

Таблица

Экспериментально определенные коэффициенты шероховатости СВМГТ

Диаметр трубы, мм	Облицовка	Среднее значение коэффициента шероховатости	Разброс относительно среднего значения, %
500	Полимер	0,02018	1,0 – 2,5 %
	Оцинковка	0,02047	1,2 – 2,6 %
1000	Полимер	0,02541	1,1 – 3,4 %
	Оцинковка	0,02535	0,7 – 4,4 %

Результаты выполненной серии экспериментов показали, что определяемые коэффициенты шероховатости для труб рассматриваемого диаметра зависят практически только от диаметра труб и размеров гофра. Величина полученных коэффициентов шероховатости не зависит от уклона расположения трубы, степени наполнения и материала облицовки.

Полученные значения коэффициентов рекомендованы к использованию при выполнении гидравлических расчетов водопропускной способности соответствующих спиральновитых металлических гофрированных труб.

### Литература

1. Моргунов, К. П. Гидравлика / К. П. Моргунов. – СПб.: Лань, 2014. – 288 с.

УДК 626.141

### Реверсивно-струйная очистка металлических и бетонных поверхностей от продуктов коррозии

Качанов И. В., Шаталов И. М., Жук А. Н., Филипчик А. В.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*В статье приведены основные результаты теоретических и экспериментальных исследований реверсивно-струйной очистки металлических и бетонных поверхностей от продуктов коррозии.*

В настоящее время широкое применение в промышленном и строительном производстве нашли пескоструйные и дробеструйные способы очистки, которые обладают рядом серьезных недостатков [1].

Некоторые из этих недостатков устраняются путем применения метода гидроабразивной очистки (ГАО). Процесс очистки состоит в эрозионном воздействии высокоскоростной водяной струи и твердых абразивных частиц

на обрабатываемый материал. Недостатком ГАО является неполное использование кинетической энергии струи жидкости, взаимодействующей с преградой. Этот недостаток устраняется путем использования реверсивно-струйного течения рабочей жидкости относительно обрабатываемой поверхности. Для получения такого течения сопловый блок помещается в корпус, который позволяет произвести разворот струи на  $180^\circ$  и тем самым увеличить силовое воздействие на обрабатываемую поверхность ориентировочно на 70-80 %, решить вопросы по сбору жидкости после проведения очистки поверхности и отправить ее на регенерацию.

На кафедре «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика» БНТУ была разработана, исследована и запатентована [2] новая технология и устройство для формирования реверсивной струи рабочей жидкости, воздействующей на преграду (рис.).

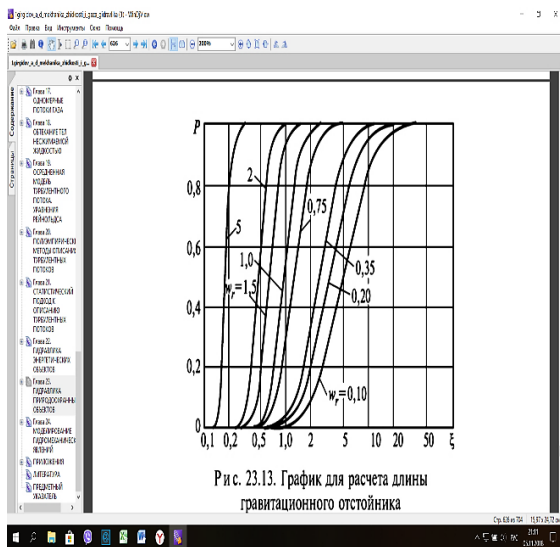


Рис. Устройство для очистки от коррозии плоских стальных и бетонных поверхностей:

- 1 – бак напорный, 2 – насадок, 3 – манжета струеформирующая, 4 – насос, 5 – стакан цилиндрический, 6 – обрабатываемая поверхность, 7 – уплотнение, 8 – крышка, 9 – бак для регенерации

