

бульб довгастої форми. Аналогічне заключення можна зробити для низьких частот (18). На середніх частотах (20) та (22) на ШХ позитивно впливає збільшення факторів X_1 та X_2 та зменшення завантаження робочої камери X_3 . На високих частотах для поліпшення ШХ необхідно підвищити оберти робочого органу та масу завантаженого продукту.

До поліпшення ВХ машини на низьких та середніх частотах (19), (21) приведе зменшення обертів на підвищення спільної дії факторів X_1 та X_2 . На високих частотах на ВХ суттєво впливає форма картоплі. Покращення ВХ пов'язано з очищенням картоплі близької за формою до шару.

Висновки

Для машин МОК з перфорованою сіткою робочої камери поліпшення ВАХ досягається збільшенням завантаження робочої камери у діапазоні її коефіцієнта заповнення та використанням бульб картоплі або буряка, менших за розміром.

Доцільно підвищити жорсткість стінок робочої камери.

Для машин типу МОК-350 поліпшення ВАХ пов'язано з зменшенням обертів робочого органу машини.

Рекомендації, щодо поліпшення ВАХ треба пов'язувати з конкретною конструкцією машин МОК.

Напрямок подальших досліджень буде визначення та аналіз ВАХ на всіх октавних смугах частот.

Література

1. Заплетников И.Н. Моделирование виброакустических процессов технологического оборудования пищевых производств. – Донецк: ДонГУЭТ, 2001. – 141 с.
2. Заплетников И. М., Дахов О. Г., Булганов С. С. Про підвищення точності розрахунку віброакустичних характеристик картоплечисток - Вісник ДонНУЕТ: серія Технічні науки, №1(49), 2009р. – с 24-30.
3. Заплетников И. Н. Жидков Ю. В. Виброакустика машин очистки корнеклубнеплодов: Монография / Донецк: Норд-Пресс, 2008. – 147с.

УДК 66.099.2

ГИДРОДИНАМИКА АППАРАТОВ С ВИХРЕВЫМИ И ВЫСОКОТУРБУЛИЗИРОВАННЫМИ ПОТОКАМИ

**Коробченко К.В., магистрант, Артюхов А.Е., канд. техн. наук, старший преподаватель,
Ляпощенко А.А., канд. техн. наук, доцент, Склабинский В.И., д-р техн. наук, профессор
Сумский государственный университет, г. Сумы**

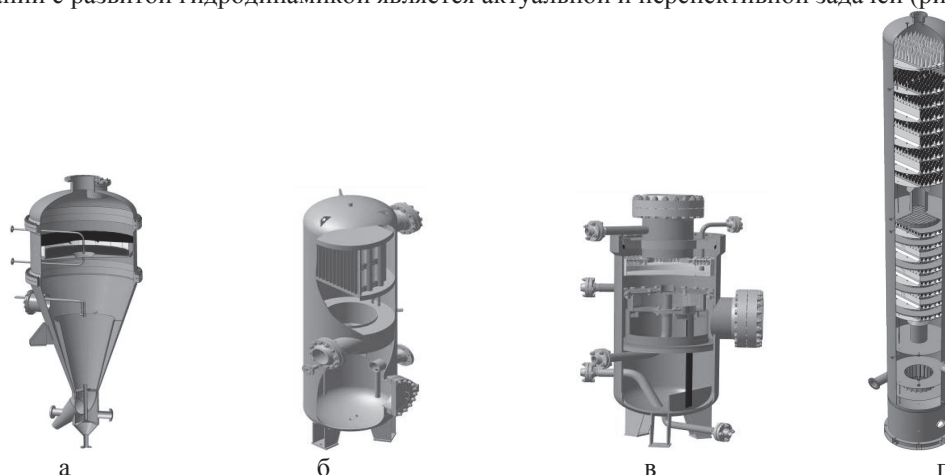
Представлена область применения и основные преимущества аппаратов вихревыми и высокотурбулизированными потоками в современной промышленности. Рассмотрены конструктивные особенности различных аппаратов с интенсивной гидродинамикой. Выполнен анализ способов математического моделирования физических процессов. Приведены пример расчёта гидродинамики вихревого аппарата для получения гранулированных продуктов и результаты компьютерного моделирования гидродинамических процессов в сепарационном оборудовании.

