



УДК 621.924.9

О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДРОБЕМЕТНОЙ УСТАНОВКИ КОНТАКТНОГО ТИПА

© А.Е. Пашков¹, В.В. Герасимов², А.А. Пашков³

Иркутский государственный технический университет,
664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Представлены конструктивные решения рабочих органов установки дробеударного формообразования контактного типа, методика расчёта и результаты экспериментального исследования по определению производительности изготовленных дробеметных аппаратов.

Ил. 7. Библиогр. 6 назв.

Ключевые слова: дробеметная установка; дробеударное формообразование; элеватор; структура зоны обработки.

ON IMPROVING EFFICIENCY OF CONTACT TYPE SHOTBLAST UNIT

A.E. Pashkov, V.V. Gerasimov, A.A. Pashkov

Irkutsk State Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.

The article presents the design solutions of the actuating devices of the contact type shotblast unit, calculation methods and the results of the experimental study to determine the performance of produced shotblasting machines.

7 figures. 6 sources.

Key words: shotblast unit (machine); shaping by shotblasting; elevator; working zone structure.

Одним из научных направлений Иркутского государственного технического университета является разработка установок контактного типа, предназначенных для дробеударного формообразования и получивших обозначение УДФ [1].

Дробеметные установки имеют широкое распространение в промышленности и применяются для очистки поверхности металлических деталей от окалины, пригара, остатков формовочной смеси, ржавчины и т.д., а также для упрочнения и придания деталям требуемой шероховатости. С середины прошлого века данное оборудование применяется в технологическом процессе дробеударного формообразования.

Основным рабочим органом установки серии УДФ является дробеметный аппарат контактного типа. ИрГТУ разработан и запатентован ряд конструктивных решений таких дробеметных аппаратов.

Дробеметный аппарат 2Д400М (рис.1,а) [2] был разработан и внедрен в производство Иркутского авиационного завода в 2000 г. в качестве рабочего органа установки УДФ-3. В ходе эксплуатации данного дробеметного аппарата были сформулированы основные требования по оптимизации его конструкции, на основе которых в 2012 г. был создан аппарат 3Д400М (рис.1,б), являющийся рабочим органом усовершенствованной модели установки УДФ-4.

Основной задачей, решаемой при разработке дробеметного аппарата 3Д400М, являлось повышение производительности и стабильности обработки.

Конструктивное решение дробеметного аппарата 3Д400М представлено на рис.2.

В процессе работы дробеметного аппарата эластичное уплотнение 2 корпуса 1 устройства разгона дробы находится в контакте с обрабатываемой поверхностью. Дробь, выбрасываемая вращающимся дробеметным колесом 3, после отскока от детали по скату 16 попадает в нижнюю часть корпуса 7 средства транспортирования дробы, затем переносится ковшами 10 в накопительный бункер 8, емкость которого позволяет создать запас дробы, необходимый для стабильной работы дробеметного колеса. При недостаточном уровне дробы из бункера 17 механизм автоматической досыпки 18 пополняет запас дробы в накопительном бункере 8. Через отверстие в нижней части накопительного бункера 8 дробь поступает в корпус 12 шнека 11, откуда транспортируется в питающий патрубок 6, снаружи которого находится вращающийся вместе с дробеметным колесом импеллер 5, выбрасывающий дробь на лопатки через выходное отверстие регулирующей втулки 20, ориентированное таким образом, чтобы направить поток дробы в окно корпуса 1. Таким образом осуществляется замкнутый цикл циркуляции дробы.

Для кинематического анализа дробеметного аппарата была построена математическая модель, связывающая геометрические параметры потока дробы с конструктивными характеристиками устройства [3]. На основе

¹Пашков Андрей Евгеньевич, доктор технических наук, профессор кафедры оборудования и автоматизации машиностроения, тел.: e-mail: pashkov@istu.edu

Pashkov Andrei, Doctor of technical sciences, Professor of the Department of Machinery and Automation of Mechanical engineering, tel.: e-mail: pashkov@istu.edu

²Герасимов Виталий Валерьевич, научный сотрудник, тел.: 89501311731, e-mail: krimskiy_tsar@inbox.ru

Gerasimov Vitaly, Researcher, tel.: 8950131173, e-mail: krimskiy_tsar@inbox.ru

³Пашков Александр Андреевич, студент.

