

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Кузбасский государственный технический университет  
имени Т. Ф. Горбачева»

В. И. Удовицкий, С. О. Шутов, И. А. Королев, В. А. Кандинский

**ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ПРОЦЕССОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ОБОГАЩЕНИЯ  
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Рекомендовано учебно-методической комиссией  
специализации 130406.65 «Обогащение полезных ископаемых»  
в качестве электронного учебного пособия

Кемерово 2012

## Рецензенты:

Клейн М. С. - заместитель председателя учебно-методической специализации 130406.65 «Обогащение полезных ископаемых» доктор технических наук

Ульрих Е. В. - профессор кафедры обогащения полезных ископаемых, доктор технических наук

Удовицкий В. И. – председатель учебно-методической комиссии специализации 130406.65 «Обогащение полезных ископаемых»

**В. И. Удовицкий, С. О. Шутов, И. А. Королев, В. А. Кандинский.** Экономико-математическое моделирование процессов и технологий обогащения полезных ископаемых: учебное пособие [Электронный ресурс]: для студентов специализации 130406.65 «Обогащение полезных ископаемых» специальности 130400.65 «Горное дело» / В. И. Удовицкий, С. О. Шутов, И. А. Королев, В. А. Кандинский – Электрон. дан. – Кемерово: КузГТУ, 2012. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM); зв.; цв.; 12 см. – Системн. требования: Pentium IV; ОЗУ 8 Мб; Windows 2000; (CD-ROM) – дисковод); мышь. – Загл. с экрана.

В работе рассмотрены численные методы определения интеграла Гаусса в системе программирования *Turbo Pascal*. Проведена сравнительная оценка точности вычисления в *Turbo Pascal* и *Excel* по величине среднеквадратического отклонения для функции  $F(x)$  в диапазоне от 0 до 3,83 с шагом 0,01. Рассчитаны значения извлечения фракций в концентрат и отходы гравитационных аппаратов при вероятностном определении технологических показателей обогащения.

Пособие предназначено для студентов специализации 130406.65 «Обогащение полезных ископаемых».

© КузГТУ  
© В. И. Удовицкий,  
© С. О. Шутов  
© И. А. Королев  
© В. А. Кандинский

## 1. МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА УГОЛЬНОЙ ШИХТЫ

Исходной информацией для расчета технологических показателей обогащения угля являются ситовый и фракционный составы шахтопластов, участвующих в шихте в разных соотношениях.

Расчет количественного состава шихты, состоящей из нескольких шахтопластов, сводится к определению ситового и фракционного составов углей по нескольким машинным классам с учетом дробления крупного класса и истирания угля в процессе транспортирования до гравитационных аппаратов.

*Вычисление выхода, зольности классов и фракций.*

Выход класса к шихте

$$\gamma_i = \sum_{j=1}^m \eta_j \cdot \gamma_{ji},$$

где  $m$  – число шахтопластов,  
 $\eta_j$  – долевое участие в шихте.

Зольность класса

$$A_i^d = \frac{1}{\gamma_i} / \sum_{j=1}^m \eta_j \cdot \gamma_{ji} \cdot A_{ji}^d,$$

Выход  $k$  - й фракции плотности к шихте  $i$ -го класса крупности

$$\gamma_{ik} = \frac{1}{\gamma_i} / \sum_{j=1}^m \eta_j \cdot \gamma_{ji} \cdot \gamma_{jik},$$

Зольность фракции

$$A_{ik}^d = \frac{1}{\gamma_i \cdot \gamma_{ik}} / \sum_{j=1}^m \eta_j \cdot \gamma_{ji} \cdot \gamma_{jik} \cdot A_{jik}^d,$$

Суммарный выход  $k$ -й фракции плотности к шихте  $i$ -класса

$$\gamma_{ik}^{\Sigma} = \frac{1}{\gamma_i} \sum_{i=1}^k \gamma_{ik},$$

Зольность суммарной фракции

$$A_{ik}^{d\Sigma} = \frac{1}{\gamma_{ik}^{\Sigma}} \sum_{i=1}^k \gamma_{ik} \cdot A_{ik}^d,$$

Выход  $i$  - класса после дробления крупного класса

$$\gamma_{iD} = \gamma_i + x_i,$$

где  $x_i$  – увеличение выхода  $i$  - класса после дробления крупного класса.

$$x_i = \frac{(\gamma_i + \gamma_{+100})}{\gamma_{-100}},$$

Зольность  $i$  - класса после дробления крупного класса

$$A_{iD}^d = \frac{(\gamma_i \cdot A_i^d + x_i \cdot A_{+100}^d)}{\gamma_{iD}},$$

Выход  $i$ -класса с учетом шламообразования

$$\gamma_{iu} = \gamma_{iD} \cdot k_{iu},$$

где  $k_{iu}$  – коэффициент шламообразования.

$$k_{iu} = \frac{(100 - (\gamma_{-0,5} + \Delta\gamma_{-0,5}))}{(100 - \gamma_{-0,5})},$$

где  $\Delta\gamma_{-0,5}$  – приращение выхода класса 0-0,5 мм за счет истирания классов крупнее 0,5 мм.

Выход подрешетного продукта в соответствии с КПД подготовительного грохочения

$$\gamma_{подр.} = \gamma_{-d} \cdot \eta_{подг.},$$

где  $\gamma_{-d}$  – содержание подрешетного продукта в питании грохота.

## 2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗДЕЛЕНИЯ УГОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ В ГРАВИТАЦИОННЫХ ПОЛЯХ

### 2.1. Численные методы определения интеграла Гаусса

При расчете технологических показателей гравитационного обогащения углей применяется интеграл Гаусса  $F(x)$ , по которому определяется извлечение фракций  $E$  в продукты переработки  $E_i = 100 F(x_i)$ .

Интеграл представляет площадь, заключенную между  $-x$ ,  $+x$  и общеизвестной кривой нормальной плотности распределения вероятностей (см. рисунок).

Полная площадь, лежащая под этой кривой, от  $-\infty$  до  $\infty$  равна 1. Необходимо выбрать численный метод, который позволяет вычислять интеграл с точностью  $\pm 0.00003$ . Большое значение имеет и скорость вычисления, т. к. например, определяя оптимальные плотности разделения, при которых достигается максимальный выход суммарного концентрата, приходится прибегать к вычислениям интеграла до 1500 раз.

Пределы интегрирования можно уменьшить в связи с тем, что вероятностные методы прогнозирования ожидаемых результатов гравитационного разделения углей допускают при  $x \leq -3,60$ ,  $F(x) = 0$ ; при  $x \geq +3,60$ ;  $F(x) = 1$ , следовательно

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-3,6}^{3,6} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx = 1; \quad (1)$$

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx;$$

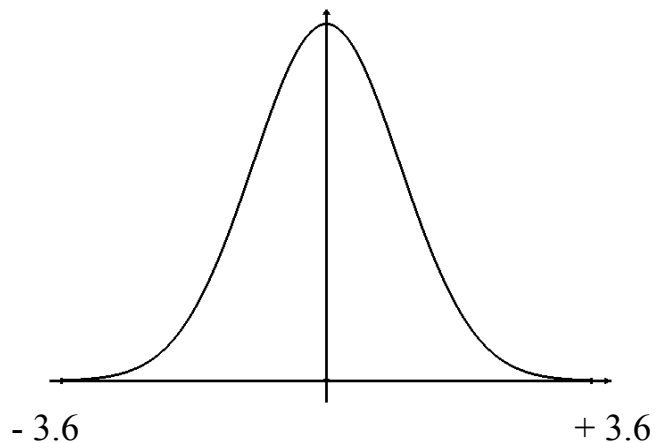


Рис. 1. Кривая нормального распределения вероятностей

Площади, лежащие по обе стороны от оси ординат и ограниченные подынтегральной кривой и осью абсцисс, равны и составляют 0.5, поэтому для положительных  $x$  следует воспользоваться формулой

$$F(x) = 0,5 + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx; \quad (2)$$

для отрицательных

$$F(x) = 0,5 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\text{abs}(x)} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx; \quad (3)$$

На практике чаще всего применяются следующие методы численного интегрирования: прямоугольников, трапеций, Симпсона, Гаусса (для 2-х и более точек), Монте-Карло (при вычислении кратных интегралов) и из степенного ряда.

### 2.1.1. Вычисление из степенного ряда

Для увеличения скорости вычисления значений интеграла на ЭВМ, не снижая при этом задаваемой точности расчета, Д.Мак-Кракен и У.Дорн усовершенствовали метод вычисления  $F(x)$  из степенного ряда:

$$F(x) = x \cdot \left(\frac{2}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(1 - \frac{x^2}{2 \cdot 1! \cdot 3} + \frac{x^4}{2^2 \cdot 2! \cdot 5} - \frac{x^6}{2^3 \cdot 3! \cdot 7} + \dots\right).$$

Переписав ряд в виде

$$F(x) = 0,79788455 \cdot x \cdot (0,9999774 - 0,16659433 \cdot x^2 + 0,024638310 \cdot x^4 - 0,023974867 \cdot x^6).$$

авторами получена очень простая формула для программирования в интервале  $0, 0 \leq x \leq 1,2$ . После этого разработана программа, которая перебирает последовательность значений  $x$ , вычисляет интеграл и печатает значение  $x$ .

Использование того же самого ряда для больших  $x$  не очень целесообразно. Для  $x$ , расположенных между 3 и 4, ряд сходится медленно, так что требуется вычислять много членов ряда и становится трудно обеспечить необходимую точность вычислений. При  $x = 4$  один из членов ряда становится равен почти 25, и возникает вопрос, можно ли обеспечить при этом вычислении точность в четыре знака после запятой.

При вычислении значений интеграла для больших  $x$  возможно использование *асимптотического ряда*.

Этот вариант вычисления интеграла для  $2,90 \leq x \leq 4,00$ . Результаты оказались правильными. В шести случаях результат вычисления, округленный до четырех знаков, не совпал с табличным, но расхождение каждый раз составляло одну единицу младшего разряда, а при расчете с шестью знаками после запятой отличие не превосходило  $0,00005$ , как и требовалось.

На данном этапе возникла необходимость нахождения компромисса между скоростью работы программы и сложностью программирования. Для установления такого соотношения не существует строгих правил; приходится ограничиваться приблизительными оценками и даже догадками. Представляется вероятным, что реализованный метод непосредственного вычисления интеграла по ряду Тейлора при учете необходимого количества членов ряда не приведет к чрезмерным затратам машинного времени для  $1,2 < x < 2,9$ .

Остается проблема округления. Здесь имеются две основные причины потери точности. Во-первых, вычитание двух больших почти равных чисел, разность между которыми по порядку величины сравнима с каким-нибудь меньшим членом ряда. Во-вторых, прибавление малого числа к большему, при котором теряются младшие значащие цифры меньшего. За сложением всегда следует вычитание (при вычислении знакопеременного ряда), а в полученной разности потерянные значащие цифры меньшего числа иногда могли бы изменить результат.

С учетом принятых при расчете интеграла допущений и условий, представленных в начале данного параграфа, приводится текст программы вычисления значений интеграла Гаусса из степенного ряда:

```

Program IntGauss;
USES CRT;
VAR i : Integer; x, y : Real; Tst : Array [0..365] of Real; fl : File of
Real;
PROCEDURE Gauss;
  var gx, g4, g5, g6, g7, g15, xabs : real;
  begin gx:=x*x; xabs:=abs(x); if abs(x)>1.2 then begin if
abs(x)>2.9 then begin if abs(x)>3.6 then y:=0.5 else begin
g15:=1/gx;
y:=0.5-0.398942*1/exp(gx/2)/xabs*(1-g15*(1-g15*(3-g15*(15-
g15*105)))));
end end else begin y:=1; g4:=1; g5:=0; g6:=1; repeat g5:=g5+1;
g6:=g6+2;
g4:=-g4*gx/(2*g5); g7:=g4/g6; y:=y+g7; until abs(g7)<0.00003;
y:=0.398942*xabs*y end end else y:=0.398942*xabs*(0.99999774-
gx*(0.16659433-gx*(0.024638310-gx*0.0023974867)));
if x<0 then y:=0.5-y else y:=0.5+y; end;
BEGIN for i:=0 to 360 do begin x:=i*0.01; GAUSS; WriteLn(
x:5:2, y:8:4 );
Tst[i]:=y; end; END.