В процессе обработки при ударе струи о плоскую преграду сила давления  $P$  прямо пропорциональна плотности жидкости  $\rho$ , площади сечения струи  $\omega$  и квадрату средней скорости струи  $v$ , т.е.

$$P = \rho \cdot \omega \cdot v^2, \quad (1)$$

или

$$P = \rho \cdot v \cdot Q, \quad (2)$$

где  $Q$  – расход рабочей жидкости, м<sup>3</sup>/с; ( $Q = v \cdot \omega$ );  $\rho$  – плотность рабочей жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $\omega$  – площадь сечения струи рабочей жидкости, м<sup>2</sup>;  $v$  – средняя скорость струи, м/с.

При ударе струи рабочей жидкости в плоскую поверхность с обеспечением ее разворота на 180° сила давления определяется по формуле

$$P = 2 \cdot \rho \cdot v \cdot Q. \quad (3)$$

Анализ формулы (3) показывает, что при неизменных параметрах обработки  $v$  и  $Q$ , в результате разворота струи на 180°, сила удара ее на очищаемую поверхность возрастает в два раза, но в формуле (3) не учтены прочностные характеристики разрушаемого слоя коррозии.

Для определения величины давления при воздействии реверсивной струи на преграду с учетом прочностных характеристик разрушаемого слоя коррозии был использован метод механики – метод верхней оценки или приближенный энергетический метод [3]. Этот метод основан на условии баланса мощностей внешних и внутренних сил, действующих на поверхностях разрушаемых коррозионных слоев, и предполагает использование расчетных уравнений (4) и (5) [4,5]. В этих уравнениях в качестве основного расчетного критерия принят коэффициент обжатия струи  $\lambda$ , который позволяет спрогнозировать минимальное давление разрушения слоя коррозии, установить для данного  $\lambda$  величину струйного давления  $p_{стр}$  и корректно подобрать насосно-силовое оборудование.

$$p = 2\tau_n \left( (1 + \lambda) \frac{\sin \beta}{\cos(\alpha - \beta) \cos \alpha} + \lambda \frac{\cos(\alpha - \beta) \sin \beta}{\cos \alpha \sin^2 \xi} + \left(1 + \frac{1}{\lambda}\right) \frac{\cos \alpha}{\sin \beta \cos(\alpha - \beta)} \right) + \rho v^2 \left( \lambda^2 \frac{\sin^2 \beta \sin(\xi - \beta) \cos(\alpha - \beta)}{\sin^3 \xi \cos \alpha} + (1 + \lambda)^2 \frac{\cos^2 \alpha}{\cos^2(\alpha - \beta)} \right), \quad (4)$$

где  $p$  – гидродинамическое давление, возникающее в точке соударения струи с преградой, Н/м<sup>2</sup>;

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dp_{cm}}{d\alpha} = 2\tau_n \left( (1+\lambda) \frac{\sin \beta}{\cos(\alpha-\beta)\cos \alpha} + \lambda \frac{\cos(\alpha-\beta)\sin \beta}{\cos \alpha \sin^2 \xi} + \left(1 + \frac{1}{\lambda}\right) \frac{\cos \alpha}{\sin \beta \cos(\alpha-\beta)} \right) = 0 \\ \frac{dp_{cm}}{d\beta} = 2\tau_n \left( (1+\lambda) \frac{\sin \beta}{\cos(\alpha-\beta)\cos \alpha} + \lambda \frac{\cos(\alpha-\beta)\sin \beta}{\cos \alpha \sin^2 \xi} + \left(1 + \frac{1}{\lambda}\right) \frac{\cos \alpha}{\sin \beta \cos(\alpha-\beta)} \right) = 0 \end{array} \right. \quad (5)$$

Дифференцирование системы уравнений (5) позволило получить выражения (6) для расчёта оптимальных углов  $\alpha$  и  $\beta$  кинематически возможного поля линий скольжения, обеспечивающих минимальное значение давления струи  $p_{стр}$  при разрушении обрабатываемого материала.

