

## ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРУБОПРОВОДОВ, БУНКЕРОВ, ЕМКОВ ВИБРОУДАРНЫМИ МАШИНАМИ

В конце прошлого века появились виброударные машины для очистки различных поверхностей, например, внутренних поверхностей трубопроводов, приемных бункеров, для активации процесса разгрузки транспортных средств /1, 2/. Опытные образцы таких машин показали свою эффективность при работе на различных объектах ТЭЦ. Но процессы, протекающие в таких машинах, были мало изучены, параметры таких машин выбирались интуитивно и, возможно, они еще далеки от оптимальных. В связи с этим возникла задача изучения технологического процесса очистки с целью выбора рациональных параметров виброударных машин.

Решение этой задачи было начато на кафедре «Механика» Кыргызско-Российского Славянского университета в 2007 году. К настоящему времени разработана математическая модель взаимодействия ударной системы машины с обрабатываемым объектом, учитывающая контактные пластические деформации /3/. Она позволяет уточнять влияние различных факторов на эффективность процесса виброударной очистки поверхностей и напряженное состояние элементов ударной системы.

Расчетная схема имела вид, представленный на рис. 1. Она состоит из жесткого тела (бойка) 1 с массой  $m$  и податливой сферической ударной поверхностью радиуса  $R_1$ , который ударяет по упругому стержню (инструменту) 2 длиной  $L$  с постоянным по длине диаметром  $d$ . Стержень опирается на пластину 3 толщиной  $\delta_1$ . Торцев, контактирующий с бойком, плоский, а

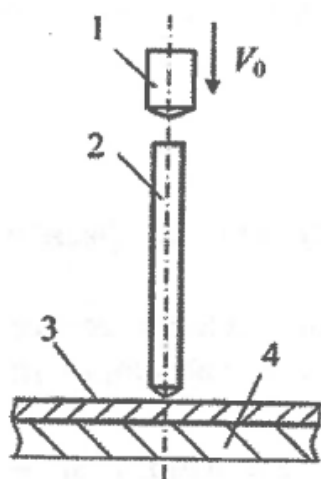


Рис. 1.

торец, контактирующий с пластиной - сферический с радиусом сферы  $R_2$ . В модели пластина со слоем отложений приводится к однослойной пластине толщиной

$$\delta = \delta_1 + \delta_2.$$

Для выбора рациональных параметров элементов виброударной машины необходимо иметь критерии качества, которым должна удовлетворять рассматриваемая система. В качестве таких критериев в работе /4/ приняты высокая производительность, долговечность и малая энергоемкость машины. Эти критерии обеспечиваются при следующих условиях.

Максимальные напряжения в инструменте  $(\sigma_n)_m$  должны быть меньше допускаемых напряжений

$$(\sigma_n)_m < [\sigma_n].$$

(1)

Коэффициент передачи энергии от машины в обрабатываемый объект  $\eta$  должен быть по возможности большим

$$\eta \rightarrow \eta_{\max}.$$

Глубина остаточной вмятины от инструмента на обрабатываемой поверхности  $\alpha_{\text{пл}}$  должны быть меньше допускаемой

$$\alpha_{\text{пл}} < [\alpha_{\text{пл}}]. \quad (3)$$

Максимальные напряжения на обрабатываемой поверхности  $(\sigma_n)_m$  должны быть меньше допускаемых

$$(\sigma_n)_m < [\sigma_n]. \quad (4)$$

Напряжения в слое отложений  $\sigma_c$  должны быть достаточными для его разрушения

$$\sigma_c > \sigma_{\text{рс}}. \quad (5)$$

В работе /5/ с использованием этой модели установлено влияние на перечисленные выше критерии качества толщины слоя отложений на поверхности пластины  $\delta_2$  при толщине пластины  $\delta_1=10$  мм.

В задачу настоящей работы входило расширение этих исследований в диапазоне изменения толщины пластины  $\delta_1$  от 6 до 16 мм и отношения толщины слоя отложений к толщине пластины  $k_\delta$  в диапазоне от 0 до 8. Исходные данные были следующими.

Масса бойка  $m=1$  кг, радиус сферы ударной части бойка  $R_1=55$  мм, Скорость соударения бойка со стержнем  $V_0=3,5$  м/с. Длина стержня  $L=0,5$  м, диаметр  $d=28,1$  мм, площадь поперечного сечения стержня  $F=6,202 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>, радиус сферы торца, опирающегося на пластину  $R_2=45$  мм, скорость распространения продольной волны деформации в стержне  $a_c=5100$  м/с.

