакционных кислородных и азотных соединений в т.ч. и свободных радикалов (супероксид, гидроксильный радикал, перекись водорода и др.). В допустимых концентрациях свободные радикалы необходимы для нормального функционирования иммунной системы человека. Однако их избыточное содержание приводит к окислительному стрессу организма – причине опасных заболеваний (сердечно-сосудистых – 30 % всех заболеваний со смертельным исходом в мире, онкологических, диабета и др.) и преждевременному старению человека. Решить острую современную проблему – разбаланс естественной антиоксидантной системы человеческого организма, можно с помощью специальной терапии природными антиоксидантами и её внедрения в клиническую профилактическую медицину.

Для этого требуется:

- создание и разработка приборного и методического обеспечения для надёжного и экспрессного определения антиоксидантов;
- создание банка данных содержания антиоксидантов в пищевых продуктах, напитках, лекарственных препаратах, биологически активных добавках, поливитаминах, лекарствах;
- определение окислительного стресса путём измерения общего антиоксидантного статуса человека.