The scope and the basic advantages of devices by vortical and turbulent streams of high intensity in the modern industry are presented. Design features of various devices with intensive hydrodynamics are considered. The analysis of ways of physical processes mathematical modeling is made. Examples of calculation of hydrodynamics of the vortical device for reception of the granulated products and results of computer modeling of hydrodynamic processes in separation equipment are shown.

Ключевые слова: вихревой, высокотурбулизированный, гидродинамика, расчёт, моделирование.

Рост интереса к использованию вихревых и высокотурбулизированных потоков в тепломассообменной технике химических и нефтеперерабатывающих производств связан с возможностью осуществления процессов с большей интенсивностью при уменьшении габаритных размеров и объёмов рабочего пространства аппаратуры [1]. Исследования гидродинамики вихревых тепломассообменных аппаратов связаны с тем, что гидродинамическая обстановка в технологических аппаратах может весьма существенно влиять на интенсивность протекания процесса и качественные показатели. Во всех случаях существенно важным является увеличение межфазной поверхности и относительной скорости движения фаз.

Поиск новых способов организации движения вихревых и высокотурбулизованных потоков в оборудовании с развитой гидродинамикой является актуальной и перспективной задачей (рис. 1).



а - вихревой гранулятор с жидкостно-кольцевым сепаратором [2,3]; б – инерционно-фильтрующий газосепаратор [4]; в – абсорбер с вихревым распыливающим противоточным массообменным аппаратом (ВРПМА) [5]; г – многофункциональный абсорбер (МФА) с вихревыми массообменно-сепарационными контактными ступенями [6].

Рис. 1 – Аппараты и вихревыми и высокотурбулизованными потоками

Вихревые аппараты характеризуются интенсивными воздушными потоками, которые создаются разгонными элементами. При этом потоки имеют характер пространственно-объемных завихрений с периодически циклическим изменением как величины, так и направления, что положительно влияет на процесс, проходящий в аппарате.

В вихревом аппарате процесс теплообмена будет проходить в резко выраженном турбулентном дисперсном потоке, в котором присутствует газовая, твердая и жидкая фазы. Высокая турбулентность потока позволяет вести процесс при одинаковых условиях для всех частиц.

Активные гидродинамические режимы в сочетании с возможностью управления временем пребывания твердой фазы определяют высокие технико-экономические показатели аппаратов такого типа.

В основе расчета гидродинамики вихревых и высокотурбулизованных потоков лежат классические уравнения гидродинамики, в частности, система дифференциальных уравнений Навье-Стокса, дополненная уравнением неразрывности потока, и система дифференциальных уравнений движения дисперсной фазы. Для цилиндрической системы координат (r, φ, z) в случае осесимметричного движения потоков в аппарате под действием массовых сил F_r, F_φ, F_z они будут иметь вид [7]:

- система дифференциальных уравнений Навье-Стокса и уравнение неразрывности потока

$$\begin{cases} \frac{\partial V_r}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} + V_z \frac{\partial V_r}{\partial z} - \frac{V_\varphi^2}{r} = F_r - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + E \left(\frac{\partial^2 V_r}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 V_r}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_r}{\partial r} - \frac{V_r}{r^2} \right); \\ \frac{\partial V_\varphi}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_\varphi}{\partial r} + V_z \frac{\partial V_\varphi}{\partial z} - \frac{V_r V_\varphi}{r} = F_\varphi + E \left(\frac{\partial^2 V_\varphi}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 V_\varphi}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_\varphi}{\partial r} - \frac{V_\varphi}{r^2} \right); \\ \frac{\partial V_z}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_z}{\partial r} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} = F_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + E \left(\frac{\partial^2 V_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_\varphi}{\partial r} \right). \end{cases} \quad (1)$$

$$\frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{\partial V_z}{\partial z} + \frac{V_r}{r} = 0, \quad (2)$$

где V_r, V_φ, V_z - радиальная, окружная и осевая составляющие полной скорости сплошной фазы, м/с; p - давление, Па; ρ - плотность движущейся среды, кг/м³; E - коэффициент турбулентной вязкости в соответствии с гипотезой Буссинеска.