Pashkov Alexander, Student.



данной модели были определены основные размеры деталей механизмов подачи и разгона дробы – дробе­мет­ного колеса 3, импеллера 5 и регулирующей втулки 20 (см. рис. 2), что позволило направить поток дробы в вы­ходное окно и минимизировать потери от соударений частиц потока со стенками корпуса.

Вторым направлением повышения производительности дробе­мет­ного аппарата 3Д400М являлась оптимиза­ция конструкции средства транспортирования дробы – ковшового загрузочного колеса (элеватора).

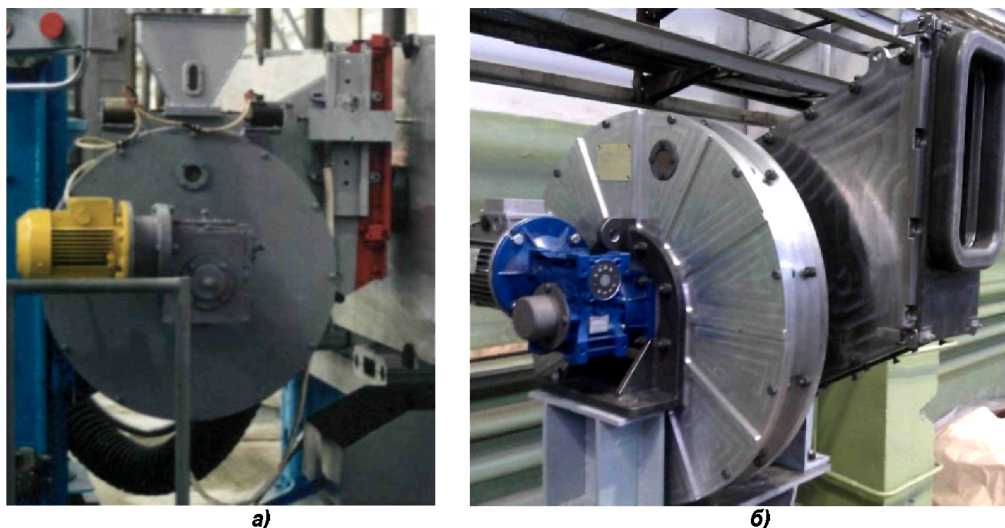


Рис.1. Дробе­мет­ные аппараты контактного типа: а – 2Д400М; б – 3Д400М

Условием обеспечения стабильной подачи дробы в устройство ее разгона является превышение производи­тельности процесса подъема дробы загрузочным колесом 9 из нижней части корпуса 7 устройства транспорти­рования над производительностью подачи дробы шнеком 11 в подающую втулку 20 устройства разгона дробы (см.рис.2). Однако, как показал опыт эксплуатации дробе­мет­ного аппарата 2Д400М, в его конструкции это усло­вие не выполнялось, а реальная производительность шнека была ниже расчетной.

