

2. Повышение эффективности тормоза передних колес трактора МТЗ / А.С. Мельников, И.С. Сазонов, В.А. Ким, А.А. Мельников // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2017. – № 1. – С. 54–62.
3. Тормозные системы колесных машин : монография / И.С. Сазонов [и др.] ; под общ. ред. И.С. Сазонова. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2011. – 351 с.
4. Лурье, А.И. Аналитическая механика. – Москва : Физматгиз, 1961. – 824 с.

Материал поступил в редакцию 20.11.2017

VOLOSHCHUK A.A., KIM V.A., MONTIK S.V., BEREZUCKAYA S.O. The equations of braking tractor train composed of a wheeled tractor and trailer on a horizontal support surface

The proposed differential equation of deceleration of the tractor trains that can be used for simulation of the braking process, the tractor train, composed of a wheeled tractor and trailer on a horizontal support surface with the purpose of determining the estimated load of the front axle of the tractor.

УДК 662.812 : 628.33

Санюкевич Ф.М.

О ДВИЖЕНИИ ЧАСТИЦ В КРИВОЛИНЕЙНОМ КАНАЛЕ ЦИКЛОННОГО АППАРАТА

Введение. Одним из наиболее эффективных устройств, использующих действие центробежных сил, являются циклонные аппараты. В них центробежное поле возникает во вращающемся потоке газа или жидкости. Газовые циклоны появились в начале XX столетия и быстро нашли применение для очистки воздуха и дымовых газов от пыли.

Принцип действия и конструкции газовых циклонов были использованы в напорных гидроциклонах – аппаратах для разделения жидких неоднородных систем. В настоящее время гидроциклоны получили широкое распространение в таких отраслях промышленности, как горнорудная, угледобывающая, машиностроительная, нефтедобывающая и нефтеперерабатывающая, пищевая, микробиологическая, строительная, керамическая, а также в технологических процессах очистки природных и сточных вод [1–3]. Их используют для сгущения, осветления и классификации суспензий, промывки их твёрдых компонентов. В последние годы гидроциклоны стали применять для очистки смазочно-охлаждающих жидкостей при металлообработке, а также для разделения несмешивающихся жидкостей (например, для очистки нефтепродуктов от воды). Широко используют гидроциклоны и в системах очистки промышленных и бытовых сточных вод, что позволило в ряде случаев исключить применение отстойников, фильтров и центрифуг.

По сравнению с другим оборудованием, использующим действие центробежных сил, гидроциклоны обладают рядом преимуществ. Они являются наиболее простыми по конструкции аппаратами, работать с которыми может персонал невысокой квалификации. Отсутствие вращающихся частей не требует наличия специальных приводных устройств. Гидроциклоны компактны, занимают незначительные производственные площади, что даёт возможность устанавливать их на существующих предприятиях без их расширения. Низкие капитальные затраты на изготовление, надёжность в работе, высокая удельная производительность и возможность автоматического регулирования разделения неоднородной среды ставят гидроциклоны вне конкуренции с аналогичным оборудованием, использующим для интенсификации процесса разделения центробежное поле.

Теоретические предпосылки процесса разделения неоднородной среды в криволинейном канале циклонного аппарата. В общем случае напорный гидроциклон состоит из цилиндрической части диаметром D и высотой H , к которой снизу примыкает своим большим основанием конус с углом конусности α . Диаметр D является основным параметром циклона, влияющим на процесс разделения неоднородной среды, и колеблется в широких пределах: от 10 до 750 мм. Исходная жидкость поступает в цилиндрическую часть под давлением через входной (питающий) патрубок, который выполняют строго по касательной к внутренней поверхности цилиндриче-

ской части. Такое конструктивное исполнение питающего патрубка обеспечивает создание и постоянную поддержку вращательного движения жидкости, что приводит в свою очередь к появлению центробежной силы, необходимой для разделения исходной двух- или многокомпонентной системы.