-система дифференциальных уравнений движения дисперсной фазы массой m

$$\left\{ \begin{aligned} j_r &= \frac{F_r}{m} = \frac{\partial W_r}{\partial t} - \frac{W_r^2}{r}; \\ j_\varphi &= \frac{F_\varphi}{m} = \frac{\partial W_\varphi}{\partial t} + \frac{W_r W_\varphi}{r}; \\ j_z &= \frac{F_z}{m} = \frac{\partial W_z}{\partial t}. \end{aligned} \right. \quad (3)$$

где W_r, W_φ, W_z - радиальная, окружная и осевая составляющие полной скорости дисперсной фазы, м/с.

При решении уравнений (1)-(3) для каждого из случаев расчёта аппаратов с интенсивной гидродинамикой учитываются особенности геометрии рабочего пространства устройства, характер ввода потоков в аппарат физико-химические свойства потоков, а также проводится анализ сил, действующих на частицы дисперсной фазы в рабочем пространстве аппарата. При необходимости задаются законы изменения составляющих полной скорости сплошной фазы и давления в аппарате. Результаты расчёта – поля скоростей сплошной и дисперсной фазы в аппарате, поля давлений в аппарате, траектории и время пребывания частиц дисперсной фазы в рабочем пространстве аппарата.

Для моделирования гидродинамических процессов и расчёта аппаратов с вихревыми потоками на кафедре процессов и оборудования химических и нефтеперерабатывающих производств Сумского государственного университета разработана программа, которая позволяет получать графические и аналитические зависимости изменения составляющих полной скорости газового потока и дисперсных частиц в вихревом грануляторе по составленной математической модели [8,9].

Изначально происходит разбиение рабочего пространства аппарата сеткой на элементарные объёмы (рис.2). Затем программа просчитывает значение составляющих полной скорости начиная от нижнего сечения к верхнему. Получив значение на оси, происходит смещение координаты на единицу ближе к периферии, и так до тех пор, пока не достигается максимальное значение текущего радиуса на заданной высоте рабочего пространства. Далее происходит перемещение по оси на единицу вверх, и ведется аналогичный расчет. При достижении верхнего сечения, соответствующего полной (максимальной) высоте рабочего пространства, все рассчитанные значения вписываются в соответствующее диалоговое окно. Данные, полученные после расчёта, используются при построении графических зависимостей.

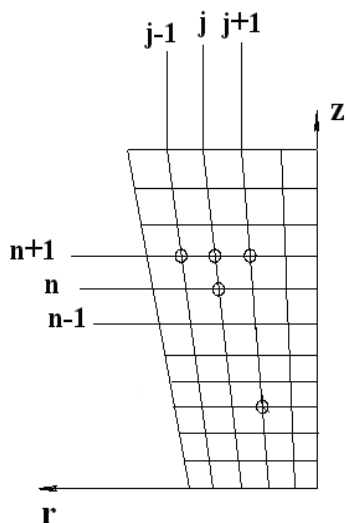


Рис. 2 - Общий вид расчётной сетки для определения составляющих полной скорости газового потока и дисперсной фазы в вихревом грануляторе