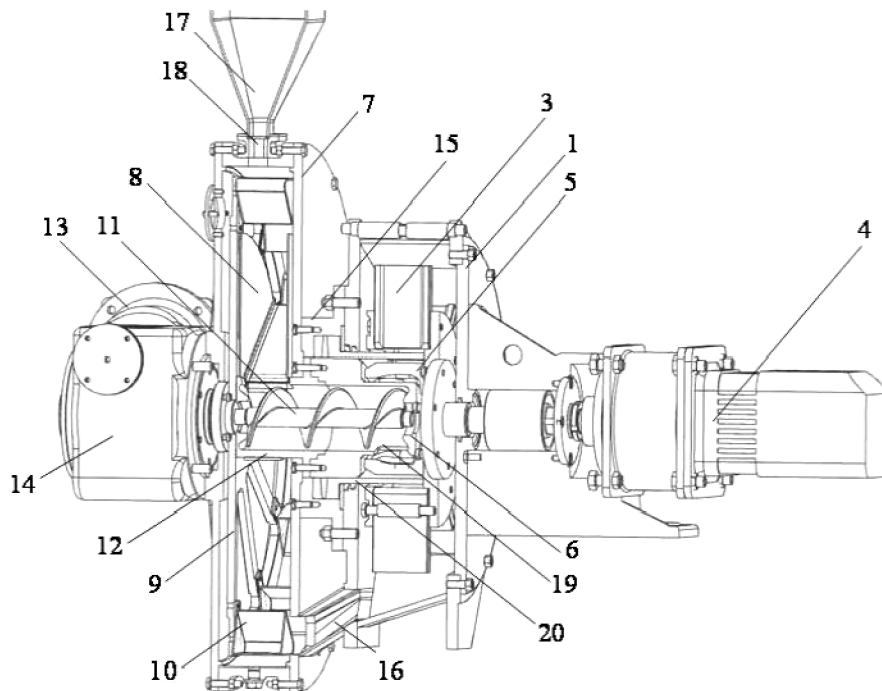


Рис.2. Схема дробе­мет­ного аппарата 3Д400М [3]

Схема работы ковшового загрузочного колеса представлена на рис.3. При проектировании элеватора дробе­мет­ного аппарата 2Д400М предполагалось, что разгрузка ковшей будет происходить под действием гравитации. Однако в ходе эксплуатации было выявлено, что разгрузка ковша элеватора данного дробе­мет­ного аппарата происходила вне пределов бункера 17.

Очевидно, что производительность показанного на рис.3 устройства транспортирования будет повышена, если начало разгрузки ковшей будет как можно ближе к левой границе бункера.

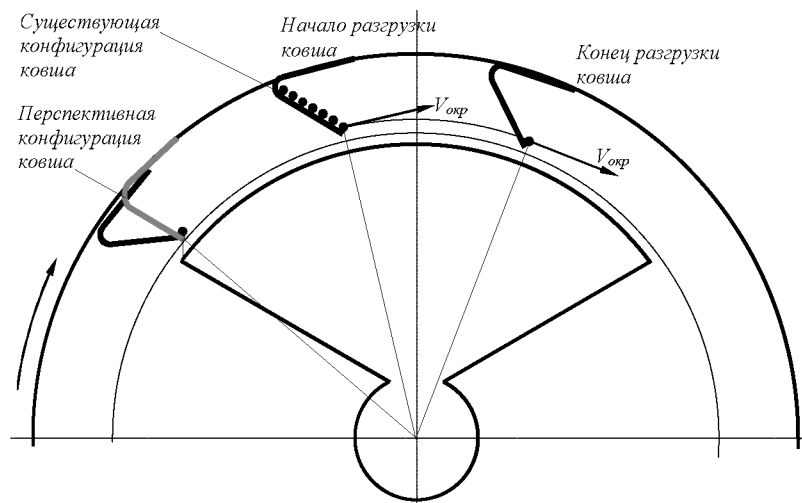


Рис.3. Схема работы ковшового загрузочного колеса

Для повышения производительности элеватора был проведен его кинематический и динамический расчет на основе методики, предложенной А.О. Сливаковским [5].

Основными силами, действующими на дробинку в ковше элеватора, являются сила тяжести P и центробежная сила $F_{ц}$. Как показано на рис.4, равнодействующая R сил P и $F_{ц}$ при вращении ковша изменяется по величине и направлению. Если продлить вектор силы R до пересечения с вертикальной осью, то при любом положении ковша будет пересекать вертикаль в одной и той же точке B , называемой полюсом. Расстояние $h_{\Pi} = 895 / n^2$ от точки B до центра O называется полюсным расстоянием. Полюсное расстояние определяет характер разгрузки ковша: при $h_{\Pi} \leq r_{ен}$ – центробежный характер (рис.4,а), при $h_{\Pi} > r_{н}$ – самотечный (гравитационный, рис.4,б), при $r_{ен} \leq h_{\Pi} < r_{н}$ – смешанный (рис. 4,в).