```

### 2.1.2. Метод прямоугольников

Метод расчета определенных интегралов, называемый методом прямоугольников, в отличие от метода разложения в степенной ряд, является универсальным, т. е. может применяться для вычисления любого определенного интеграла.

Методы прямоугольников относятся к классу методов Ньютона-Котеса, когда подынтегральная функция  $f(x)$  на интервале интегрирования заменяется полиномом нулевой степени, т. е. константой. Подобная замена является неоднозначной, так как константу можно выбрать равной значению подынтегральной функции в любой точке в интервале интегрирования. Приближенное значение интеграла определяется как площадь прямоугольника, одна из сторон которого есть длина отрезка интегрирования, а другая – аппроксимирующая константа. Отсюда происходит и название методов. Из методов прямоугольников наи-



меньшую погрешность имеет метод средних прямоугольников, когда константа равна значению  $f(x)$  в средней точке интервала интегрирования.

Данный метод реализован в программе, которая вычисляет значения интеграла вероятности Гаусса на интервале  $x [0,0, 3,6]$  с точностью до  $\pm 0,00003$ , при этом количество разбиений интервала интегрирования изменяется автоматически.

Текст программы:

```
PROCEDURE Rect( a, b : Real; n : Integer ); var i : Integer; h, s1,
x : Real;
begin h:=(b-a)/n; x:=a+h/2; s:=0.0; for i:=1 to n do begin
s:=s+f(x);
x:=x+h end; s:=s*h end;
BEGIN c:=1/(sqrt(2*pi)); z:=0.5; for p:=0 to 360 do begin
n:=10;
repeat z1:=z; Rect( 0.0, p*0.01, n );z:=c*s+0.5; n:=n+10;
until abs(z-z1)<0.00003; WriteLn( p*0.01:4:2, z:8:4, n-10:8 ) end;
ReadLn END.
```

### 2.1.3. Метод трапеций

В данном методе подынтегральная функция на определенном участке заменяется на полином первой степени. Как и в методах прямоугольников, такая аппроксимация неоднозначна. Одним из возможных способов является проведение прямой через значения функции на границах интервала интегрирования. В этом случае приближенное значение интеграла определяется площадью трапеции.

Метод реализован в программе, подобной программе, реализующей метод средних прямоугольников, здесь задана точность  $\pm 0,00003$ , и количество разбиений интервала интегрирования меняется автоматически.

Текст программы:

```

Program Trp; VAR n, i, k: Integer; z, z1, a, b, b0, b9, h, c, s, s1:
Real; FUNCTION f(x: Real): Real; begin f:=exp(-(x*x/2)) end;
PROCEDURE Trap(a, b: Real; n :Integer; var s: Real); var i :
Integer; h: Real; begin h:=(b-a)/n; s:=(f(a)+f(b))/2; for i:=1 to n-
1 do s:=s+f(a+i*h);
s:=s*h end; BEGIN c:=1/sqrt(2*pi); b0:=0.0; b9:=3.6; h:=0.01;
z:=0.5;
k:=Round((b9-b0)/h+1.0); b:=b0; a:=0.0; s1:=0.0; for i:=0 to k
do
begin n:=10; repeat z1:=z; Trap(a, b, n, s); s1:=s1+s; a:=b;
z:=c*s1+0.5; n:=n+10; until abs(z-z1)<0.00003; WriteLn( b:4:2, '
', z:6:4, n-10:8 ); b:=b+h
end; ReadLn END.

```

#### 2.1.4. Метод Симпсона

Суть метода заключается в том, что отрезок интегрирования разбивается на четное число  $n$  равных частей с шагом  $h$ . На каждом отрезке подынтегральная функция  $f(x)$  заменяется интерполяционным многочленом второй степени

$$f(x) \approx \varphi(x) = a_i \cdot x^2 + b_i \cdot x + c_i, \quad x_{i-1} \leq x \leq x_{i+1}.$$

Коэффициенты этих квадратных трехчленов могут быть найдены из условий равенства многочлена в точках  $x_i$ , соответствующих табличным данным  $y_i$ . В качестве  $\varphi_i(x)$  можно принять интерполяционный многочлен Лагранжа второй степени. Тогда значение определенного интеграла записывается как

$$\int_a^b f(x) dx \approx \frac{h}{3} [ y_0 + 4 \cdot ( y_1 + y_3 + \dots + y_{n-1} ) + \\ + 2 \cdot ( y_2 + y_4 + \dots + y_{n-2} ) + y_{n-2} ].$$

Представленное соотношение называется *формулой Симпсона*.

Текст программы:

```

Program Sim; VAR n, i, k : Integer; z, e, c, h, s: Real;
FUNCTION f(x: Real): Real; begin f:=exp(-(sqr(x)/2)) end;
PROCEDURE Simp(a, b, e: Real; VAR s: Real); var i: Integer;
e1, h, h2, s1, s2, s3, x: Real; begin e1:=e*15.0; h:=(b-a)/2;
s:=2*f(a+h); s1:=f(a)+f(b)+s; s:=s1+s; repeat s2:=0.0; s3:=s;
h2:=h; h:=h/2; x:=a+h; while (x<b)=(h>0.0) do begin
s2:=s2+f(x); x:=x+h2 end; s2:=2*s2; s1:=s1+s2; s:=s1+s2
until abs(1.0-s/(2*s3))<=e1; s:=s*h/3.0 end;
BEGIN c:=1/(sqrt(2*pi)); e:=0.00003; h:=0.01; k:=Round(
3.6/h+1.0); ClrScr; z:=0.5; for i:=1 to k do begin Simp(0.0,
i*h, e, s); z:=c*s+0.5;
WriteLn(i*0.01:4:2, ' ', z:6:4); end; ReadLn END.

```

### 2.1.5. Метод Гаусса

Метод Гаусса позволяет достичь большей точности, нежели формула Симпсона при том же количестве ординат. Как и во многих других случаях, при численном интегрировании приходится делать выбор между простотой формулы Симпсона и возможной экономией машинного времени при использовании метода Гаусса. На практике чаще используется метод Симпсона.

Далее приведены тексты программ, реализующих метод Гаусса для двух, трех, четырех, пяти и шести точек (программы разработаны И. Щербиным).

```

Program Gs2;
VAR n, p : Integer; a, b, c, z, z1, s: Real;
FUNCTION f(x: Real): Real; begin f:=exp(-(sqr(x)/2)) end;
PROCEDURE Gs(n: Integer; a, b: Real; var s: Real); var i: Integer;
h, c, d, x: Real; begin h:=(b-a)/n; c:=h/sqrt(3.0); d:=h-c;
x:=a+d/2; s:=0;
for i:=1 to n do begin s:=s+f(x); x:=x+c; s:=s+f(x); x:=x+d end;
s:=s*h/2
end; BEGIN z:=0.5; c:=1/(sqrt(2*pi)); for p:=0 to 360 do begin
b:=p*0.01; n:=10; repeat z1:=z; Gs(n,0,b,s); z:=s*c+0.5;
n:=n+10;

```

```
until abs(z-z1)<0.00003; WriteLn(p*0.01:4:2, ' ', z:6:4, n-10:8 );
end; ReadLn END.
```

### **С тремя узлами**

```
Program Gs3;TYPE Vec=Array[1..6] of Real;VAR n, p : Integer;
z, z1, a, b, c1, s: Real; x, c : Vec;FUNCTION f(x: Real): Real;
begin f:=exp(-(sqr(x)/2)) end;PROCEDURE Gauss(n, k: Integer;
a, b: Real; var x, c: Vec;var s: Real );var i, j: Integer; h, a1, b1, r,
q, s1: Real;begin h:=(b-a)/n; a1:=a; b1:=a+h; s:=0.0;for i:=1 to n
do begin r:=(a1+b1)/2; q:=(b1-a1)/2; s1:=0.0;for j:=1 to k do
s1:=s1+c[j]*f(r+q*x[j]);s:=s+s1; a1:=b1; b1:=a1+h end;s:=s*q
end;BEGIN x[1]:=0.774596; x[2]:=0.0; x[3]:=-
x[1];c[1]:=0.555555; c[2]:=0.888888; c[3]:= c[1]; z:=0.5;
c1:=1/(sqrt(2*pi));for p:=0 to 360 do begin b:=p*0.01; n:=10;
repeat z1:=z; Gauss( n,3,0,b,x,c,s ); z:=s*c1+0.5; n:=n+10 until
abs(z-z1)<0.00003;WriteLn( p*0.01:4:2, ' ', z:6:4, n-10:6 );
end;ReadLn END.
```

### **С четырьмя узлами**

```
Program Gs4; TYPE Vec=Array[1..4] of Real;VAR n, p : Integer;
z, z1, a, b, c1, s: Real; x, c : Vec;FUNCTION f(x: Real): Real;
begin f:=exp(-(sqr(x)/2)) end;PROCEDURE Gauss(n, k: Integer;
a, b: Real; var x, c: Vec;var s: Real );var i, j: Integer; h, a1, b1, r,
q, s1: Real;
begin h:=(b-a)/n; a1:=a; b1:=a+h; s:=0.0;for i:=1 to n do begin
r:=(a1+b1)/2; q:=(b1-a1)/2; s1:=0.0;for j:=1 to k do
l:=s1+c[j]*f(r+q*x[j]);
s:=s+s1; a1:=b1; b1:=a1+h end; s:=s*q end;BEGIN
x[1]:=0.861136; x[2]:=0.339981;x[3]:= -x[1]; x[4]:= -
x[2];c[1]:=0.347854; [2]:=0.652145;
c[3]:= c[1]; c[4]:= c[2]; z:=0.5; c1:=1/(sqrt(2*pi)); for p:=0
to 360 do
begin b:=p*0.01; n:=10; repeat z1:=z; Gauss( n,4,0,b,x,c,s );
z:=s*c1+0.5; n:=n+10;until abs(z-z1)<0.00003;WriteLn(
p*0.01:4:2, ' ', z:6:4, n-10:8 );
end;ReadLn END.
```

### С пятью узлами

```

Program Gs5;TYPE Vec=Array[1..6] of Real;VAR n, p : Integer;
z, z1, a, b, c1, s: Real; x, c : Vec;FUNCTION f(x: Real): Real;
begin f:=exp(-(sqr(x)/2)) end;PROCEDURE Gauss( n, k: Integer;
a, b: Real; var x, c: Vec; var s: Real ); var i, j: Integer; h, a1, b1, r,
q, s1: Real;
begin h:=(b-a)/n; a1:=a; b1:=a+h; s:=0.0;for i:=1 to n do begin
r:=(a1+b1)/2; q:=(b1-a1)/2; s1:=0.0; for j:=1 to k do
s1:=s1+c[j]*f(r+q*x[j]); s:=s+s1; a1:=b1; b1:=a1+h end; s:=s*q
end;
BEGIN x[1]:=0.906179; x[2]:=0.538469; x[3]:= 0.0; x[4]:= -
x[1];
x[5]:= -x[2];c[1]:=0.236926; c[2]:=0.478628; c[3]:=0.568888;
c[4]:= c[1]; c[5]:= c[2];z:=0.5; c1:=1/(sqrt(2*pi));for p:=0 to
360 do
begin b:=p*0.01; n:=10; repeat z1:=z; Gauss( n,5,0,b,x,c,s );
z:=s*c1+0.5; n:=n+10 until abs(z-z1)<0.00003; WriteLn(
p*0.01:4:2, ' ', z:6:4, n-10:6 );
end;ReadLn END.