На эффективность работы гидроциклонов влияют физические и гидродинамические свойства разделяемых суспензий, геометрические параметры циклонов и поле центробежных сил, которое возникает при криволинейном движении потоков. Напорные гидроциклоны обычно работают в вертикальном положении, однако при больших давлениях питания (свыше 0,5 МПа) центробежные силы столь значительны, что аппараты устойчиво работают в любом положении.

При расчётах процесса сепарации различных материалов в криволинейном потоке циклонного аппарата возникает много трудностей в случае учёта всех сложных явлений, проявляющихся при движении контактной среды, которая состоит из твёрдых частиц, находящихся во взвешенном состоянии и образующих вместе с разделяющей их жидкостью гетерофазную систему. С целью упрощения расчётов теория сепарации обычно абстрагируется от наличия системы и рассматривает движение изолированных частиц, представляющих собой идеальные сферы, диаметры которых определяются как среднее между наибольшим и наименьшим размерами частиц. При этом исключаются электрические силы, тепловые и силы трения частиц о стенки аппарата. Весьма незначительное влияние на характер движения частиц в условиях высокотурбулентного закрученного потока оказывают гравитационные силы. По сравнению с силами инерции они столь малы, что действием их обычно пренебрегают.

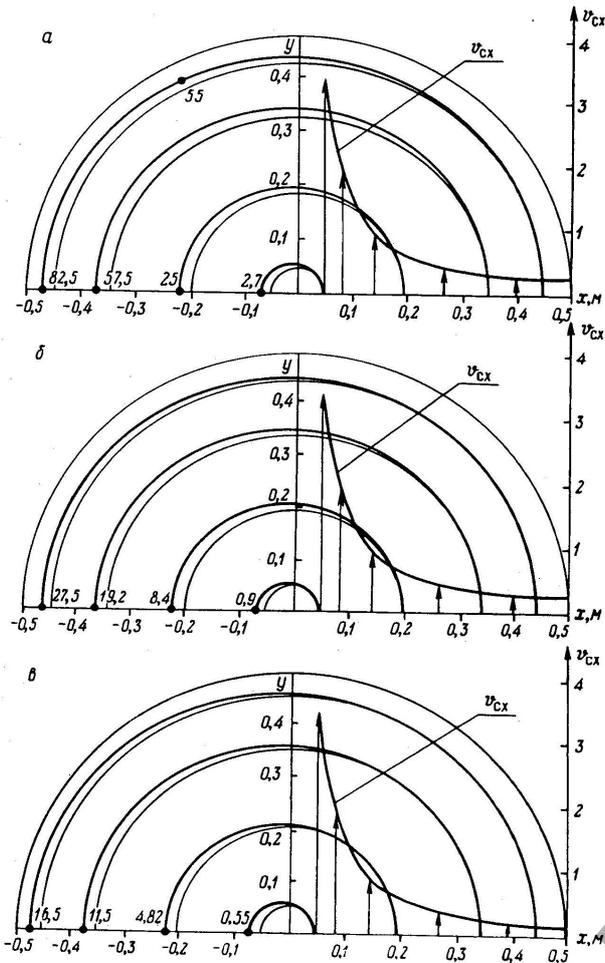
Известно, что тангенциальные скорости жидкости в гидроциклонах значительно превосходят осевые и сепарация происходит в основном из-за радиальной скорости. Поэтому движение частиц рассматривают в горизонтальном криволинейном потоке, где они преодолевают сопротивление среды (жидкости), величина которого в основном зависит от размеров частиц и скорости её движения.

При движении шаровой одиночной частицы сила гидродинамического сопротивления среды выражается формулой

$$F = c\pi d^2 \rho_{ж} v_c^2 / 8, \quad (1)$$

где $c = f(\text{Re})$ – коэффициент сопротивления движению частицы, являющийся функцией числа Рейнольдса Re по частице: $\text{Re} = v_c d \rho_{ж} / \mu$; v_c – скорость относительного движения частицы или скорость сепарации; d – диаметр частицы; $\rho_{ж}$ – плотность жидкости (среды); μ – динамическая вязкость жидкости.