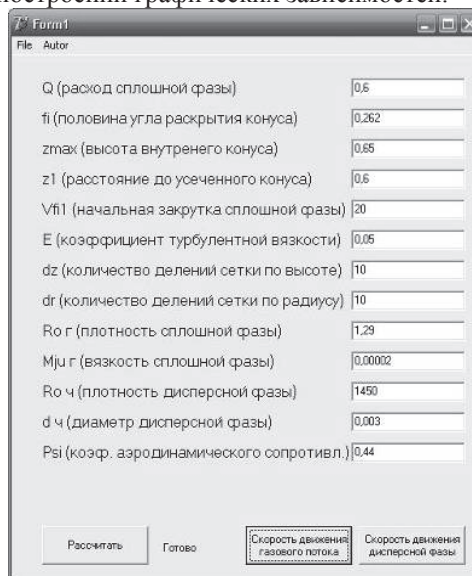


Рис. 3 - Интерфейс программы

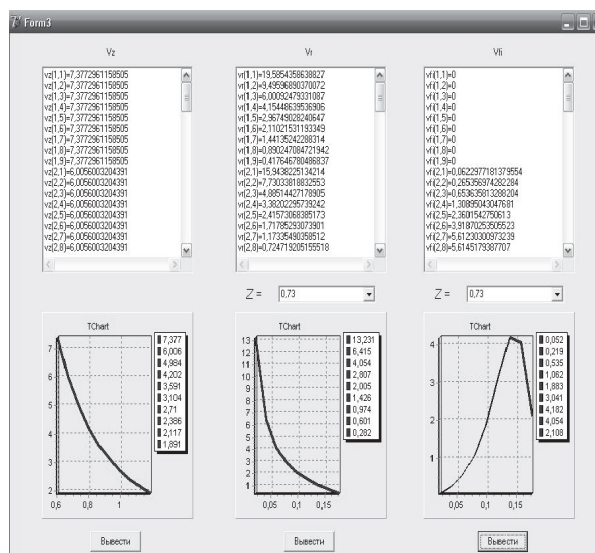


Рис. 4 - Диалогове окно с результатами расчётов составляющих полной скорости газового потока