```

### С шестью узлами

```

Program Gs6;TYPE Vec=Array[1..6] of Real;VAR n, p : Integer;
a, b, c1, z, z1, s: Real; x, c : Vec;FUNCTION f(x: Real): Real;
begin f:=exp(-(sqr(x)/2)) end;PROCEDURE Gauss( n, k: Integer;
a, b: Real; var x, c: Vec;var s: Real );var i, j: Integer; h, a1, b1, r,
q, s1: Real; begin h:=(b-a)/n; a1:=a; b1:=a+h; s:=0.0; for i:=1 to
n do begin r:=(a1+b1)/2; q:=(b1-a1)/2; s1:=0.0; for j:=1 to k do
s1:=s1+c[j]*f(r+q*x[j]);s:=s+s1; a1:=b1; b1:=a1+h end; s:=s*q
end; BEGIN [1]:=0.932469; x[2]:=0.661209; x[3]:=0.238619;
x[4]:= -x[1]; x[5]:= -x[2]; x[6]:= -x[3];c[1]:=0.171324;
c[2]:=0.360762; c[3]:=0.467914;c[4]:= c[1]; c[5]:= c[2];
c[6]:= c[3];
z:=0.5; c1:=1/(sqrt(2*pi));for p:=0 to 360 do begin b:=p*0.01;

```

```

n:=10;
repeat z1:=z; Gauss(n,6,0,b,x,c,s); z:=s*c1+0.5; n:=n+10;
until abs(z-z1)<0.00003; WriteLn(p*0.01:4:2, ' ', z:6:4, n-10:6);
end;
ReadLn END.

```

### 2.1.6. Метод Вылегжанина

В.Н. Вылегжаниным выведена формула для вычисления интеграла вероятностей Гаусса. При ее применении программирование упрощается максимально. Формула Вылегжанина имеет вид

$$\Phi(y) = \frac{2}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_0^y \exp\left[-\frac{t^2}{2}\right] dt \approx \sqrt{1 - \exp\left[-\frac{2y^2}{\pi}\right]}.$$

```

Program Wileg; VAR x, s, s1, c: Real; i : Integer;
Tw : Array [1..365] of Real; BEGIN for i:=0 to 360 do begin
x:=i*0.01;
s:=0.5+1/sqrt(2*pi)*sqrt(pi)/sqrt(2)*sqrt(1-exp(-2*x*x/pi)); Tw[i]:=s;
WriteLn(x:4:2, ' ', Tw[i]:6:4); end; ReadLn END.

```

### 2.1.7. Метод Монте-Карло

Программная реализация методов численного интегрирования предусматривает получение суммы, количество слагаемых в которой определяется числом точек разбиения интервала интегрирования. В практике часто приходится вычислять значения кратных интегралов. Кратный интеграл вычисляется для функции многих переменных по замкнутой ограниченной многомерной области. Вычислительная схема при этом сохраняется: интервал, соответствующий изменению каждой переменной внутри области интегрирования, разбивается на фиксированное число отрезков.

В основе оценки искомого значения интеграла  $I$  лежит известное соотношение

$$I = y_{cp} \cdot \sigma,$$

где  $y_{cp}$  – значение подынтегральной функции в некоторой “средней” точке области интегрирования;

$\sigma$  – (многомерный) объем области интегрирования. При этом, конечно, предполагается, что подынтегральная функция (обозначим ее  $F$ ) непрерывна в области интегрирования. Выберем в этой области  $n$  случайных точек  $M_i$ . При достаточно большом  $n$  приближенно можно считать

$$y_{cp} = \frac{1}{N} \cdot F(M_i).$$

Точность оценки значения интеграла методом Монте-Карло пропорциональна корню квадратному из числа случайных испытаний и не зависит от кратности интеграла. Именно поэтому применение метода целесообразно для вычисления интегралов высокой кратности.

Текст программы:

```

Program M_Karlo; var i, j, n : Integer; a, b, x, y, F, S, d, F1, t, delta :
Real; h, min, se, ms : Word; Secund : Real; fl : File of Real;
Tmk : Array [0..365] of Real; Begin Assign( fl, 'tab.mk' ); ReSet( fl
); ClrScr;
Randomize; a:=0; b:=0; delta:=0.01; For j:=0 to 360 do begin n:=10;
b:=b+delta; d:=b-a; Write(b:4:2); F1:=-0.2; Repeat s:=0; F1:=F;
For i:=1 to n do begin t:=Random; x:=a+(b-a)*t; S:=S+exp(-x*x/2);
end;
F:=0.5+d/n*1/sqrt(2*Pi)*S; n:=n+10; Until abs(F1-F)<0.00003;
Tmk[j]:=F;
Writeln({F1:16:5,}F:16:4,n-10:8); end; for j:=0 to 360 do Write(
fl, Tmk[j] );
Close( fl ); readln; end.

```

### 2.1.8. Сравнение точности и скорости вычисления интеграла

Для нахождения оптимального метода расчета значений интеграла вероятностей Гаусса в каждую из представленных программ включены процедуры определения времени расчета инте-

грала на интервале изменения  $x$   $[0; 3,6]$ . и разработана отдельная программа, сравнивающая результаты работы всех описанных выше программ с табличными значениями интеграла вероятности Гаусса по величине среднеквадратического отклонения.

Текст программы:

```

Program Pr; VAR Tab: Array [1..11,0..360] of Real; Sum: Array
[1..10] of Real; Nam: Array [1..11] of String; Nm1: Array [1..10] of
String;
n : String; sm : Real; f : File of Real; i, j, nm: Integer; tb : File of
Real;
BEGIN ClrScr; Nam[ 1]:= 'tab.gs'; Nam[ 2]:= 'tab.rec'; Nam[ 3]:=
'tab.tr';
Nam[ 4]:= 'tab.sim'; Nam[ 5]:= 'tab2.gs'; Nam[ 6]:= 'tab.gs3'; Nam[
7]:= 'tab4.gs'; Nam[ 8]:= 'tab.gs5'; Nam[
9]:= 'tab6.gs'; Nam[10]:= 'tab.stp'; am[11]:= 'tab.wig';
Nm1[ 1]:= 'Прямоугольников'; Nm1[ 2]:= 'Трапеций'; Nm1[
3]:= 'Симпсона'; Nm1[ 4]:= 'Гаусса 2'; Nm1[ 5]:= 'Гаусса 3'; Nm1[
6]:= 'Гаусса 4';
Nm1[ 7]:= 'Гаусса 5'; Nm1[ 8]:= 'Гаусса 6'; Nm1[ 9]:= 'Степенной
ряд'; Nm1[10]:= 'Вылегжанина'; for j:=1 to 11 do begin Assign(f,
Nam[j] );
ReSet(f); for i:=0 to 360 do Read(f, Tab[j,i] ); Close(f) end;
for j:=2 to 11 do for i:=0 to 360 do Tab[j,i]:=sqr(Tab[j,i]-
ab[1,i]*0.0001);
for j:=1 to 10 do Sum[j]:=0; for i:=0 to 360 do for j:=1 to 10
do Sum[j]:=Sum[j]+Tab[j+1,i]; for j:=1 to 10 do
Sum[j]:=Sum[j]/361;
Assign( tb, 'tab.pgr' ); ReSet( tb ); for j:=1 to 10 do
begin Sum[j]:=Sum[j]*1e8; Write( tb,Sum[j] );
Sum[j]:=Sum[j]/1e8;
end;Close( tb );for i:=1 to 10 do WriteLn( Nm1[i],
Sum[i]*1e8:20:14 );
ReadLn; END.

```

Процедуры определения времени расчета используют для этого встроенные в IBM PC часы и базируются на возможностях



библиотеки языка *Turbo Pascal* и выглядят следующим образом:

```
PROCEDURE Anf_Time;begin GetTime(h1, min, se, ms);
Secund:=(h1*60+min)*60+se+ms/100;end;
```

```
PROCEDURE End_Time;begin GetTime(h1, min, se, ms);
Secund:=(h1*60+min)*60+se+ms/100-Secund;
ms:=Trunc(100*Frac(Secund));
h1:=Trunc(Secund) div 3600; min:=Trunc(Secund-3600*h1) div 60;
se:=Trunc(Secund-3600*h1) mod 60;
Writeln('Время работы ', h1:1,' ч, ',min:1,' мин, ',se:1,',',ms:1,' сек');
end;
```

В текст программы, в начало основного блока перед операциями, непосредственно выполняющими расчет, ставится вызов процедуры «*Anf\_Time*», которая запускает встроенные машинные часы и возвращает управление основной программе. После выполнения расчета вызывается процедура «*End\_Time*», которая останавливает счет времени и записывает показание часов в специально отведенную для этого переменную.

Сравнительная характеристика методов вычисления интеграла вида  $F(x) = 0,5 + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{3,6} \exp(-\frac{x^2}{2}) dx$ , с шагом  $\Delta x = 0,01$ , представлена в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительная характеристика методов вычисления интеграла

$$F(x) = 0,5 + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{3,6} \exp(-\frac{x^2}{2}) dx \text{ с шагом } \Delta x = 0,01,$$

№/пп	Метод расчета	Время расчета, с	Среднее квадратическое отклонение
1	Прямоугольников	9,73	0,1216052
2	Трапеций	7,19	0,0992364
3	Симпсона	4,12	0,1023039
4	Гаусса (по 2 точкам)	10,76	0,0992384
5	Гаусса (по 3 точкам)	16,80	0,0991564
6	Гаусса (по 4 точкам)	20,14	0,0991064

№/пп	Метод расчета	Время расчета, с	Среднее квадратическое отклонение
7	Гаусса (по 5 точкам)	23,89	0,0990092
8	Гаусса (по 6 точкам)	28,00	0,0992380
9	Из степенного ряда	3,39	0,1040230
10	Вылегжанина	3,68	316,7638638
11	Монте-Карло	более 6 ч.	не вычислялось

Результаты позволяют установить, что для принятых условий и допущений целесообразно применение метода вычисления интеграла вероятностей из степенного ряда.

В настоящее время возникла необходимость рассчитывать извлечение фракций в продукты обогащения на основе вероятностных методов с большей точностью. Для решения воспользуемся *Microsoft Excel* и *Turbo Pascal*.

В *Microsoft Excel* есть функция *НОРМСТРАСП(z)*, которая возвращает стандартное нормальное интегральное распределение. Это распределение имеет среднее, равное нулю, и стандартное отклонение, равное единице. Данная функция используется вместо таблицы площадей стандартной нормальной кривой.

### Синтаксис

#### *НОРМСТРАСП(z)*

*Z* – значение, для которого строится распределение.

### Замечания:

Если *z* не является числом, функция *НОРМСТРАСП* возвращает значение ошибки #ЗНАЧ!.

Уравнение плотности стандартного нормального распределения имеет следующий вид:

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{z^2}{2}},$$

Для решения этой же задачи в *Turbo Pascal*, воспользуемся программой, текст которой представлен на с. 8, установив точность  $abs(g7) < 0,0000001$ .

Результаты вычислений представлены в Приложении 1. Для

сравнения значений воспользовались первой, встретившейся в *Internet*, таблицей значений функции Лапласа.

Обозначения, принятые в Приложении 1:

- $F(x)$  – табличные значения интеграла Гаусса;
- $F(x)Exc$  – значения интеграла, рассчитанные с помощью *Excel*;
- $F(x)Pas$  – значения, рассчитанные в *Turbo Pascal*.

➤ Выбран метод расчета интеграла вероятностей вида:

$$F(x) = 0,5 + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{abs(x)} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx, \text{ для погрешности вычисления}$$

$E = \pm 0,00003$  и шагом  $\Delta x = 0,01$ , значения которого из числа рассмотренных методов численного интегрирования: прямоугольников, трапеций, Симпсона, из степенного ряда, Гаусса для 2-х, 3-х, 4-х, 5-ти и 6-ти точек, Монте-Карло, Вылегжанина целесообразно рассчитывать из степенного ряда методом Д.Мак-Кракена и У.Дорна как наиболее быстрым и точным.

➤ Определены расчетные значения функции  $F(x)$ , полученные в *Excel* с использованием функции *НОРМСТРАСП* и в *Turbo Pascal* (процедура *IntGauss.pas* с погрешностью  $abs(g7) < 0,0000001$ ).

➤ В публикации [8] замечена неточность в значении функции  $F(x) = 0,99928$  для  $x = 3,25$ . Расчет выбранными методами показал результат  $0,99942$ , что подтверждается работами [3, 9].

➤ Среднеквадратическое отклонение для функции  $F(x)$ , рассчитанное с помощью *Excel* в диапазоне изменения аргумента от  $0$  до  $3,83$  с шагом  $0,01$ , составило  $0,00005001$ , в *Turbo Pascal* –  $0,00005030$ . Таким образом, оба метода имеют, практически, одинаковую погрешность и могут быть рекомендованы для расчета технологических показателей обогащения полезных ископаемых.