Плотность материала, модуль упругости и коэффициент Пуассона бойка, инструмента и пластины одинаковые и равны соответственно:  $\rho=7850$  кг/м<sup>3</sup>,  $E=20,4 \cdot 10^{10}$  Па,  $\mu=0,3$ . Для шлака  $E_2=0,27 \cdot 10^{10}$  Па,  $\mu_2=0,15$  и  $\rho_2=2050$  кг/м<sup>3</sup>. Допускаемые напряжения в пластине и инструменте  $[\sigma_n]=160$  МПа и  $[\sigma_u]=240$  МПа. Полученные результаты представлены на рис. 2.

На рис. 2, а видно, что существует определенное значение  $k_\delta$ , при котором коэффициент передачи энергии удара в пластину  $\eta$  наибольший. Это значение тем меньше, чем больше толщина пластины. Но максимальное значение этого коэффициента для любой толщины обрабатываемой пластины  $\delta_1$  с изменением  $k_\delta$  остается неизменным и равным  $\eta_{\max} \approx 0,66$ . При толщине пластины  $\delta_1$  меньшей 10 мм с уменьшением  $k_\delta$  коэффициент передачи энергии  $\eta$  вначале возрастает, а затем уменьшается. При больших значениях толщины пластины  $\delta_1$  с уменьшением  $k_\delta$  коэффициент эффективности передачи энергии  $\eta$  возрастает на всем интервале изменения  $k_\delta$ .

На рис. 2, б показаны графики зависимости напряжений, возникающих на внешней поверхности слоя шлака  $\sigma_c$ , от коэффициента  $k_\delta$  при различных толщинах пластины. Эти кривые также имеют экстремальный характер. В отличие от  $\eta$  напряжения  $\sigma_c$  достигают максимального значения при  $k_\delta=2$  при любых толщинах пластины.

Предел прочности на растяжение для шлака в трубах золошлакопроводов составляет 0.7 МПа. На рис. 2, б видно, что при толщине пластины 16 мм условие (5) на внешней поверхности слоя шлака выполняется при изменении  $k_\delta$  от 6 до 0.

С уменьшением толщины пластины этот диапазон расширяется в сторону увеличения отношения  $k_\delta$ .

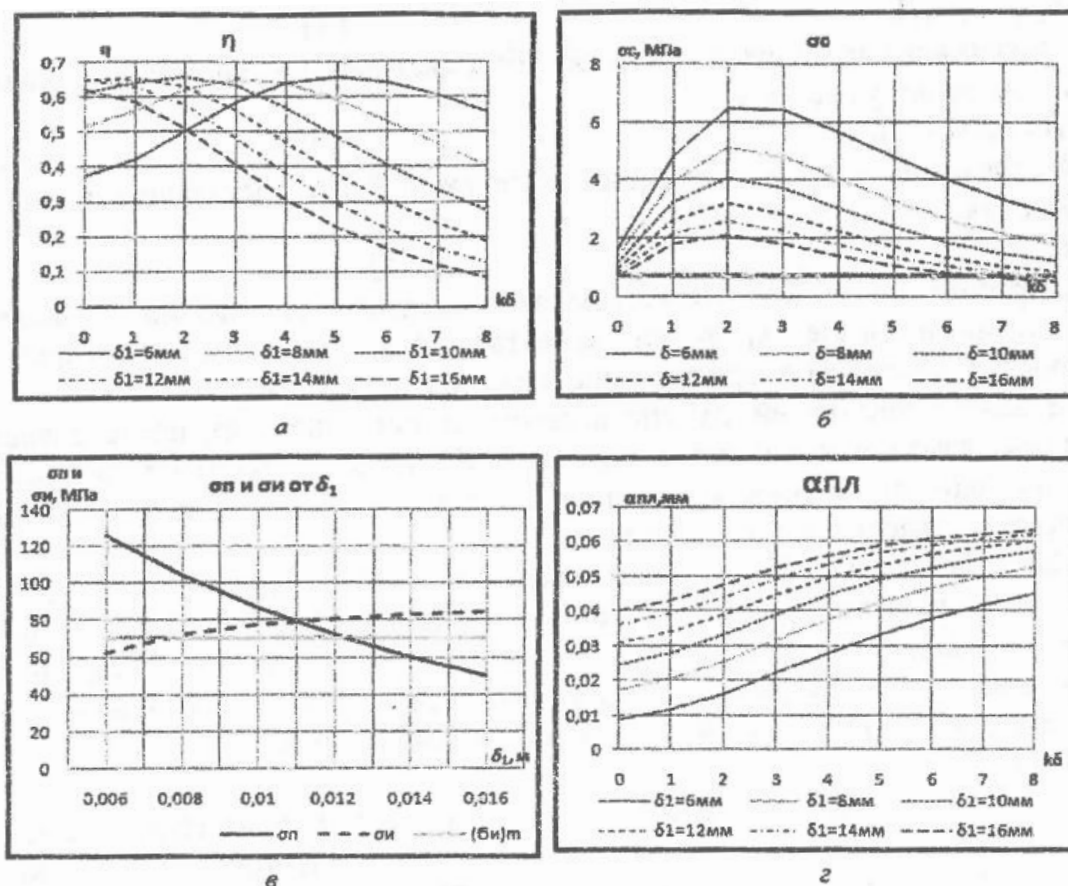


Рис. 2.