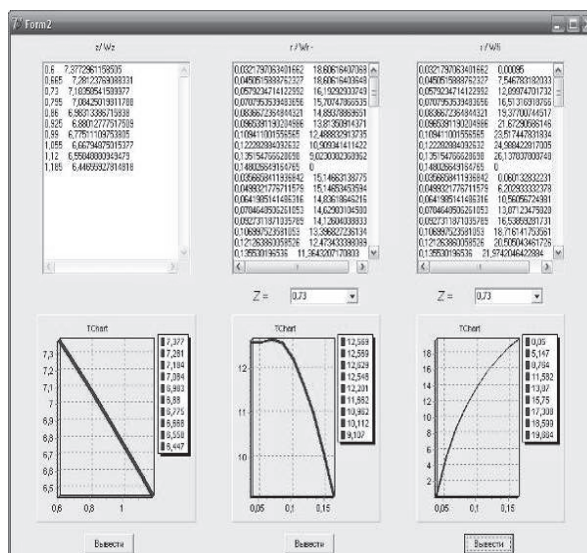


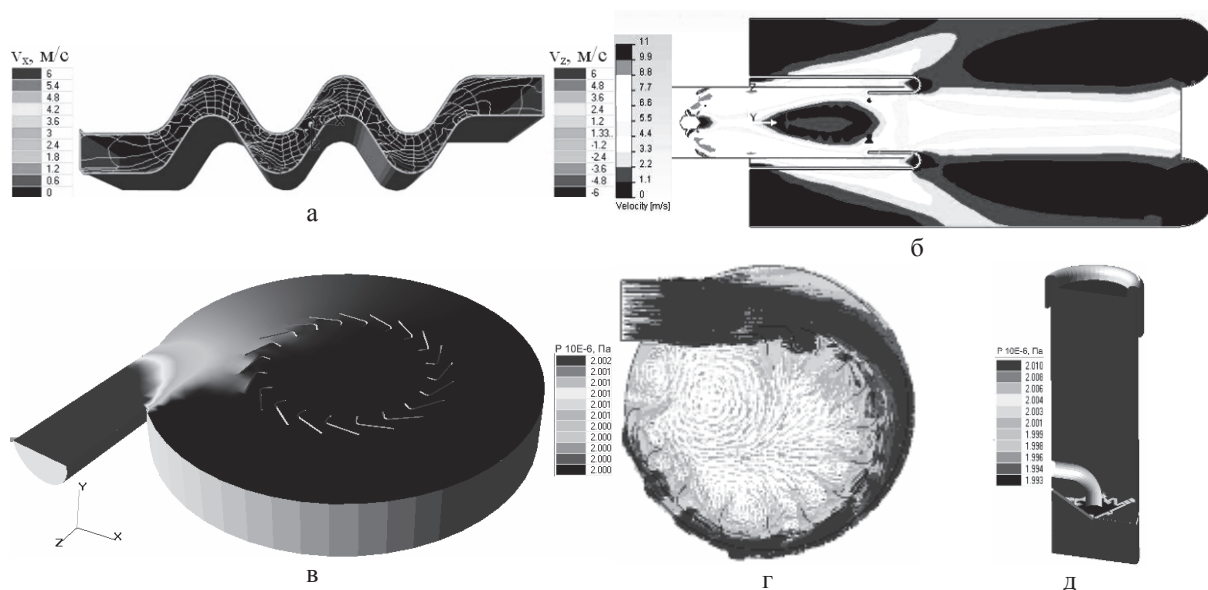
Рис. 5 - Диалогове окно результатов расчётов составляющих полной скорости дисперсной фазы

При открытии программы первичный интерфейс представляет собой диалоговое окно, предназначенное для ввода основных технологических и конструктивных параметров (рис. 3). Результаты расчёта представляются на отдельных панелях в виде числового ряда и графических зависимостей (рис. 4-5)

Поскольку результаты расчета представлены как в виде графических зависимостей, так и в табличном виде, то это позволяет проводить анализ работы вихревого аппарата, заключающийся в определении силового воздействия на дисперсную фазу со стороны газового потока. В этом случае возможно прогнозирование характера движения дисперсной фазы, а также выделения характерных областей повышенной и пониженной интенсивности движения потоков в осевом, радиальном и окружном направлении в рабочем объёме устройства с интенсивной гидродинамикой.

Одновременно, использование современных способов моделирования физических процессов, описание которых возможно в виде системы дифференциальных уравнений в частных производных, наряду с использованием зарекомендовавших себя программных пакетов численного моделирования Fluent (<http://www.fluent.com/>), COSMOS FlowWorks (<http://www.cosmos.com/>), FlowVision (<http://www.tesis.com.ru/>), Flow-3D (<http://www.flow3d.com/>), Ansys CFX (<http://www.ansys.com/>) и COMSOL Multiphysics (<http://www.comsol.com/>) для решения задач вычислительной гидрогазодинамики позволяют спрогнозировать поведение сплошной и дисперсной фазы в аппаратах с интенсивными гидродинамическими режимами с учётом особенностей моделируемого процесса и конструкции исследуемого аппарата. Указанные программные продукты представляют пользователям полный спектр инструментов для моделирования: построения или импорта геометрии модели (расчетной области), описания физического процесса, построения расчетной сетки – разбиения расчетной области (meshing), моделирования, а так же постобработки результатов расчета. Результаты компьютерного моделирования процессов сепарации в высокотурбулизированных аппаратах, представленные на рис.6, были проанализированы в публикациях [10-11]. Компьютерным моделированием гидродинамических процессов вихревых грануляционных устройств со сниженной высотой полёта гранул и переменным по высоте сечением рабочего пространства получены поля локальных скоростей в рабочем объёме грануляторов, представленные на рис.7.