## 2.2. Способы определения эффективности разделения материала в гравитационных аппаратах

Основное технологическое требование, предъявляемое к аппаратам, в которых осуществляется процесс гравитационного

разделения, сводится к разделению исходного материала на фракции различной плотности с максимально возможной точностью при допустимой удельной производительности.

Эффективность или точность разделения показывает, насколько близки практические результаты переработки к теоретически возможным, т. е. насколько точно фракции различной плотности распределились по конечным продуктам переработки.

Для оценки технологической эффективности гравитационного разделения применяются различные аналитические, графические или графоаналитические критерии, основанные на характеристике качества продуктов переработки или их фракционном составе.

Широко применяется оценка точности разделения по фракционному составу продуктов, полученных в результате гравитационной переработки углей и антрацитов. Расслоение продуктов используется для экспресс-контроля, при регулировке гравитационных аппаратов и оперативном управлении процессом разделения, а также для определения технологической эффективности новых или модернизированных машин. Оперативный контроль заключается в определении количества посторонних фракций в каждом продукте разделения.

Сравнение эффективностей разделения в гравитационных аппаратах, таким способом затруднено. Результаты опробования концентрата, промпродукта и отходов, полученные после расслоения каждого из них на три фракции (легкую, среднюю и тяжелую), будут представлены девятью показателями. Из них шесть – характеризуют взаимозасоренность. При сравнении результатов переработки угля на двух аппаратах чаще бывает, что засорение концентрата в одной машине меньше, но потери легких фракций в породе больше, (возможны и другие варианты). В этом случае отдать предпочтение какому-либо аппарату трудно. Для сравнительной оценки удобнее определять суммарную засоренность всех продуктов

$$\sum a = a_k + a_{n.n} + a_n,$$

где  $a_k$ ,  $a_{n.n}$ ,  $a_n$  – количество посторонних фракций в концентрате, промпродукте и породе в процентах к исходному углю.

Эффективность работы отсадочных машин по суммарному

засорению конечных продуктов отсадки показана в табл. 2

Таблица 2

Оценка эффективности работы отсадочных машин	
Суммарное засорение, % к исходному углю	Результаты расслоения
< 4	Очень хорошие
4,0 – 8,0	Хорошие
8,0 – 14,0	Удовлетворительные
14,0 – 20,0	Неудовлетворительные
> 20	Очень плохие

Для сравнения методов гравитационного разделения пользуются среднегеометрическим показателем извлечения “своих” фракций в различные продукты. Этот показатель определяют по формуле

$$\varepsilon_{ф.ср} = (\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \dots \cdot \varepsilon_n)^{\frac{1}{n}}$$

$$\varepsilon_{ф.ср} = (\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \dots \cdot \varepsilon_n)^{1/n},$$

где  $\varepsilon_{ф.ср}$  – среднее извлечение фракций в продукты;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$  – извлечение “своих” фракций в продукты;

$n$  – количество продуктов.

Кроме перечисленных выше способов определения эффективности разделения материала в гравитационных аппаратах в практике переработки широко применяется метод Тромпа, основанный на вероятностном распределении фракций различной плотности между продуктами гравитационного разделения. Параметрами оценки при этом методе является среднее вероятное отклонение, обозначаемое  $E_{pm}$  (*I'Ecarts probable moyen*) или  $E_p$ . В Германии оно обозначается через  $E_T$  (число Терра).

Вероятное отклонение измеряется в единицах плотности на абсциссе кривой разделения. Если  $E_p = 0,09$ , то это означает, что среднее вероятное отклонение плотности посторонних фракций в продуктах переработки от плотности разделения составляет 0,09.

Каждый гравитационный аппарат характеризуется своей кривой разделения, которая не зависит от качества исходного уг-

ля. Каждому типу аппарата, работающего в нормальных условиях, присуще свое определенное среднее вероятное отклонение, соответствующее кривой разделения данного аппарата.

Для нахождения  $E_p$  действующей обогатительной машины необходимо:

1. Определить фракционный состав продуктов переработки: концентрата, промпродукта и породы. Для более точного построения кривой разделения фракционный состав необходимо определять по плотностям от 1300 до 2400 кг/м<sup>3</sup>.

2. Рассчитать выходы продуктов переработки и в соответствии с ними выразить фракционный состав в процентах от исходного.

3. По фракционному составу продуктов переработки рассчитать эквивалентный исходный материал, поступающий на данную операцию гравитационного разделения согласно.

4. Определить разделительные числа для тяжелых продуктов двух плотностей разделения (для породы и микста).

5. По разделительным числам построить кривые Тромпа, по которым найти величину абсцисс для плотностей  $\rho_{75}$  и  $\rho_{25}$ . По формуле вычислить значение среднего вероятного отклонения

$$E_{pm} = \frac{(\rho_{75} - \rho_{25})}{2}.$$

Гравитационные аппараты для крупного угля дают всегда меньшее засорение продуктов разделения посторонними фракциями, чем машины мелкого угля.

Для машин с тяжелой средой величина  $E_p$  изменяется незначительно в зависимости от плотности разделения. Для машин с водной средой  $E_p$  возрастает пропорционально  $(\rho_p - 1)$ .

$$E_p = I(\rho_p - 1),$$

где  $I$  – коэффициент пропорциональности.

Этот коэффициент, предложенный П. Белюгу (Франция), называют коэффициентом погрешности или несовершенства (*Imperfection*).

Для контроля и оценки точности работы гравитационных машин с водной средой, кривая разделения которых подчиняется

логарифмически нормальному закону, и величина  $E_p$  значительно зависит от  $\rho_p - 1$ , применяют коэффициент погрешности  $I$ .

Показатели  $E_p$  и  $I$  рекомендованы международной организацией по стандартизации *ISO* в качестве критериев для оценки эффективности разделения минеральных комплексов в гравитационных полях и используются при прогнозировании практического баланса продуктов переработки.

Согласно действующим в настоящее время в Российской Федерации нормативным документам засорение продуктов обогащения каменных углей следует принимать

а) в тяжелосредних сепараторах:

для крупности 25 - 300 мм

$$E_p = 0,01 \cdot \rho_p + 0,02, \text{ г/см}^3$$

для крупности 13 - 150 мм

$$E_p = 0,015 \cdot \rho_p + 0,02, \text{ г/см}^3$$

для крупности 6 - 100 мм

$$E_p = 0,025 \cdot \rho_p + 0,005, \text{ г/см}^3$$

б) в двухпродуктовых тяжелосредних гидроциклонах

$$E_p = 0,03 \cdot \rho_p - 0,015, \text{ г/см}^3$$

в) в крутонаклонных сепараторах

$$I = \frac{E_p}{(\rho_p - 1)},$$

для крупности  $> 13$  мм

$$E_p = 0,11, \text{ г/см}^3$$

для крупности 6-13 мм

$$E_p = 0,16, \text{ г/см}^3$$

Расчет выходов и зольностей продуктов переработки в гравитационных аппаратах ведут по формулам

$$\gamma = \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot F(x_i);$$

$$A^d = \frac{\sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot A_i^d \cdot F(x_i)}{\sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot F(x_i)};$$

где  $n$  – количество фракций;

$F(x_i)$  – значение интеграла вероятностей Гаусса;

$\gamma_i, - A_i^d$  – выход и зольность фракций;

$x_i$  – отклонение средней плотности фракций  $\rho_{cp}$  от намечаемой плотности разделения  $\rho_p$ :

а) с тяжелой средой

$$x = \pm \frac{(\rho_p - \rho_{cp})}{E_p} \cdot 0,675$$

б) с водной средой

$$x = \pm \frac{\ln\left(\frac{\rho_p - 1}{\rho_{cp} - 1}\right) \cdot 0,675}{\ln(I + (I^2 + 1)^{0,5})}$$

$$x = \pm \ln((\rho_p - 1)/(\rho_{cp} - 1)) \cdot 0.675 / \ln(I + (I^2 + 1)^{0.5});$$

где  $E_p$  – среднее вероятное отклонение от плотности разделения, г/см<sup>3</sup>;

$I$  – погрешность разделения.

В формулах знак плюс берут при определении извлечения фракций в концентрат и знак минус - в отходы.

Н.А. Самылиным промышленными испытаниями отсадочных машин различных конструкций в угольных бассейнах СССР



определены значения  $E_p$  и  $I$  для отсадочных машин мелкого и крупного классов углей (табл. 3).

Таблица 3

Среднее вероятное отклонение и погрешности разделения  
для отсадочных машин

Класс, мм	Низкая плотность разделения		Высокая плотность разделения		Результаты разделения
	$E_p$	$I$	$E_p$	$I$	
0,5 - 13	<0,08	<0,16	<0,16	<0,20	хорошие удовлетворительные неудовлетворительные
	0,08-0,13	0,16-0,23	0,16-0,20	0,20-0,25	
	>0,13	>0,23	>0,20	>0,25	
13 - 100	<0,07	<0,10	<0,10	<0,12	хорошие удовлетворительные неудовлетворительные
	0,07-0,10	0,10-0,20	0,10-0,16	0,12-0,20	
	>0,10	>0,20	>0,16	>0,20	

При расчете проектируемых технологических схем переработки углей более поздние нормативы рекомендуют определять эффективность разделения угольных материалов различных классов крупности в отсадочных машинах в зависимости от плотности разделения согласно показателям погрешности, представленным табл. 4.

Таблица 4

Показатель погрешности разделения в отсадочных машинах

Крупность угля, мм	Погрешность разделения	
	при низкой плотности раз- деления (до 1500 кг/м <sup>3</sup> )	при высокой плотности раз- деления (1850-2000 кг/м <sup>3</sup> )
0.5-13	0.16	0.18
13-100(150)	0.12	0.14
0.5-100(150)	0.15	0.16

Сравнивая данные, представленные в табл. 2.2 и 2.3, можно заметить, что проектировщики принимают эффективности разделения, отличающиеся от реальных.

Для каждого из рассмотренных выше методов технологической эффективности работы гравитационных аппаратов имеются условия преимущественного использования:

- текущий контроль аппаратов и их оперативная регулировка – метод взаимных засорений продуктов;

- сравнение и выбор различных типов машин – метод суммарных засорений;
- сравнение отсадочных машин, тяжелосредних установок, крутонаклонных сепараторов и др. – метод извлечения “своих” фракций в продукты;
- расчет практического баланса переработки углей при проектировании фабрик, приемка и сдача гарантийных показателей технологической эффективности для гравитационных аппаратов в случае экспортно-импортных поставок – метод Тромпа-Терра с использованием показателей  $E_p$  и  $I$ .

*Зависимость коэффициента погрешности разделения в отсадочных машинах от плотности разделения*

Рассмотренные методы оценки эффективности разделения угля в гравитационных аппаратах позволяют констатировать, что с увеличением плотности разделения пропорционально возрастает коэффициент погрешности.

Для установления экспериментальной зависимости  $I=f(\rho_p)$  на ЦОФ “Сибирь” определен согласно ГОСТ фракционный состав машинного класса 0,5-13 мм (табл. 5), поступающего на переработку в отсадочные машины типа ОМ-12.

Таблица 5

**Фракционный состав машинного класса 0,5-13 мм**

Плотность фракций, г/см <sup>3</sup>											
-1,3		1,3-1,4		1,4-1,5		1,5-1,6		1,6-1,8		+1,8	
$\gamma, \%$	$A^d, \%$	$\gamma, \%$	$A^d, \%$	$\gamma, \%$	$A^d, \%$	$\gamma, \%$	$A^d, \%$	$\gamma, \%$	$A^d, \%$	$\gamma, \%$	$A^d, \%$
11,04	4,0	1,69	12,4	1,75	23,8	2,14	34,5	5,71	44,8	22,7	87,0

Для данной крупности угля следует принимать погрешность разделения  $I=0,16$  при низких плотностях разделения ( $\rho_p < 1,85$  г/см<sup>3</sup>), при высоких –  $0,18$ . Получены расчетные величины отклонения  $x$  средней плотности фракций  $\rho_{cp}$  от плотности разделения  $\rho_p$  в зависимости от коэффициента несовершенства. Характер отклонения величины  $x$  для средних плотностей фракций  $1,25, 1,35, 1,45, 1,55, 1,70$  и  $2,20$  г/см<sup>3</sup> и плотностей разделения, изменяющихся от  $1,820$  до  $1,880$  г/см<sup>3</sup> с шагом  $0,005$  г/см<sup>3</sup>, оказался ступенчатым. На границе перехода от низкой плотности

разделения к высокой ( $\rho_p=1,850$  г/см<sup>3</sup>) при изменении погрешности  $I=0,16$  на  $I=0,18$ , наблюдается резкое изменение  $x$  для всех 6 значений средних плотностей фракций.