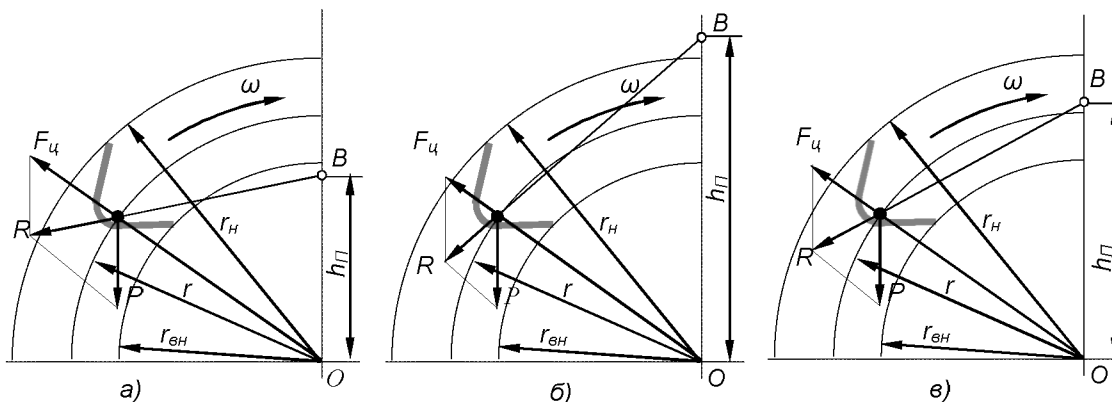


Рис.4. Схема сил, действующих на дробинку в ковше загрузочного колеса

Как видно из рис. 3, при гравитационном способе разгрузки сход дробы с ковша происходит вблизи правой стенки бункера, далее дробь, имеющая окружную скорость $V_{окр}$, продолжает своё движение по параболе, что приводит к ее вылету за пределы бункера и снижению производительности.

Определим угол α между стенками ковша, обеспечивающий его разгрузку у левой стенки бункера. На рис.5 представлена схема сил, действующих на дробинку в момент схода с ковша.

Приведем формулы для определения сил, действующих на дробинку, находящуюся на задней стенке ковша:

- сила тяжести

$$P = mg, \tag{1}$$

где m – масса дробинки; g – ускорение свободного падения;

- центробежная сила инерции

$$F_{ц} = m\omega^2 R_c, \tag{2}$$

где ω – угловая скорость элеватора, $\omega = \pi n / 30$; n – частота вращения;

- кориолисова сила инерции P_c , направленная противоположно кориолисову ускорению, направление кото-



рого определяется по правилу Жуковского путём поворота на 90 градусов вектора относительной скорости дробинки в сторону вращения дробемётного колеса [6],

$$P_c = 2mv\omega, \quad (3)$$

где v – скорость дробинки, $v = \frac{dx}{dt}$;

- сила трения скольжения

$$F_{mp} = fN,$$

где f – коэффициент трения скольжения; N – сила нормальной реакции опоры, представляющая согласно рис. 5 сумму проекций на нормаль к поверхности стенки ковша векторов силы тяжести P_H , центробежной силы $F_{цн}$ и кориолисовой силы P_c .

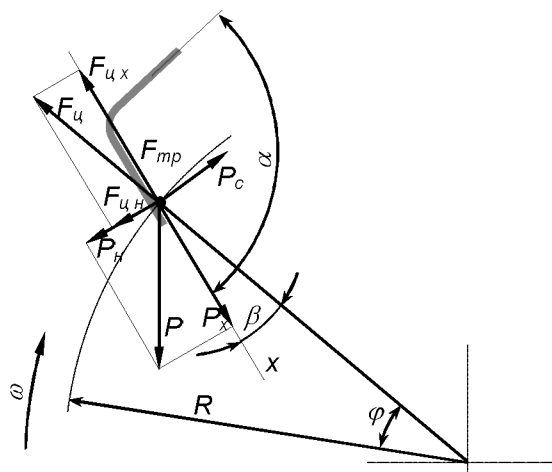


Рис.5. Схема сил, действующих на дробинку в момент схода с ковша

С учетом формул (1)–(3) и рис.5 получаем

$$N = \bar{P}_H + \bar{F}_{цн} + \bar{P}_c = mg \sin(\varphi - \beta) + m\omega^2 R_c \sin \beta - 2mv\omega.$$

Основное уравнение динамики относительного движения дробинки вдоль оси x (рис.5) будет иметь вид

$$ma_x = P_{цх} - F_{mp} + P_x, \quad (4)$$

где $a_x = \frac{d^2x}{dt^2}$.