Комплексный анализ результатов моделирования аналитическим и численным методами позволяет проводить тестирование модели на компьютере, а также даёт возможность проведения оптимизационного расчёта. Процесс моделирования помогает спрогнозировать возможные изменения и опробовать новые варианты, которые могут сделать процесс более эффективным.



а – ізолінії складових локальних швидкостей газового потоку в криволінійному каналі жалюзійного газосепаратора; б – заливка по значенням поля швидкостей в центробежному каплеуловителі з евольвентним завихрителем; в, г – заливка по значенням поля тисків і траєкторії руху крапель в вихревої камері каплеуловителя з уголковими сепараційними насадками; д – заливка по значенню поля тисків в прямоточному масобмінно-сепараційному елементі з лопастним завихрителем.

Рис. 6 – Результати комп'ютерного моделювання гідродинамічних процесів в контактних елементах сепараційних пристроїв

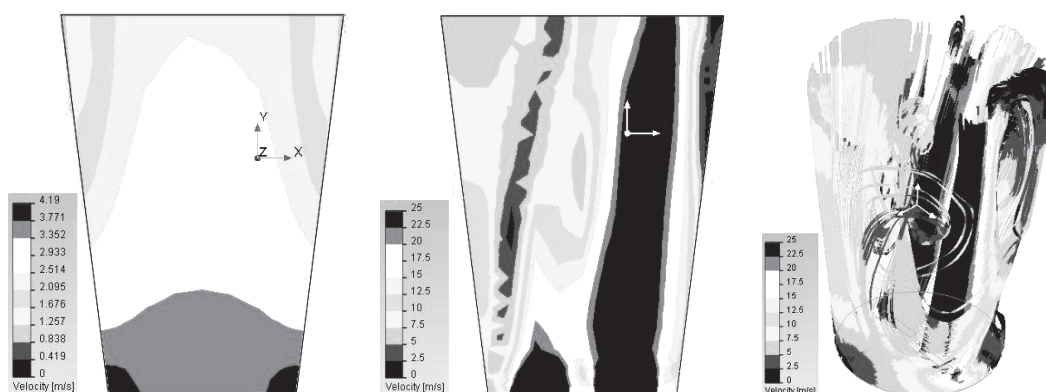


Рис. 7 – Результати комп'ютерного моделювання гідродинаміки вихревих потоків для грануляційних пристроїв со зниженою висотою польоту гранул (заливка полів швидкостей)

Результати розрахуноків гідродинамічного режиму роботи апаратів являються визначальним фактором для створення методики інженерного розрахуноків, вибору оптимальної конструкції робочого простору, типу пристроїв для створення високотурбулізованих потоків, часу перебування фаз в апараті. Таким чином, представляється можливим проводити корективні технології проведення процесу в таких апаратах на основі аналізу гідродинамічної обстановки в апараті при зміні технологічних (режимних) і конструктивних параметрів виконання процесів.

Література

1. Артюхов А.Е. Высокоэффективные вихревые аппараты в малотоннажных производствах гранулированных продуктов / А.Е. Артюхов, В.И. Склабинский // Химические реактивы, реагенты и процессы малотоннажной химии: сб. научных трудов XX Международной научно-технической конференции. – Минск, 2008. – С. 272–277.
2. Патент №82754 Україна, МПК (2006) B01J2/16. Спосіб гранулювання рідкого матеріалу та пристрій для його здійснення / А.С. Артюхов, В.І. Склабинський; заявник та патентовласник Сумський державний університет – №a200608137; заявл. 20.07.2006; надрук 12.05.2008, Бюл. № 9.