В свою очередь, изменения  $x$  исказили величину интеграла Гаусса, по которому определяется извлечение фракций в отходы отсадочной машины.

На границе перехода от низкой плотности разделения к высокой очевидно снижение зольности породы с 84,6 % ( $\rho_p=1,850$  г/см<sup>3</sup>) до 84,2 % ( $\rho_p=1,855$  г/см<sup>3</sup>). В практике обогащения минеральных частиц в гравитационных полях, подтверждаемой теорией исследования процесса, с увеличением плотности разделения среды наблюдается пропорциональное возрастание погрешности разделения  $I$  и зольности породы.

В связи с этим, целесообразно выражать погрешность разделения как линейную функцию от плотностей разделения

для крупности 13 - 100(150) мм

$$I = 0,0342857 + 0,0571429 \cdot \rho_p;$$

для крупности 0,5 - 13 мм

$$I = 0,0742857 + 0,0571429 \cdot \rho_p;$$

для крупности 0,5 - 100(150) мм

$$I = 0,1071429 + 0,0285714 \cdot \rho_p.$$

Значения коэффициентов в выражениях получены линейной интерполяцией величин погрешности разделения и принимаемой плотности разделения, рекомендуемых нормативными документами для расчета технологических схем.

Для полученных погрешностей разделения в отсадочных машинах, значений среднего вероятного отклонения в тяжело-средних установках, используя формулы расчета отклонения средних плотностей фракций от плотностей разделения при вычислении интеграла Гаусса, получены извлечения фракций в продукты обогащения гравитационных аппаратов, представленные в Приложениях 2–15.

Значения извлечений используются при расчете технологических показателей обогащения вероятностными методами.

### 3. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОБОГАЩЕНИЯ РАЗУБОЖЕННЫХ УГЛЕЙ

Одной из специфических особенностей угольных месторождений Центрального Кузбасса является световое залегание пластов наклонного и крутого падения ( $45\div 90^0$ ) различной мощности. Наряду с мощными пластами ( $6\div 25$  и более метров) встречается большое количество пластов так называемой малой мощности (менее 5 м), в которых содержится около 35 % всех запасов, пригодных для их отработки открытым способом.

Из-за большой нарушенности пластов и принятой транспортной технологии маломощные пласты отрабатываются со значительными потерями (до 60 %). Теряемые запасы маломощных угольных пластов увеличивают потери по разрезам в целом до  $13\div 16$  %, что приводит к значительному экономическому ущербу. В разные годы делались попытки оценить различные способы отработки таких пластов с целью снижения уровня потерь, но рассматривался селективный способ выемки с использованием различного выемочно-погрузочного и транспортного оборудования. Не была дана более детальная оценка валовому способу выемки с последующей первичной переработкой угля.

В данном разделе представлено прогнозирование результатов обогащения разубоженных углей в условиях обогатительной фабрики.

В качестве примера рассмотрены модели вариантов переработки пластов “Внутреннего I”, “Лутугинского”, “Безымянного” и “Характерного”.

Исходные данные для прогнозирования результатов переработки пласта “Внутреннего I”:

- распределение обрушенной породы в машинные классы: в крупный класс попадает 60 % породы, в мелкий класс – 30 %, в шлам – 10 %;
- зольность породы 94 %;
- цены на угольные продукты и себестоимость переработки углей приняты для условий фабрики приняты условными;
- ситовый и фракционный составы для пласта “Внутреннего I” представлены в табл. 6

Таблица 6

Количественная характеристика пласта Внутреннего I,  
засорение 0 %

Ситовый состав			Фракционный состав											
Класс	$\gamma$	$A^d$	< 1,3		1,3-1,4		1,4-1,5		1,5-1,6		1,6-1,8		> 1,8	
			$\gamma$	$A^d$	$\gamma$	$A^d$	$\gamma$	$A^d$	$\gamma$	$A^d$	$\gamma$	$A^d$	$\gamma$	$A^d$
13-100	38,4	10,8	26,2	4,9	8,3	11,7	1,8	21,3	0,5	29,1	0,1	40,2	1,6	84,9
0,5-13	48,4	11,7	27,6	2,9	12,1	8,0	2,8	19,0	1,4	29,1	1,3	40,2	3,2	75,1
0-0,5	13,2	8,5												
Итого	100	10,9												

Расчеты ожидаемых результатов переработки пласта «Внутреннего I» с различным засорением боковыми породами выполнены с помощью одной из версий программы «Igel», позволяющей прогнозировать максимальную прибыль от реализации концентрата планируемой зольности.

Аналогичные вычисления проведены и для других пластов при различных количествах (0÷74 %) обрушенных боковых пород, попадающих в пласты при их добыче с учетом двух вариантов реализации угольных продуктов:

- Рядового угля зольностью до 30 %\* .
- Угольного концентрата, полученного по схеме фабрики.

В таблицах 7-9 для различных величин засорения пластов обрушаемой породой представлены зольность разубоженного угля и прибыль от его продажи, а также зольность суммарного концентрата и прибыль от его реализации.

Количество обрушаемой породы в шихте планировалось от нуля и до тех пор, пока величина прибыли, получаемой от реализации угольного концентрата, не становилась отрицательной.

---

\* В данном примере рассматривается вариант реализации угля зольностью до 30 %. Это не означает, что указанная зольность является единственно возможной. В зависимости от требований потребителя зольность угольного продукта, поступающего на реализацию, может колебаться от 4 до 35%.

Таблица 7

Варианты реализации угольных продуктов,  
полученных из пласта “Лутугинский”

Участие обрушенной породы в шихте, %	Рядовой уголь		Концентрат	
	Зольность, %	Прибыль, у.е./т	Зольность, %	Прибыль, у.е./т
0	12,3	45,7	5,7	43,4
10	20,5	39,1	5,8	37,1
20	28,7	32,5	6,0	31,0
30	36,8	-	6,2	24,9
40	45,0	-	6,5	18,9
50	53,2	-	6,8	12,8
60	61,3	-	7,2	6,8
70	69,5	-	8,1	0,8
74	71,1	-	8,3	-0,4

Таблица 8

Варианты реализации угольных продуктов, полученных из  
пласта “Безымянный”

Участие обрушенной породы в шихте, %	Рядовой уголь		Концентрат	
	Зольность, %	Прибыль, у.е./т	Зольность, %	Прибыль, у.е./т
0	10,8	47,0	5,6	44,7
10	19,1	40,3	5,7	38,3
20	27,4	33,6	5,9	32,9
30	35,7	-	6,1	25,8
40	44,1	-	6,3	19,7
50	52,4	-	6,6	13,5
60	60,7	-	7,1	7,3
70	69,0	-	7,8	1,2
72	70,7	-	8,0	-0,0

Таблица 9

Варианты реализации угольных продуктов,  
полученных из пласта “Характерный”

Участие обрушенной породы в шихте, %	Рядовой уголь		Концентрат	
	Зольность, %	Прибыль, у.е./т	Зольность, %	Прибыль, у.е./т
0	7,7	49,5	5,5	47,9
10	16,4	42,5	5,6	41,3
20	25,0	35,5	5,7	34,7
30	33,6	28,5	5,9	28,5
40	42,2	–	6,1	21,1
50	50,9	–	6,5	15,2
60	59,5	–	6,9	8,7
70	68,1	–	7,6	2,2
72	69,8	–	7,8	0,9
74	71,6	–	8,0	–0,4

Проведенными расчетами для валовых способов выемки пластов сложноструктурных месторождений с последующей переработкой разубоженного угля в условиях обогатительной фабрики и двух вариантов реализации угольных продуктов установлено:

- в зависимости от количества обрушенных пород (доля участия породы в шихте 0÷74 %) зольность разубоженного угля изменяется от 7,7÷12,3 до 70÷72 %;
- при зольности рядового угля менее 30 % его целесообразно реализовать без переработки;
- при зольности рядового угля 30÷70 % разубоженный уголь необходимо сначала переработать для получения концентрата зольностью 7,8÷9 %;
- перерабатывать разубоженный уголь зольностью более 70 % в условиях фабрики экономически нецелесообразно.

## Приложение 1

## Значения интеграла Гаусса

$t$	$F(t)$	$F(t)Exc$	$F(t)Pas$	$t$	$F(t)$	$F(t)Exc$	$F(t)Pas$	$t$	$F(t)$	$F(t)Exc$	$F(t)Pas$
0	0,50000	0,50000	0,50000	1,33	0,90824	0,90824	0,90824	2,66	0,99610	0,99609	0,99609
0,01	0,50399	0,50399	0,50399	1,34	0,90988	0,90988	0,90988	2,67	0,99621	0,99621	0,99621
0,02	0,50798	0,50798	0,50798	1,35	0,91149	0,91149	0,91149	2,68	0,99632	0,99632	0,99632
0,03	0,51197	0,51197	0,51197	1,36	0,91309	0,91309	0,91308	2,69	0,99643	0,99643	0,99643
0,04	0,51596	0,51595	0,51595	1,37	0,91466	0,91466	0,91466	2,7	0,99654	0,99653	0,99653
0,05	0,51994	0,51994	0,51994	1,38	0,91621	0,91621	0,91621	2,71	0,99664	0,99664	0,99664
0,06	0,52392	0,52392	0,52392	1,39	0,91774	0,91774	0,91774	2,72	0,99674	0,99674	0,99674
0,07	0,52791	0,52790	0,52790	1,4	0,91925	0,91924	0,91924	2,73	0,99684	0,99683	0,99683
0,08	0,53188	0,53188	0,53188	1,41	0,92073	0,92073	0,92073	2,74	0,99693	0,99693	0,99693
0,09	0,53586	0,53586	0,53586	1,42	0,92220	0,92220	0,92220	2,75	0,99702	0,99702	0,99702
0,1	0,53983	0,53983	0,53983	1,43	0,92364	0,92364	0,92364	2,76	0,99711	0,99711	0,99711
0,11	0,54380	0,54380	0,54380	1,44	0,92507	0,92507	0,92507	2,77	0,99720	0,99720	0,99720
0,12	0,54776	0,54776	0,54776	1,45	0,92647	0,92647	0,92647	2,78	0,99728	0,99728	0,99728
0,13	0,55174	0,55172	0,55172	1,46	0,92786	0,92785	0,92785	2,79	0,99737	0,99736	0,99736
0,14	0,55567	0,55567	0,55567	1,47	0,92922	0,92922	0,92922	2,8	0,99745	0,99744	0,99744
0,15	0,55962	0,55962	0,55962	1,48	0,93057	0,93056	0,93056	2,81	0,99753	0,99752	0,99752
0,16	0,56356	0,56356	0,56356	1,49	0,93189	0,93189	0,93189	2,82	0,99760	0,99760	0,99760
0,17	0,56750	0,56749	0,56749	1,5	0,93320	0,93319	0,93319	2,83	0,99768	0,99767	0,99767
0,18	0,57143	0,57142	0,57142	1,51	0,93348	0,93448	0,93448	2,84	0,99775	0,99774	0,99774
0,19	0,57535	0,57535	0,57535	1,52	0,93575	0,93574	0,93574	2,85	0,99782	0,99781	0,99781
0,2	0,57926	0,57926	0,57926	1,53	0,93699	0,93699	0,93699	2,86	0,99788	0,99788	0,99788
0,21	0,58317	0,58317	0,58317	1,54	0,93822	0,93822	0,93822	2,87	0,99795	0,99795	0,99795
0,22	0,58707	0,58706	0,58706	1,55	0,93943	0,93943	0,93943	2,88	0,99801	0,99801	0,99801
0,23	0,59096	0,59095	0,59095	1,56	0,94062	0,94062	0,94062	2,89	0,99808	0,99807	0,99807
0,24	0,59484	0,59483	0,59483	1,57	0,94179	0,94179	0,94179	2,9	0,99814	0,99813	0,99813
0,25	0,59871	0,59871	0,59871	1,58	0,94295	0,94295	0,94295	2,91	0,99820	0,99819	0,99817
0,26	0,60257	0,60257	0,60257	1,59	0,94409	0,94408	0,94408	2,92	0,99825	0,99825	0,99823
0,27	0,60642	0,60642	0,60642	1,6	0,94520	0,94520	0,94520	2,93	0,99831	0,99831	0,99829
0,28	0,61026	0,61026	0,61026	1,61	0,94630	0,94630	0,94630	2,94	0,99836	0,99836	0,99834
0,29	0,61409	0,61409	0,61409	1,62	0,94739	0,94738	0,94738	2,95	0,99841	0,99841	0,99840
0,3	0,61791	0,61791	0,61791	1,63	0,94845	0,94845	0,94845	2,96	0,99846	0,99846	0,99845
0,31	0,62172	0,62172	0,62172	1,64	0,94950	0,94950	0,94950	2,97	0,99851	0,99851	0,99850
0,32	0,62552	0,62552	0,62552	1,65	0,95053	0,95053	0,95053	2,98	0,99856	0,99856	0,99855
0,33	0,62930	0,62930	0,62930	1,66	0,95155	0,95154	0,95154	2,99	0,99861	0,99861	0,99859
0,34	0,63307	0,63307	0,63307	1,67	0,95254	0,95254	0,95254	3	0,99865	0,99865	0,99864
0,35	0,63683	0,63683	0,63683	1,68	0,95352	0,95352	0,95352	3,01	0,99870	0,99869	0,99868
0,36	0,64058	0,64058	0,64058	1,69	0,95449	0,95449	0,95449	3,02	0,99874	0,99874	0,99873
0,37	0,64431	0,64431	0,64431	1,7	0,95544	0,95543	0,95543	3,03	0,99878	0,99878	0,99877