Рассмотрим напряжения, возникающие в инструменте и пластине (рис. 2, в). Отметим, что максимальные напряжения в инструменте соответствуют началу процесса обработки пластины, когда коэффициент  $k_\delta$  максимальный (в данном случае равный 8). Максимальные напряжения в пластине соответствуют окончанию ее обработки, когда пластина свободна от шлака.

Расчеты показывают, что для пластин толщиной менее 8 мм максимальные напряжения сжатия в инструменте определяются напряжениями в начальной волне деформации  $(\sigma_n)_m$ , генерируемой при ударе бойком по инструменту. Их величина составляет 71 МПа. С увеличением  $\delta_1$  свыше 8 мм максимальные напряжения в инструменте начинают возрастать из-за наложения прямой и отраженной волн деформаций. При цилиндрической жесткости пластины, стремящейся к бесконечности, максимальные напряжения в инструменте стремятся к величине, равной 90 МПа.

На рис. 2, в видно, что при скорости удара  $V_0 = 3,5$  м/с для пластин толщиной от 6 до 16 мм значения  $\sigma_n$  меньше допускаемых, т.е. выполняется условие (4). Это говорит о возможности увеличения скорости и энергии удара без ущерба для прочности инструмента и пластины. При этом можно также ожидать увеличения напряжений в слое шлака и повышения эффективности его отделения. Чем больше толщина пластины  $\delta_1$ , тем больше может быть увеличена скорость удара, допускаемая прочностью пластины. Например, для  $\delta_1 = 6$  мм допускаемая скорость удара составляет  $[V] = 4,48$  м/с, а для  $\delta_1 = 16$  мм  $[V] = 10$  м/с.

Но с точки зрения прочности инструмента предельная скорость удара  $[V]$  равна 9,3 м/с.

При скорости удара 9,3 м/с глубина остаточной лунки от инструмента на поверхности пластины не будет превышать 0,18 мм, что вполне допустимо.

Глубина остаточной лунки от инструмента на обрабатываемой поверхности пластины  $\alpha_{пл}$  с увеличением толщины слоя отложений  $k_\delta$  возрастает (рис. 2, г). Но с увеличением толщины слоя шлака на поверхности пластины интенсивность этого возрастания уменьшается. Например, для пластины толщиной 6 мм при повышении  $k_\delta$  от 0 до 8 глубина остаточной вмятины  $\alpha_{пл}$  возрастает в 4 раза, а для пластины толщиной 16 мм – в 1,5 раза.

Расчеты показали, что для любых значений  $\delta_1$  при  $k_\delta \rightarrow \infty$   $\alpha_{пл} = 0,068$  мм. Эта величина составляет менее 1 % от толщины пластины. Это тоже свидетельствует о возможности увеличения скорости удара в рассматриваемой системе.

Полученные результаты являются началом исследования влияния различных факторов на параметры процесса виброударной очистки. В дальнейшем планируется исследование влияния на эти параметры скорости удара, диаметра инструмента и массы бойка.

### Список литературы

1. Абдраимов Э.С., Фокин Ю.А., Каримов А.А., Эркебаев М.Б. Создание специализированной установки очистки бункеров приема угля ТЭЦ //Новые технологии и технологическое оборудование. – Бишкек: Технология, 2001. – С.50–54.
2. Фокин Ю.А., Абдраимов Э.С. Результаты эксплуатации опытного образца машины для очистки труб золошлакопроводов ТЭЦ //История, культура и экономика Кыргызстана. – Ош, 2000. – С. 293–299.
3. Еремянц В.Э. Упругопластическая модель ударной системы «боек-волновод-пластина» //Вестник КРСУ. – 2010. – № 10. – Бишкек. – С. 134–139.
4. Еремянц В.Э., Панова Л.Т., Асанова А.А. Обеспечение критериев качества ударных систем машин для виброударной очистки поверхностей //Вестник КРСУ. – 2011. – № 11. – Бишкек. – С. 101–107.
5. Еремянц В.Э., Панова Л.Т., Нью В.В. Влияние толщины слоя отложений на поверхности пластины на процесс ее виброударной очистки //Современная техника и технология в научных исследованиях. – Бишкек: Научная станция РАН, 2012. – С.186–191.