Подставляя в уравнение (4) полученные выражения и сокращая массу m , получаем линейное дифференциальное уравнение второго порядка:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2f\omega \frac{dx}{dt} - \omega^2 x = f\omega^2 r_i + g f \cos(\omega t + \beta) - g \sin(\omega t + \beta). \quad (5)$$

Решением уравнения (5) являются выражения пути X и скорости V движения дробинки по стенке ковша в зависимости от времени t :

$$\begin{aligned} x = & \frac{1}{2} \left(x_0 + \frac{v_0 + f\omega}{\omega\sqrt{f^2 + 1}} + \frac{g(f \cos \beta + \sin \beta)}{2\omega^2(1 + f\omega)} + fr_i \right) e^{\frac{\omega(-f + \sqrt{f^2 + 1})t}{2}} + \\ & + \frac{1}{2} \left(x_0 + \frac{v_0 + f\omega}{\omega\sqrt{f^2 + 1}} - \frac{g(f \cos \beta + \sin \beta)}{2\omega^2(1 + f\omega)} - fr_i \right) e^{\frac{\omega(-f - \sqrt{f^2 + 1})t}{2}} + \\ & + fr_i + \frac{g(f \cos \beta + \sin \beta)}{-\omega^2 - (\omega^2 + 2f\omega^3)}; \end{aligned}$$



$$v = \left(x_0 + \frac{v_0 + f\omega}{\omega\sqrt{f^2 + 1}} + \frac{g(f \cos \beta + \sin \beta)}{2\omega^2(1 + f\omega)} + fr_i \right) \frac{\omega(-f + \sqrt{f^2 + 1})}{4} e^{\frac{\omega(-f + \sqrt{f^2 + 1})}{2} t} +$$

$$+ \left(x_0 + \frac{v_0 + f\omega}{\omega\sqrt{f^2 + 1}} - \frac{g(f \cos \beta + \sin \beta)}{2\omega^2(1 + f\omega)} - fr_i \right) \frac{\omega(-f - \sqrt{f^2 + 1})}{4} e^{\frac{\omega(-f - \sqrt{f^2 + 1})}{2} t}$$

Расчет в программе Excel с применением полученных зависимостей дал возможность определить время движения дробинки по стенке ковша. Проводя расчет при различных значениях угла α между стенками ковша, определили значение угла, при котором разгрузка ковша начинается при повороте элеватора на угол $\varphi = 45^\circ$, соответствующий левой границе бункера. На основании расчета было установлено, что оптимальное значение угла составляет $\alpha = 80^\circ$.

Изготовление ковшей элеватора с расчетным углом α , а также нового шнека ($D = 80$ мм, $d = 25$ мм, $s = 24$ мм), установленного в отдельном корпусе на две опоры качения, позволило обеспечить увеличение производительности загрузочного колеса и стабильности заполнения бункера 8 (см.рис.2).

Для определения производительности обработки на дробеметных аппаратах 2Д400М и 3Д400М в зависимости от углового положения выходного отверстия регулирующей втулки 20 с учетом структуры зоны обработки было проведено экспериментальное исследование на образцах. Целью исследования являлось установление количественного и фракционного состава отпечатков шариков на обрабатываемой поверхности.

Исследование выполнялось на образцах-пластинах из алюминиевого сплава В95Т2, которые обрабатывались со следующими режимами:

- количество рабочих ходов 1;
- диаметр дроби, мм 3;
- частота вращения дробеметного колеса, мин-1 1000;
- скорость подачи, мм/мин 1000.