0,38	0,64803	0,64803	0,64803	1,71	0,95637	0,95637	0,95637	3,04	0,99882	0,99882	0,99881
0,39	0,65173	0,65173	0,65173	1,72	0,95729	0,95728	0,95728	3,05	0,99886	0,99886	0,99885
0,4	0,65542	0,65542	0,65542	1,73	0,95819	0,95818	0,95818	3,06	0,99890	0,99889	0,99889
0,41	0,65910	0,65910	0,65910	1,74	0,95907	0,95907	0,95907	3,07	0,99893	0,99893	0,99892
0,42	0,66276	0,66276	0,66276	1,75	0,95994	0,95994	0,95994	3,08	0,99897	0,99896	0,99896
0,43	0,66640	0,66640	0,66640	1,76	0,96080	0,96080	0,96080	3,09	0,99900	0,99900	0,99899
0,44	0,67003	0,67003	0,67003	1,77	0,96164	0,96164	0,96164	3,1	0,99903	0,99903	0,99903
0,45	0,67365	0,67364	0,67364	1,78	0,96246	0,96246	0,96246	3,11	0,99907	0,99906	0,99906
0,46	0,67724	0,67724	0,67724	1,79	0,96328	0,96327	0,96327	3,12	0,99910	0,99910	0,99909
0,47	0,68082	0,68082	0,68082	1,8	0,96407	0,96407	0,96407	3,13	0,99913	0,99913	0,99912
0,48	0,68439	0,68439	0,68439	1,81	0,96485	0,96485	0,96485	3,14	0,99916	0,99916	0,99915
0,49	0,68794	0,68793	0,68793	1,82	0,96562	0,96562	0,96562	3,15	0,99919	0,99918	0,99918
0,5	0,69146	0,69146	0,69146	1,83	0,96638	0,96638	0,96637	3,16	0,99921	0,99921	0,99921
0,51	0,69498	0,69497	0,69497	1,84	0,96712	0,96712	0,96712	3,17	0,99924	0,99924	0,99923
0,52	0,69847	0,69847	0,69847	1,85	0,96785	0,96784	0,96784	3,18	0,99927	0,99926	0,99926
0,53	0,70195	0,70194	0,70194	1,86	0,96856	0,96856	0,96856	3,19	0,99929	0,99929	0,99929
0,54	0,70540	0,70540	0,70540	1,87	0,96926	0,96926	0,96926	3,2	0,99932	0,99931	0,99931
0,55	0,70884	0,70884	0,70884	1,88	0,96995	0,96995	0,96995	3,21	0,99934	0,99934	0,99933
0,56	0,71226	0,71226	0,71226	1,89	0,97062	0,97062	0,97062	3,22	0,99936	0,99936	0,99936
0,57	0,71566	0,71566	0,71566	1,9	0,97129	0,97128	0,97128	3,23	0,99938	0,99938	0,99938
0,58	0,71905	0,71904	0,71904	1,91	0,97194	0,97193	0,97193	3,24	0,99940	0,99940	0,99940
0,59	0,72241	0,72240	0,72240	1,92	0,97257	0,97257	0,97257	3,25	0,99928	0,99942	0,99942
0,6	0,72575	0,72575	0,72575	1,93	0,97320	0,97320	0,97320	3,26	0,99945	0,99944	0,99944
0,61	0,72907	0,72907	0,72907	1,94	0,97381	0,97381	0,97381	3,27	0,99946	0,99946	0,99946
0,62	0,73237	0,73237	0,73237	1,95	0,97441	0,97441	0,97441	3,28	0,99948	0,99948	0,99948
0,63	0,73566	0,73565	0,73565	1,96	0,97500	0,97500	0,97500	3,29	0,99950	0,99950	0,99950
0,64	0,73892	0,73891	0,73891	1,97	0,97558	0,97558	0,97558	3,3	0,99952	0,99952	0,99951
0,65	0,74216	0,74215	0,74215	1,98	0,97615	0,97615	0,97615	3,31	0,99954	0,99953	0,99953
0,66	0,74538	0,74537	0,74537	1,99	0,97671	0,97670	0,97670	3,32	0,99955	0,99955	0,99955
0,67	0,74857	0,74857	0,74857	2	0,97725	0,97725	0,97725	3,33	0,99957	0,99957	0,99956
0,68	0,75175	0,75175	0,75175	2,01	0,97779	0,97778	0,97778	3,34	0,99958	0,99958	0,99958
0,69	0,75491	0,75490	0,75490	2,02	0,97831	0,97831	0,97831	3,35	0,99960	0,99960	0,99959
0,7	0,75804	0,75804	0,75804	2,03	0,97882	0,97882	0,97882	3,36	0,99961	0,99961	0,99961
0,71	0,76115	0,76115	0,76115	2,04	0,97933	0,97932	0,97932	3,37	0,99963	0,99962	0,99962
0,72	0,76424	0,76424	0,76424	2,05	0,97982	0,97982	0,97982	3,38	0,99964	0,99964	0,99964
0,73	0,76731	0,76730	0,76730	2,06	0,98030	0,98030	0,98030	3,39	0,99965	0,99965	0,99965
0,74	0,77035	0,77035	0,77035	2,07	0,98078	0,98077	0,98077	3,4	0,99967	0,99966	0,99966
0,75	0,77338	0,77337	0,77337	2,08	0,98124	0,98124	0,98124	3,41	0,99968	0,99968	0,99967
0,76	0,77638	0,77637	0,77637	2,09	0,98169	0,98169	0,98169	3,42	0,99969	0,99969	0,99969
0,77	0,77935	0,77935	0,77935	2,1	0,98214	0,98214	0,98214	3,43	0,99970	0,99970	0,99970
0,78	0,78231	0,78230	0,78230	2,11	0,98257	0,98257	0,98257	3,44	0,99971	0,99971	0,99971
0,79	0,78524	0,78524	0,78524	2,12	0,98300	0,98300	0,98300	3,45	0,99972	0,99972	0,99972
0,8	0,78815	0,78814	0,78814	2,13	0,98342	0,98341	0,98341	3,46	0,99973	0,99973	0,99973

0,81	0,79103	0,79103	0,79103	2,14	0,98383	0,98382	0,98382	3,47	0,99974	0,99974	0,99974
0,82	0,79389	0,79389	0,79389	2,15	0,98422	0,98422	0,98422	3,48	0,99975	0,99975	0,99975
0,83	0,79673	0,79673	0,79673	2,16	0,98462	0,98461	0,98461	3,49	0,99976	0,99976	0,99976
0,84	0,79955	0,79955	0,79955	2,17	0,98500	0,98500	0,98500	3,5	0,99977	0,99977	0,99977
0,85	0,80234	0,80234	0,80234	2,18	0,98537	0,98537	0,98537	3,51	0,99978	0,99978	0,99978
0,86	0,80511	0,80511	0,80511	2,19	0,98574	0,98574	0,98574	3,52	0,99979	0,99978	0,99978
0,87	0,80785	0,80785	0,80785	2,2	0,98610	0,98610	0,98610	3,53	0,99979	0,99979	0,99979
0,88	0,81057	0,81057	0,81057	2,21	0,98645	0,98645	0,98645	3,54	0,99980	0,99980	0,99980
0,89	0,81327	0,81327	0,81327	2,22	0,98679	0,98679	0,98679	3,55	0,99981	0,99981	0,99981
0,9	0,81594	0,81594	0,81594	2,23	0,98713	0,98713	0,98713	3,56	0,99982	0,99981	0,99981
0,91	0,81859	0,81859	0,81859	2,24	0,98746	0,98745	0,98745	3,57	0,99982	0,99982	0,99982
0,92	0,82122	0,82121	0,82122	2,25	0,98778	0,98778	0,98778	3,58	0,99983	0,99983	0,99983
0,93	0,82382	0,82381	0,82382	2,26	0,98809	0,98809	0,98809	3,59	0,99984	0,99983	0,99983
0,94	0,82639	0,82639	0,82640	2,27	0,98840	0,98840	0,98840	3,6	0,99984	0,99984	0,99984
0,95	0,82895	0,82894	0,82895	2,28	0,98870	0,98870	0,98870	3,61	0,99985	0,99985	0,99985
0,96	0,83147	0,83147	0,83148	2,29	0,98899	0,98899	0,98899	3,62	0,99986	0,99985	0,99985
0,97	0,83398	0,83398	0,83398	2,3	0,98928	0,98928	0,98928	3,63	0,99986	0,99986	0,99986
0,98	0,83646	0,83646	0,83646	2,31	0,98956	0,98956	0,98956	3,64	0,99987	0,99986	0,99986
0,99	0,83892	0,83891	0,83892	2,32	0,98983	0,98983	0,98983	3,65	0,99987	0,99987	0,99987
1	0,84135	0,84134	0,84135	2,33	0,99010	0,99010	0,99010	3,66	0,99988	0,99987	0,99987
1,01	0,84375	0,84375	0,84376	2,34	0,99036	0,99036	0,99036	3,67	0,99988	0,99988	0,99988
1,02	0,84614	0,84614	0,84614	2,35	0,99062	0,99061	0,99061	3,68	0,99989	0,99988	0,99988
1,03	0,84850	0,84849	0,84850	2,36	0,99086	0,99086	0,99086	3,69	0,99989	0,99989	0,99989
1,04	0,85083	0,85083	0,85084	2,37	0,99111	0,99111	0,99111	3,7	0,99989	0,99989	0,99989
1,05	0,85314	0,85314	0,85315	2,38	0,99135	0,99134	0,99134	3,71	0,99990	0,99990	0,99990
1,06	0,85543	0,85543	0,85544	2,39	0,99158	0,99158	0,99158	3,72	0,99990	0,99990	0,99990
1,07	0,85769	0,85769	0,85770	2,4	0,99180	0,99180	0,99180	3,73	0,99991	0,99990	0,99990
1,08	0,85993	0,85993	0,85994	2,41	0,99203	0,99202	0,99202	3,74	0,99991	0,99991	0,99991
1,09	0,86215	0,86214	0,86215	2,42	0,99224	0,99224	0,99224	3,75	0,99991	0,99991	0,99991
1,1	0,86434	0,86433	0,86434	2,43	0,99245	0,99245	0,99245	3,76	0,99992	0,99992	0,99991
1,11	0,86650	0,86650	0,86651	2,44	0,99266	0,99266	0,99266	3,77	0,99992	0,99992	0,99992
1,12	0,86865	0,86864	0,86865	2,45	0,99286	0,99286	0,99286	3,78	0,99992	0,99992	0,99992
1,13	0,87076	0,87076	0,87077	2,46	0,99306	0,99305	0,99305	3,79	0,99993	0,99992	0,99992
1,14	0,87286	0,87286	0,87286	2,47	0,99325	0,99324	0,99324	3,8	0,99993	0,99993	0,99993
1,15	0,87493	0,87493	0,87493	2,48	0,99343	0,99343	0,99343	3,81	0,99993	0,99993	0,99993
1,16	0,87698	0,87698	0,87697	2,49	0,99362	0,99361	0,99361	3,82	0,99994	0,99993	0,99993
1,17	0,87900	0,87900	0,87900	2,5	0,99379	0,99379	0,99379	3,83	0,99994	0,99994	0,99994
1,18	0,88100	0,88100	0,88099	2,51	0,99397	0,99396	0,99396	3,84	0,99994	0,99994	0,99994
1,19	0,88298	0,88298	0,88297	2,52	0,99413	0,99413	0,99413	3,85	0,99994	0,99994	0,99994
1,2	0,88493	0,88493	0,88492	2,53	0,99430	0,99430	0,99430	3,86	0,99995	0,99994	0,99994
1,21	0,88686	0,88686	0,88686	2,54	0,99446	0,99446	0,99446	3,87	0,99995	0,99995	0,99995
1,22	0,88877	0,88877	0,88877	2,55	0,99462	0,99461	0,99461	3,88	0,99995	0,99995	0,99995
1,23	0,89065	0,89065	0,89065	2,56	0,99477	0,99477	0,99477	3,89	0,99995	0,99995	0,99995