Санюкевич Федор Михайлович, к.т.н., доцент, доцент кафедры машиностроения и эксплуатации автомобилей Брестского государственного технического университета. Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.



а – $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$; б – $\rho = 1500 \text{ кг/м}^3$; в – $\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$

Рисунок 1 – Траектории движения частиц плотностью ρ с диаметром $d=200 \text{ мкм}$ в криволинейном потоке при $W_0=15 \text{ м/с}$

Исходя из анализа сил взаимодействия частицы и среды в криволинейном потоке, при изменении его скорости вдоль радиуса криволинейного канала гидроциклона по гиперболе для случая степенного закона сопротивления дифференциальное уравнение движения частицы в горизонтальном криволинейном канале имеет вид:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{1}{\tau} \frac{dx}{dt} + \frac{K^2}{x^3} - A \left(\frac{dx}{dt} \right)^{5/3} - \frac{2K}{x^2} \frac{(W_0 - W_n)e^{-t/\tau}}{[1 + \tau A(W_0 - W_n)^{2/3} (1 - e^{-2t/3\tau})^{3/2}]} - \frac{\Phi}{\tau} \frac{1}{x} \quad (2)$$

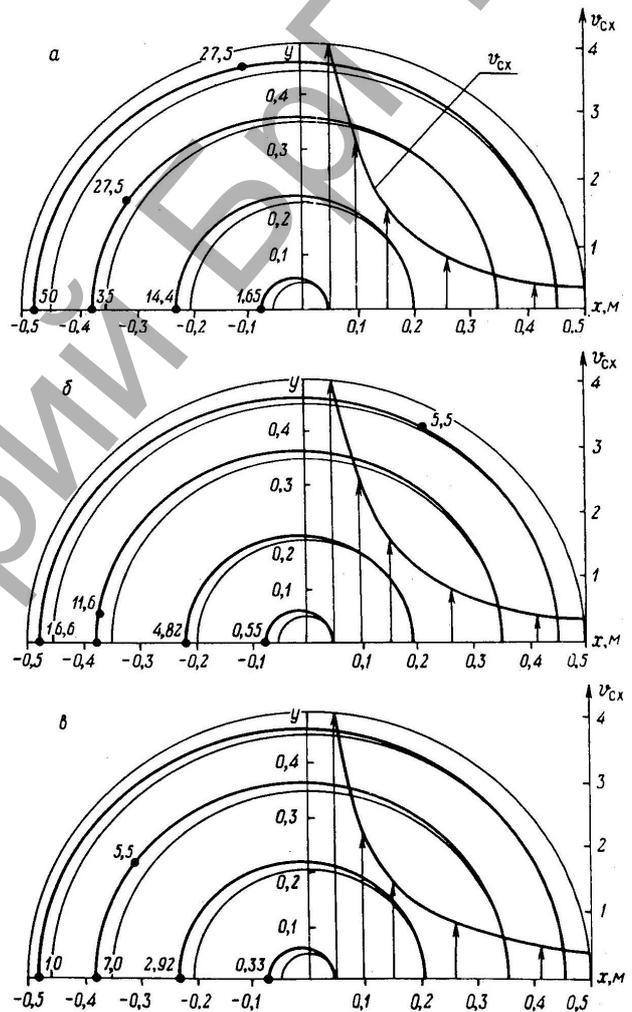
где x – координата частицы на подвижной оси – радиусе циклона; τ – время релаксации движущейся частицы; $K = W_0(x_2 - x_1) / \ln(x_2 / x_1)$ – постоянная гиперболического закона изменения скорости потока в радиальном направлении; x_2 и x_1 – наружный и внутренний радиусы криволинейного канала циклона; W_0 – средняя скорость жидкости у входа в криволинейный канал; $A = \frac{3}{d} \cdot \frac{\rho_{ж}}{\rho} \left(\frac{v_c}{d} \right)^{1/3}$ – коэффициент уравнения, определяемый диаметром d частицы; $\Phi = Q / 2\pi H D$ – характеристика величины радиального стока (течение жидкости в направлении оси гидроциклона); Q – расход жидкости; ρ – плотность частицы.