3. Патент України. Заявка №а200812720 від 30.10.2008р., МПК (2006) В 01 J 2/16. Спосіб отримання гранул пористої структури та пристрій для його здійснення / Артюхов А.Є., Склабінський В.І., Жеба К.В.
4. Патент №88558 С2 Україна, МПК В01D45/04. Спосіб вловлювання високодисперсної краплинної рідини з газорідного потоку і пристрій для його здійснення / Склабінський В.І., Ляпощенко О.О., Логвин А.В., Міщенко О.С.; заявник та патентовласник Сумський державний університет — №200802372; заявлено 25.02.2008; надрук. 26.10.2009, Бюл. №20, 2009.
5. А.с. 1197707 СССР, МКИЗ В 01 D 53/18. Вихревой распыливающий массообменный аппарат. /Холин Б.Г., Склабинский В.И. - Б.И. № 46, 1985.
6. Патент України. Заявка № u 2009 11023 Україна, МПК(2009)В01D53/14. Спосіб очищення та осушування природного газу / О.О.Ляпощенко, Ю.О.Толстун, Я.М.Бакаєва. Заявлено 02.11.2009.
7. Склабінський В.І. Розрахунок гідродинамічних параметрів закручених потоків у вихрових грануляторах аналітичним методом / В.І.Склабінський, А.Є.Артюхов // Вісник Сумського державного університету. – 2008. – № 3. – С. 62-70.
4. Жеба К.В. Гідродинаміка двофазних вихрових потоків. Вплив на габарити грануляційного обладнання / К.В. Жеба, В.І. Склабінський, А.Є. Артюхов // Хімічна промисловість України. – 2009. – № 4. – С. 47-52.
5. Склабинский В.И. Определение гидродинамических характеристик дисперсной фазы в малогабаритных вихревых аппаратах / В.И. Склабинский, А.Е. Артюхов // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2009. – Вип. 6/2009 (59), частина 1. – С.196-201.
6. Склабінський В.І. Дослідження високоефективного інерційно-фільтруючого сепараційного обладнання компресорних установок нафтогазової промисловості / В.І.Склабінський, О.О.Ляпощенко // Вісник Сумського державного університету. — 2006. — №10(94). — С. 112-119.
7. Логвин А.В. Визначення гідродинамічних показників інерційно-фільтруючих сепараторів за допомогою комп'ютерного моделювання та фізичного експерименту / Логвин А.В., Склабінський В.І., Ляпощенко О.О. // «Наукові дослідження – теорія та експеримент '2009»: Матеріали четвертої міжнародної науково-практичної конференції. Т.6. — Полтава: Вид-во «ІнтерГрафіка» 2009. - С.54-56.

УДК 678.023

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ШЕСТЕРЕННОГО НАСОСУ ДЛЯ ПЕРЕКАЧУВАННЯ ВИСОКОВ'ЯЗКИХ РІДИН

Корнієнко Я.М. д-р. техн. наук, професор, Швед М.П. канд. техн. наук,
Домінова Г.В., Сафонов С.В., Швед Д.М.
Національний Технічний Університет України «КПІ», м. Київ

В статті надані результати аналітичних та експериментальних досліджень енергетичних параметрів шестеренного насоса, які дали змогу розробити методику розрахунку потужності об'ємного насоса для перекачування високов'язких рідин.

This article is about results of the theoretical analysis and experimental researches of the gear pump's energy parameters, which gave an opportunity to design a power calculation method for high viscosity fluid transferring.

Ключові слова: екструзія, неньютонівська рідина, дозування, шестеренний насос.

З кожним днем використання шестеренних насосів в лініях для екструзії полімерів стає дедалі популярнішим. Це пов'язано не тільки з тим, що шестеренні насоси дають можливість отримувати кінцевий продукти вищої якості, але й з тим, що вони використовуються як загально визнаний інструмент для покращення ефективності та зручності в використанні всієї екструзійної лінії. Працюючи з екструдером як єдина система шестеренні насоси поєднали в собі такі ключові характеристики, без яких сьогодні неможливо було б відповідати постійно зростаючим вимогам до якості продукції та економічності. Шестеренні насоси можна використовувати не лише в нових екструзійних лініях, але й при модифікуванні вже існуючих. Але в обох випадках присутня єдина мета – вивести етап виробництва на якісно новий рівень, досягти більшої точності та якості при виготовленні продукції й збільшити