Обработанная поверхность образцов сканировалась на сканере hpScanjet 5400с на разных уровнях по высоте зоны обработки. Полученные изображения обрабатывались в программе AutoCAD путем обводки контуров отпечатков окружностями на участке размером 10×10 мм (рис.6).

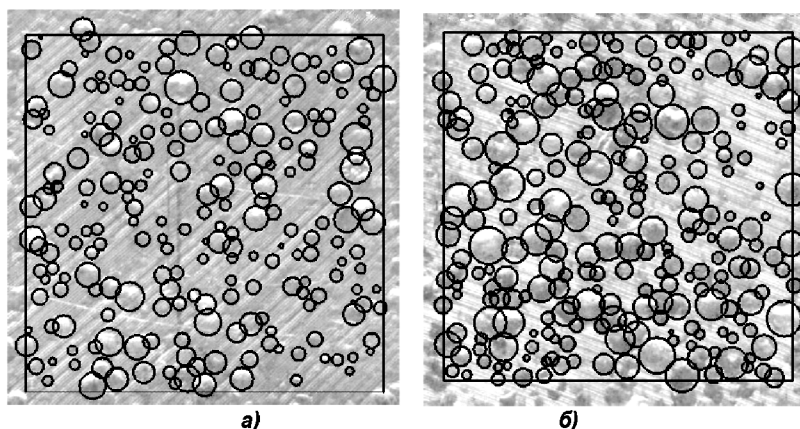


Рис.6. Изображения поверхности, обработанной шариками диаметром 3 мм на дробеметном аппарате 3Д400М при углах между осью выходного отверстия регулирующей втулки и вертикалью: а – 90°; б – 45°

Обработка полученных данных выполнялась следующим образом. Полученные графические изображения описывали текстовым файлом, создаваемым AutoCAD по запросу «Свойства объекта», и обрабатывали в Excel с использованием макроса, выполняющего следующие действия:

- преобразовать текстовый файл в формат *.xls;
- установить автофильтр на все столбцы;
- сортировать массив по столбцу «радиус» в возрастающем порядке;
- удалить пустые ячейки и столбцы с поясняющей информацией;
- задать числовой формат ячеек столбца «радиус»;
- рассчитать диаметры отпечатков по значениям радиусов;
- определить общее количество отпечатков;
- определить количество отпечатков для каждого диапазона значений (фракций) диаметров 0,0–0,1; 0,1–0,2; 0,2–0,3... 1,0–1,1; 1,1–1,2;
- выполнить проверку равенства общего количества отпечатков и суммы отпечатков для всех фракций;
- найденные значения представить в табличном виде;



- рассчитать средний диаметр отпечатка.

На диаграмме рис.7 приведены усредненные результаты расчета в виде отношений параметров зон обработки дробеметных аппаратов 2Д400М и 3Д400М:

- средних диаметров отпечатков;
- количества отпечатков на исследуемых участках;
- коэффициента K повышения интенсивности обработки

$$K = (d_2 / d_1) \cdot (N_2 / N_1),$$

где d_1 , d_2 – средние диаметры отпечатков; N_1 , N_2 – количество отпечатков в зоне обработки дробеметных аппаратов 2Д400М и 3Д400М соответственно.