Уравнение (2) было решено совместно с канд. техн. наук В.Т. Васильевым для гидроциклона с размерами криволинейного

канала $x_2 = 0,5 \text{ м}$ и $x_1 = 0,05 \text{ м}$ в случае сепарации одиночных частиц диаметром 10, 60 и 200 мкм с учётом величины радиального стока и без него. Плотность частиц составляла $\rho = 500\text{--}2500 \text{ кг/м}^3$, скорость входа жидкости в криволинейный канал $W_0 = 15\text{--}25 \text{ м/с}$.

Результаты решения уравнения (2) позволили изучить влияние скорости W_0 входа потока жидкости, плотности ρ материала и места ввода x_0 в криволинейный канал частиц различного диаметра d на эффективность инерционной сепарации при степенном законе сопротивления. Кроме того, были получены траектории движения частиц различной плотности ρ .

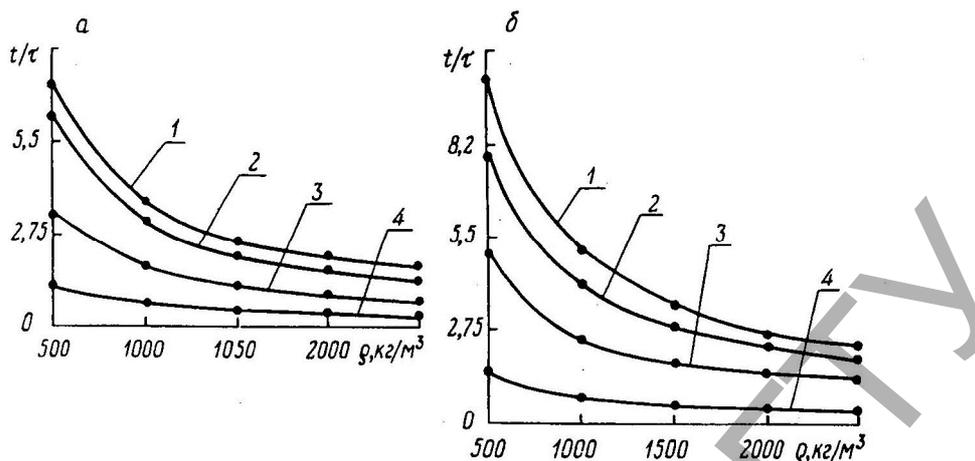
На рис. 1 и 2 представлены траектории движения частиц с $d=200 \text{ мкм}$ и $\rho = 500\text{--}2500 \text{ кг/м}^3$ для двух скоростей W_0 входа потока жидкости в криволинейный канал.



а – $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$; б – $\rho = 1500 \text{ кг/м}^3$; в – $\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$

Рисунок 2 – Траектории движения частиц плотностью ρ с диаметром $d=200 \text{ мкм}$ в криволинейном потоке при $W_0=25 \text{ м/с}$

Анализ этих рисунков показывает, что с возрастанием плотности частиц в несколько раз время сепарации t/τ соответственно уменьшается. Так, если при скорости входа $W_0=15 \text{ м/с}$, $x_0=0,45 \text{ м}$ и $\rho=500 \text{ кг/м}^3$ отношение t/τ составляет 82,5 (рис. 1, а), то при $\rho=1500 \text{ кг/м}^3$ и 2500 кг/м^3 отношение t/τ в той же точке составляет соответственно 27,5 и 16,5 (рис. 1, б, в). Аналогичное пропорциональное изменение времени t/τ наблюдается и при начальной скорости входа $W_0=25 \text{ м/с}$ (рис. 2). Сравнение рис. 1 и 2 позволяет



а – $Wo=22$ м/с; б – $Wo=15$ м/с; 1, 2, 3, 4 – $x_0=0,45$ м; 0,35; 0,20; 0,05 м соответственно

Рисунок 3 – Зависимости времени t/τ достижения максимальной скорости $V_{сх}$ от плотности ρ для частиц с диаметром $d=60$ мкм

сделать вывод, что увеличение скорости входа частиц одинаковой плотности также приводит к снижению времени сепарации.