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha = \beta + \arccos \frac{\sqrt{9\left(\lambda + \frac{1}{\lambda}\right) + 14}}{3\left(\sqrt{\lambda} + \frac{1}{\lambda}\right)} \\ \beta = \arctg \frac{\sqrt{9\left(\lambda + \frac{1}{\lambda}\right) + 14}}{3 \cdot \lambda + 5} \end{array} \right. \quad (6)$$

Для проверки полученных теоретических решений были проведены экспериментальные исследования процесса реверсивно-струйной очистки (PCO) стальных поверхностей на специальном стенде, разработанном на кафедре «ГЭСВТГ».

Для проведения эксперимента были выбраны шесть типов заготовок с различными коэффициентами обжатия  $\lambda$ , определяемыми по формуле

$$\lambda = \frac{d_{cmp}}{D_0 - d_{cmp}}, \quad (7)$$

где  $d_{стр}$  – диаметр струи, принятый равным диаметру сопла, мм,  $D_0$  – диаметр полости заготовки, мм.

Для формирования струи рабочей жидкости PCO использовалось сопло с диаметром, равным 1,2 мм.

В результате проведенных исследований установлено влияние расстояния от сопла до обрабатываемой заготовки на силу воздействия струи и получено его оптимальное значение. Анализ полученных экспериментальных данных показал, что максимальное значение давления струи на преграду  $p$  достигается при коэффициенте обжатия струи  $\lambda = 0,063$ .

При использовании РСО увеличивается эффективность и качество очистки обрабатываемых поверхностей, более рационально используется кинетическая энергия струи, снижается энергоёмкость производимых работ, повышается производительность процесса очистки и культура производства.

### **Литература**

1. Проволоцкий, А. Е. Струйно-абразивная обработка деталей машин. – Киев: Техника, 1989. – 177 с.
2. Устройство для очистки от коррозии плоской стальной поверхности: пат. №16526, Респ. Беларусь, МПК В 08В 3/00; В 63В 59/08 / И. В. Качанов, А. Н. Жук, В. Н. Шарий, Р. О. Мяделец; дата публ. 30.10.2012.
3. Работнов Ю. Н. Механика деформируемого твердого тела / Ю. Н. Работнов. – М.: Наука, 1988. – 654 с.
4. Качанов, И. В. Скоростное горячее выдавливание стержневых изделий / И. В. Качанов. – Минск: Технопринт, 2002. – 327 с.
5. Качанов, И. В. Теоретические исследования процесса реверсивно-струйной очистки судовых поверхностей от коррозии / И. В. Качанов, А. Н. Жук, В. А. Ключников, А. А. Кособуцкий, И. М. Шаталов, В. С. Ковалевич, Е. В. Качанова // *Materialy XIV Miedzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji, «Nauka i inowacja - 2018»*, Volume 2 *Przemysł: Nauka i studia.* – 84 s.

УДК 627.816

### **Роль малой ГЭУ в составе комплексной электростанции**

Гатилло С. П., Артёмчик А. А., Чуприк А. И.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Разработана методика расчета совместной работы комплексной электростанции, состоящей из ГЭС или ГЭС-ГАЭС и нескольких ВЭУ, где ГЭУ используется в качестве аккумулятора энергии ВЭУ. С учетом допустимого значения величины колебания уровня воды в водохранилище определена возможность регулирования мощности комплексной электростанции.*

В нашей стране сделано много для освоения возобновляемых энергоресурсов. К проблемам, которые не способствуют развитию возобновляемой энергетики, относится непредсказуемость выработки электроэнергии во времени. При большой удельной доле такой энергии в энергосистеме последней выдвигается требование участия подобных электростанций в регулировании мощности, что и определено Указом Президента Республики Беларусь № 357