1,24	0,89251	0,89251	0,89251	2,57	0,99492	0,99492	0,99491	3,9	0,99995	0,99995	0,99995
1,25	0,89435	0,89435	0,89435	2,58	0,99506	0,99506	0,99506	3,91	0,99996	0,99995	0,99995
1,26	0,89617	0,89617	0,89617	2,59	0,99520	0,99520	0,99520	3,92	0,99996	0,99996	0,99996
1,27	0,89796	0,89796	0,89796	2,6	0,99534	0,99534	0,99534	3,93	0,99996	0,99996	0,99996
1,28	0,89973	0,89973	0,89973	2,61	0,99548	0,99547	0,99547	3,94	0,99996	0,99996	0,99996
1,29	0,90148	0,90147	0,90147	2,62	0,99561	0,99560	0,99560	3,95	0,99996	0,99996	0,99996
1,3	0,90320	0,90320	0,90320	2,63	0,99573	0,99573	0,99573	3,96	0,99996	0,99996	0,99996
1,31	0,90490	0,90490	0,90490	2,64	0,99586	0,99585	0,99585	3,97	0,99997	0,99996	0,99996
1,32	0,90658	0,90658	0,90658	2,65	0,99598	0,99598	0,99598	3,98	0,99997	0,99997	0,99997

Приложение 2

Извлечение фракций в концентрат отсадочной машины *Allmineral*  
для класса 2–75 мм

P <sub>p</sub>	Извлечение при средних плотностях фракций						P <sub>p</sub>	Извлечение при средних плотностях фракций					
	1,25	1,35	1,45	1,55	1,70	2,20		1,25	1,35	1,45	1,55	1,70	2,20
1,20	17,21	0,88	0,03	0,00	0,00	0,00	1,60	99,95	97,84	85,97	62,79	28,16	0,47
1,21	23,07	1,55	0,06	0,00	0,00	0,00	1,61	99,96	98,11	87,24	65,07	30,34	0,57
1,22	29,52	2,53	0,13	0,01	0,00	0,00	1,62	99,96	98,35	88,40	67,25	32,54	0,69
1,23	36,32	3,90	0,24	0,01	0,00	0,00	1,63	99,97	98,56	89,45	69,32	34,76	0,83
1,24	43,22	5,72	0,43	0,03	0,00	0,00	1,64	99,98	98,74	90,42	71,29	36,99	0,99
1,25	50,00	8,03	0,71	0,05	0,00	0,00	1,65	99,98	98,90	91,30	73,16	39,20	1,17
1,26	56,48	10,83	1,13	0,09	0,00	0,00	1,66	99,98	99,03	92,10	74,93	41,41	1,38
1,27	62,51	14,11	1,71	0,16	0,00	0,00	1,67	99,99	99,15	92,83	76,59	43,60	1,61
1,28	68,02	17,83	2,50	0,26	0,01	0,00	1,68	99,99	99,25	93,49	78,17	45,77	1,87
1,29	72,95	21,94	3,52	0,42	0,01	0,00	1,69	99,99	99,35	94,09	79,65	47,90	2,15
1,30	77,29	26,34	4,80	0,64	0,03	0,00	1,70	99,99	99,42	94,64	81,03	50,00	2,47
1,31	81,06	30,97	6,36	0,95	0,04	0,00	1,71	99,99	99,49	95,13	82,34	52,06	2,82
1,32	84,30	35,74	8,22	1,36	0,07	0,00	1,72	99,99	99,55	95,58	83,56	54,07	3,20
1,33	87,05	40,54	10,36	1,89	0,11	0,00	1,73	99,99	99,61	95,99	84,70	56,03	3,62
1,34	89,37	45,32	12,79	2,56	0,17	0,00	1,74	100,0	99,65	96,35	85,76	57,94	4,07
1,35	91,30	50,00	15,49	3,39	0,25	0,00	1,75	100,0	99,69	96,69	86,76	59,80	4,55
1,36	92,91	54,52	18,43	4,39	0,37	0,00	1,76	100,0	99,73	96,99	87,69	61,59	5,07
1,37	94,23	58,83	21,59	5,57	0,52	0,00	1,77	100,0	99,76	97,26	88,55	63,34	5,63
1,38	95,32	62,90	24,92	6,94	0,72	0,00	1,78	100,0	99,79	97,51	89,36	65,02	6,23
1,39	96,21	66,71	28,39	8,50	0,98	0,00	1,79	100,0	99,81	97,73	90,11	66,64	6,86
1,40	96,93	70,24	31,96	10,25	1,30	0,00	1,80	100,0	99,83	97,94	90,81	68,21	7,52
1,41	97,52	73,49	35,59	12,19	1,69	0,00	1,81	100,0	99,85	98,12	91,45	69,72	8,22
1,42	97,99	76,46	39,25	14,31	2,17	0,00	1,82	100,0	99,87	98,29	92,05	71,16	8,96
1,43	98,38	79,15	42,89	16,59	2,73	0,00	1,83	100,0	99,88	98,44	92,61	72,55	9,73
1,44	98,69	81,58	46,48	19,02	3,40	0,00	1,84	100,0	99,89	98,57	93,13	73,88	10,54
1,45	98,94	83,77	50,00	21,58	4,17	0,01	1,85	100,0	99,90	98,70	93,61	75,15	11,38
1,46	99,14	85,72	53,42	24,25	5,04	0,01	1,86	100,0	99,91	98,81	94,06	76,37	12,25
1,47	99,30	87,46	56,73	27,01	6,03	0,01	1,87	100,0	99,92	98,91	94,48	77,54	13,15
1,48	99,44	89,01	59,90	29,85	7,14	0,02	1,88	100,0	99,93	99,00	94,86	78,65	14,08
1,49	99,54	90,37	62,92	32,73	8,36	0,03	1,89	100,0	99,94	99,09	95,22	79,71	15,04
1,50	99,63	91,58	65,79	35,64	9,69	0,04	1,90	100,0	99,94	99,17	95,55	80,72	16,03
1,51	99,70	92,64	68,51	38,56	11,14	0,05	1,91	100,0	99,95	99,23	95,85	81,69	17,04
1,52	99,75	93,57	71,06	41,48	12,69	0,07	1,92	100,0	99,95	99,30	96,14	82,61	18,07
1,53	99,80	94,39	73,44	44,36	14,35	0,09	1,93	100,0	99,96	99,36	96,40	83,48	19,13
1,54	99,84	95,10	75,67	47,21	16,10	0,12	1,94	100,0	99,96	99,41	96,65	84,31	20,20
1,55	99,87	95,73	77,74	50,00	17,94	0,15	1,95	100,0	99,97	99,46	96,87	85,10	21,30
1,56	99,89	96,27	79,66	52,73	19,86	0,19	1,96	100,0	99,97	99,50	97,08	85,85	22,41
1,57	99,91	96,75	81,44	55,37	21,85	0,24	1,97	100,0	99,97	99,54	97,28	86,56	23,53
1,58	99,92	97,16	83,08	57,94	23,91	0,30	1,98	100,0	99,98	99,58	97,46	87,24	24,67
1,59	99,94	97,52	84,58	60,41	26,01	0,38	1,99	100,0	99,98	99,61	97,63	87,88	25,82

Приложение 3  
Извлечение фракций в отходы отсадочной машины *Allmineral*  
для класса 2–75 мм

P <sub>p</sub>	Извлечение при средних плотностях фракций						P <sub>p</sub>	Извлечение при средних плотностях фракций					
	1,25	1,35	1,45	1,55	1,70	2,20		1,25	1,35	1,45	1,55	1,70	2,20
1,20	82,79	99,12	99,97	100,0	100,0	100,0	1,60	0,05	2,16	14,03	37,21	71,84	99,53
1,21	76,93	98,45	99,94	100,0	100,0	100,0	1,61	0,04	1,89	12,76	34,93	69,66	99,43
1,22	70,48	97,47	99,87	99,99	100,0	100,0	1,62	0,04	1,65	11,60	32,75	67,46	99,31
1,23	63,68	96,10	99,76	99,99	100,0	100,0	1,63	0,03	1,44	10,55	30,68	65,24	99,17
1,24	56,78	94,28	99,57	99,97	100,0	100,0	1,64	0,02	1,26	9,58	28,71	63,01	99,01
1,25	50,00	91,97	99,29	99,95	100,0	100,0	1,65	0,02	1,10	8,70	26,84	60,80	98,83
1,26	43,52	89,17	98,87	99,91	100,0	100,0	1,66	0,02	0,97	7,90	25,07	58,59	98,62
1,27	37,49	85,89	98,29	99,84	100,0	100,0	1,67	0,01	0,85	7,17	23,41	56,40	98,39
1,28	31,98	82,17	97,50	99,74	99,99	100,0	1,68	0,01	0,75	6,51	21,83	54,23	98,13
1,29	27,05	78,06	96,48	99,58	99,99	100,0	1,69	0,01	0,65	5,91	20,35	52,10	97,85
1,30	22,71	73,66	95,20	99,36	99,97	100,0	1,70	0,01	0,58	5,36	18,97	50,00	97,53
1,31	18,94	69,03	93,64	99,05	99,96	100,0	1,71	0,01	0,51	4,87	17,66	47,94	97,18
1,32	15,70	64,26	91,78	98,64	99,93	100,0	1,72	0,01	0,45	4,42	16,44	45,93	96,80
1,33	12,95	59,46	89,64	98,11	99,89	100,0	1,73	0,01	0,39	4,01	15,30	43,97	96,38
1,34	10,63	54,68	87,21	97,44	99,83	100,0	1,74	0,00	0,35	3,65	14,24	42,06	95,93
1,35	8,70	50,00	84,51	96,61	99,75	100,0	1,75	0,00	0,31	3,31	13,24	40,20	95,45
1,36	7,09	45,48	81,57	95,61	99,63	100,0	1,76	0,00	0,27	3,01	12,31	38,41	94,93
1,37	5,77	41,17	78,41	94,43	99,48	100,0	1,77	0,00	0,24	2,74	11,45	36,66	94,37
1,38	4,68	37,10	75,08	93,06	99,28	100,0	1,78	0,00	0,21	2,49	10,64	34,98	93,77
1,39	3,79	33,29	71,61	91,50	99,02	100,0	1,79	0,00	0,19	2,27	9,89	33,36	93,14
1,40	3,07	29,76	68,04	89,75	98,70	100,0	1,80	0,00	0,17	2,06	9,19	31,79	92,48
1,41	2,48	26,51	64,41	87,81	98,31	100,0	1,81	0,00	0,15	1,88	8,55	30,28	91,78
1,42	2,01	23,54	60,75	85,69	97,83	100,0	1,82	0,00	0,13	1,71	7,95	28,84	91,04
1,43	1,62	20,85	57,11	83,41	97,27	100,0	1,83	0,00	0,12	1,56	7,39	27,45	90,27
1,44	1,31	18,42	53,52	80,98	96,60	100,0	1,84	0,00	0,11	1,43	6,87	26,12	89,46
1,45	1,06	16,23	50,00	78,42	95,83	99,99	1,85	0,00	0,10	1,30	6,39	24,85	88,62
1,46	0,86	14,28	46,58	75,75	94,96	99,99	1,86	0,00	0,09	1,19	5,94	23,63	87,75
1,47	0,70	12,54	43,27	72,99	93,97	99,99	1,87	0,00	0,08	1,09	5,52	22,46	86,85
1,48	0,56	10,99	40,10	70,15	92,86	99,98	1,88	0,00	0,07	1,00	5,14	21,35	85,92
1,49	0,46	9,63	37,08	67,27	91,64	99,97	1,89	0,00	0,06	0,91	4,78	20,29	84,96
1,50	0,37	8,42	34,21	64,36	90,31	99,96	1,90	0,00	0,06	0,83	4,45	19,28	83,97
1,51	0,30	7,36	31,49	61,44	88,86	99,95	1,91	0,00	0,05	0,77	4,15	18,31	82,96
1,52	0,25	6,43	28,94	58,52	87,31	99,93	1,92	0,00	0,05	0,70	3,86	17,39	81,93
1,53	0,20	5,61	26,56	55,64	85,65	99,91	1,93	0,00	0,04	0,64	3,60	16,52	80,87
1,54	0,16	4,90	24,33	52,79	83,90	99,88	1,94	0,00	0,04	0,59	3,35	15,69	79,80
1,55	0,13	4,27	22,26	50,00	82,06	99,85	1,95	0,00	0,03	0,54	3,13	14,90	78,70
1,56	0,11	3,73	20,34	47,27	80,14	99,81	1,96	0,00	0,03	0,50	2,92	14,15	77,59
1,57	0,09	3,25	18,56	44,63	78,15	99,76	1,97	0,00	0,03	0,46	2,72	13,44	76,47
1,58	0,08	2,84	16,92	42,06	76,09	99,70	1,98	0,00	0,02	0,42	2,54	12,76	75,33
1,59	0,06	2,48	15,42	39,59	73,99	99,62	1,99	0,00	0,02	0,39	2,37	12,12	74,18