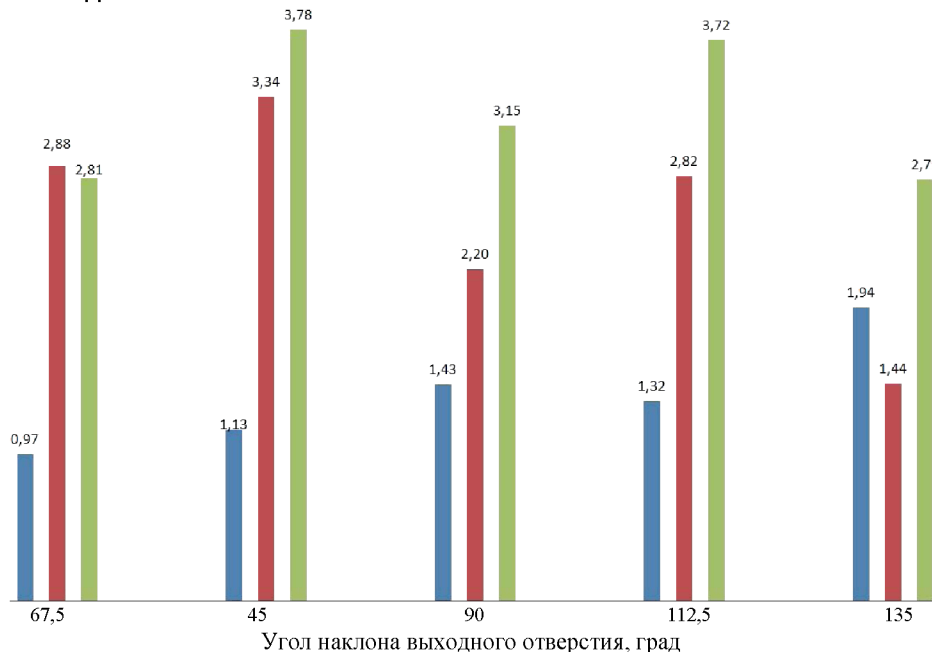


Рис.7. Сравнение усредненных параметров структуры зоны обработки дробеметных аппаратов 2Д400М и 3Д400М: ряд 1 – d_2 / d_1 ; ряд 2 – N_2 / N_1 ; ряд 3 – $K = (d_2 / d_1) \cdot (N_2 / N_1)$

Как видно из рис.7, наибольшее увеличение интенсивности обработки имеет место при угле наклона выходного отверстия в 45° , что соответствует расчетному диапазону. Таким образом, производительность разработанного дробеметного аппарата более чем в три раза выше, чем предыдущей модели.

Представленная в рамках данной статьи работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (Минобрнауки России) в рамках комплексных проектов «Разработка и внедрение комплекса высокоэффективных технологий проектирования, конструкторско-технологической подготовки и изготовления самолета МС-21», шифр 2010-218-02-312, и «Автоматизация и повышение эффективности процессов изготовления и подготовки производства изделий авиатехники нового поколения на базе Научно-производственной корпорации «Иркут» с научным сопровождением Иркутского государственного технического университета», шифр 2012-218-03-120, реализуемых согласно Постановлению Правительства от 9 апреля 2010 г. № 218.

Библиографический список

1. О создании отраслевой технологии дробеударного формообразования панелей / А.А. Вепрев, А.Е. Пашков, В.В. Плихунов [и др.] // Авиационная промышленность. 2009. № 2. С.24–29.
2. Пат. на изобр. №2102221 Российская Федерация, С1 МКИ В 24 С, 3/00, 5/00. Дробеметное устройство / А.Е. Пашков; заявитель Иркут. гос. техн. ун-т; патентообладатели Иркут. гос. техн. ун-т, Пашков А.Е. / Заявл. 26.03.96; опубл. 20.01.98. Бюл. №2. 4 с.
3. Пат. на полезн. мод. № 125505 Российская Федерация, С1 МКИ 6 В 24 С 3/00, В 24 С 5/00. Дробеметное устройство / А.Е. Пашков, В.В. Герасимов, П.Г. Гришаев, А.А. Пашков; заявитель Иркут. гос. техн. ун-т; патентообладатели Иркут. гос. техн. ун-т, ОАО «Научно-производственная корпорация «Иркут» / Заявл. 24.08.2012. Зарег. в Гос. реестре изобр. РФ 10.03.13.
4. Пашков А.Е. Герасимов В.В. Математическое моделирование процесса формирования факела дроби в дробеметном аппарате контактного типа // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2011. №12 (59). С.48–52.
5. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины: учеб. пособие для машиностроительных вузов. 3-е изд., перераб. М.: Машиностроение, 1983. 487 с.
6. Яблонский А.А. Курс теоретической механики: учебник для техн. вузов. Ч.II: Динамика. 6-е изд., испр. М.: Высш. шк., 1984. 423 с.