На рис. 3 приведены зависимости t/τ времени достижения максимальной скорости сепарации $V_{сх}$ от плотности ρ для частиц размером $d=60$ мкм. Здесь так же, как и для частиц с диаметром $d=200$ мкм, увеличение плотности частиц приводит к уменьшению времени t/τ .

Следует отметить, что при степенном законе сопротивления эффективность сепарации значительно меньше, чем при стоксовском, а траектории движения частиц меньше отличаются от соответствующих линий тока. Кроме того, в случае степенного закона сопротивления частица прежде, чем достигнуть стенки гидроциклона, совершит гораздо больше оборотов вокруг его оси, чем в случае стоксовского закона сопротивления.

Заключение. Решение дифференциального уравнения движения частицы в криволинейном потоке с учётом степенного закона сопротивления позволило получить траектории движения частиц в горизонтальном криволинейном канале гидроциклона и уяснить характер явлений, происходящих при инерционной сепарации твёрдых частиц из жидкой среды.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Найденко, В.В. Применение математических методов и ЭВМ для оптимизации и управления процессами разделения суспензий в гидроциклонах / В.В. Найденко. – Горький : Волго-Вятское кн. изд-во, 1976. – 287 с.
2. Поваров, А.И. Гидроциклоны на обогатительных фабриках / А.И. Поваров. – Москва : Недра, 1978. – 232 с.
3. Кислов, Н.В. Гидроциклонное осветление воды / Н.В. Кислов, Ф.М. Санюкевич; под ред. М.А. Гатиха. – Минск : Наука і тэхніка, 1990. – 128 с.

Материал поступил в редакцию 05.10.2017

SANYUKEVICH F.M. On particles' motion in a curvilinear channel of hydrocyclone apparatus

Based on the solution of differential equation for particle motion in a curvilinear flow the trajectories of its motion in a curvilinear channel of hydrocyclone apparatus are found.

УДК 629.113:004.94

Монтик С.В., Головченко Ю.А., Монтик Н.С.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Введение. При проектировании и реконструкции автотранспортных предприятий (АТП) возникает задача оптимизации структуры производственных подразделений по техническому обслуживанию автомобилей, т. е. определение оптимального количества постов зон диагностирования, технического обслуживания (ТО) по критерию минимальных суммарных затрат на содержание производственного подразделения и потери прибыли от простоя автомобилей.

Для моделирования структуры зоны ТО автомобилей широко используются теория массового обслуживания и имитационное моделирование. Одним из преимуществ имитационного моделирования является возможность задавать требуемые законы распределения потока требований на обслуживания и потока обслуживания, а

также отслеживать поведение системы во времени.

Целью данной работы является сравнение методик моделирования структуры производственных подразделений по техническому обслуживанию транспортных средств с использованием теории массового обслуживания (ТМО) и имитационного моделирования на примере зоны ТО автомобилей-самосвалов производственно-коммерческого комплекса (ПКК) филиала «Автовокзал г. Бреста» ОАО «Брестоблавтотранс».

Методика проведения исследований. Количество и режим работы автомобилей-самосвалов, режим работы зоны ТО принимался по данным ПКК филиала «Автовокзал г. Бреста» ОАО «Брестоблавтотранс» (см. табл. 1).

Головченко Юрий Анатольевич, старший преподаватель кафедры машиностроения и эксплуатации автомобилей Брестского государственного технического университета.

Монтик Николай Сергеевич, студент факультета электронно-информационных систем Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.