## Приложение 4

Извлечение фракций в концентрат отсадочной машины *Batac*  
для класса 0,5–13 мм

P <sub>p</sub>	Извлечение при средних плотностях фракций						P <sub>p</sub>	Извлечение при средних плотностях фракций					
	1,25	1,35	1,45	1,55	1,70	2,20		1,25	1,35	1,45	1,55	1,70	2,20
1,20	6,56	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	1,60	100,0	99,88	94,72	68,77	19,29	0,00
1,21	12,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	1,61	100,0	99,91	95,58	71,90	22,04	0,01
1,22	19,60	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	1,62	100,0	99,93	96,31	74,80	24,92	0,01
1,23	28,93	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	1,63	100,0	99,95	96,92	77,47	27,92	0,02
1,24	39,33	0,62	0,00	0,00	0,00	0,00	1,64	100,0	99,96	97,43	79,91	31,00	0,03
1,25	50,00	1,32	0,01	0,00	0,00	0,00	1,65	100,0	99,97	97,86	82,13	34,15	0,04
1,26	60,16	2,55	0,02	0,00	0,00	0,00	1,66	100,0	99,97	98,22	84,14	37,34	0,05
1,27	69,24	4,50	0,04	0,00	0,00	0,00	1,67	100,0	99,98	98,52	85,96	40,54	0,07
1,28	76,93	7,35	0,10	0,00	0,00	0,00	1,68	100,0	99,98	98,77	87,59	43,73	0,10
1,29	83,15	11,19	0,22	0,00	0,00	0,00	1,69	100,0	99,99	98,97	89,05	46,89	0,14
1,30	87,98	16,05	0,45	0,00	0,00	0,00	1,70	100,0	99,99	99,15	90,35	50,00	0,18
1,31	91,59	21,84	0,85	0,01	0,00	0,00	1,71	100,0	99,99	99,29	91,51	53,04	0,24
1,32	94,23	28,39	1,49	0,03	0,00	0,00	1,72	100,0	99,99	99,41	92,54	56,00	0,31
1,33	96,10	35,44	2,45	0,06	0,00	0,00	1,73	100,0	100,0	99,51	93,45	58,86	0,40
1,34	97,39	42,74	3,83	0,12	0,00	0,00	1,74	100,0	100,0	99,59	94,25	61,61	0,51
1,35	98,28	50,00	5,71	0,22	0,00	0,00	1,75	100,0	100,0	99,66	94,96	64,25	0,64
1,36	98,87	57,00	8,13	0,40	0,00	0,00	1,76	100,0	100,0	99,71	95,59	66,77	0,80
1,37	99,27	63,54	11,14	0,68	0,00	0,00	1,77	100,0	100,0	99,76	96,14	69,16	0,99
1,38	99,53	69,49	14,73	1,10	0,01	0,00	1,78	100,0	100,0	99,80	96,62	71,43	1,21
1,39	99,70	74,78	18,86	1,70	0,02	0,00	1,79	100,0	100,0	99,83	97,04	73,57	1,47
1,40	99,81	79,39	23,47	2,52	0,03	0,00	1,80	100,0	100,0	99,86	97,41	75,58	1,77
1,41	99,88	83,33	28,46	3,62	0,05	0,00	1,81	100,0	100,0	99,88	97,73	77,47	2,11
1,42	99,92	86,64	33,73	5,04	0,09	0,00	1,82	100,0	100,0	99,90	98,01	79,24	2,50
1,43	99,95	89,38	39,15	6,80	0,16	0,00	1,83	100,0	100,0	99,92	98,26	80,89	2,93
1,44	99,97	91,62	44,61	8,92	0,26	0,00	1,84	100,0	100,0	99,93	98,48	82,43	3,42
1,45	99,98	93,43	50,00	11,41	0,40	0,00	1,85	100,0	100,0	99,94	98,67	83,85	3,96
1,46	99,99	94,88	55,23	14,27	0,60	0,00	1,86	100,0	100,0	99,95	98,83	85,18	4,56
1,47	99,99	96,03	60,21	17,48	0,89	0,00	1,87	100,0	100,0	99,96	98,97	86,40	5,21
1,48	99,99	96,93	64,89	21,00	1,27	0,00	1,88	100,0	100,0	99,96	99,10	87,53	5,92
1,49	100,0	97,64	69,23	24,78	1,77	0,00	1,89	100,0	100,0	99,97	99,21	88,57	6,70
1,50	100,0	98,19	73,19	28,78	2,41	0,00	1,90	100,0	100,0	99,97	99,31	89,54	7,53
1,51	100,0	98,61	76,78	32,94	3,21	0,00	1,91	100,0	100,0	99,98	99,39	90,42	8,43
1,52	100,0	98,94	80,00	37,20	4,18	0,00	1,92	100,0	100,0	99,98	99,46	91,23	9,38
1,53	100,0	99,19	82,85	41,50	5,34	0,00	1,93	100,0	100,0	99,98	99,53	91,98	10,39
1,54	100,0	99,38	85,36	45,78	6,71	0,00	1,94	100,0	100,0	99,99	99,58	92,66	11,47
1,55	100,0	99,53	87,56	50,00	8,29	0,00	1,95	100,0	100,0	99,99	99,63	93,29	12,59
1,56	100,0	99,64	89,46	54,11	10,08	0,00	1,96	100,0	100,0	99,99	99,68	93,86	13,78
1,57	100,0	99,73	91,10	58,06	12,09	0,00	1,97	100,0	100,0	99,99	99,71	94,39	15,01
1,58	100,0	99,79	92,50	61,84	14,30	0,00	1,98	100,0	100,0	99,99	99,75	94,87	16,29
1,59	100,0	99,84	93,70	65,42	16,71	0,00	1,99	100,0	100,0	99,99	99,78	95,31	17,62

Приложение 5

Извлечение фракций в отходы отсадочной машины *Batas*  
для класса 0,5–13 мм

P <sub>p</sub>	Извлечение при средних плотностях фракций						P <sub>p</sub>	Извлечение при средних плотностях фракций					
	1,25	1,35	1,45	1,55	1,70	2,20		1,25	1,35	1,45	1,55	1,70	2,20
1,20	93,44	99,99	100,0	100,0	100,0	100,0	1,60	0,00	0,12	5,28	31,23	80,71	100,0
1,21	87,97	99,97	100,0	100,0	100,0	100,0	1,61	0,00	0,09	4,42	28,10	77,96	99,99
1,22	80,40	99,91	100,0	100,0	100,0	100,0	1,62	0,00	0,07	3,69	25,20	75,08	99,99
1,23	71,07	99,74	100,0	100,0	100,0	100,0	1,63	0,00	0,05	3,08	22,53	72,08	99,98
1,24	60,67	99,38	100,0	100,0	100,0	100,0	1,64	0,00	0,04	2,57	20,09	69,00	99,97
1,25	50,00	98,68	99,99	100,0	100,0	100,0	1,65	0,00	0,03	2,14	17,87	65,85	99,96
1,26	39,84	97,45	99,98	100,0	100,0	100,0	1,66	0,00	0,03	1,78	15,86	62,66	99,95
1,27	30,76	95,50	99,96	100,0	100,0	100,0	1,67	0,00	0,02	1,48	14,04	59,46	99,93
1,28	23,07	92,65	99,90	100,0	100,0	100,0	1,68	0,00	0,02	1,23	12,41	56,27	99,90
1,29	16,85	88,81	99,78	100,0	100,0	100,0	1,69	0,00	0,01	1,03	10,95	53,11	99,86
1,30	12,02	83,95	99,55	100,0	100,0	100,0	1,70	0,00	0,01	0,85	9,65	50,00	99,82
1,31	8,41	78,16	99,15	99,99	100,0	100,0	1,71	0,00	0,01	0,71	8,49	46,96	99,76
1,32	5,77	71,61	98,51	99,97	100,0	100,0	1,72	0,00	0,01	0,59	7,46	44,00	99,69
1,33	3,90	64,56	97,55	99,94	100,0	100,0	1,73	0,00	0,00	0,49	6,55	41,14	99,60
1,34	2,61	57,26	96,17	99,88	100,0	100,0	1,74	0,00	0,00	0,41	5,75	38,39	99,49
1,35	1,72	50,00	94,29	99,78	100,0	100,0	1,75	0,00	0,00	0,34	5,04	35,75	99,36
1,36	1,13	43,00	91,87	99,60	100,0	100,0	1,76	0,00	0,00	0,29	4,41	33,23	99,20
1,37	0,73	36,46	88,86	99,32	100,0	100,0	1,77	0,00	0,00	0,24	3,86	30,84	99,01
1,38	0,47	30,51	85,27	98,90	99,99	100,0	1,78	0,00	0,00	0,20	3,38	28,57	98,79
1,39	0,30	25,22	81,14	98,30	99,98	100,0	1,79	0,00	0,00	0,17	2,96	26,43	98,53
1,40	0,19	20,61	76,53	97,48	99,97	100,0	1,80	0,00	0,00	0,14	2,59	24,42	98,23
1,41	0,12	16,67	71,54	96,38	99,95	100,0	1,81	0,00	0,00	0,12	2,27	22,53	97,89
1,42	0,08	13,36	66,27	94,96	99,91	100,0	1,82	0,00	0,00	0,10	1,99	20,76	97,50
1,43	0,05	10,62	60,85	93,20	99,84	100,0	1,83	0,00	0,00	0,08	1,74	19,11	97,07
1,44	0,03	8,38	55,39	91,08	99,74	100,0	1,84	0,00	0,00	0,07	1,52	17,57	96,58
1,45	0,02	6,57	50,00	88,59	99,60	100,0	1,85	0,00	0,00	0,06	1,33	16,15	96,04
1,46	0,01	5,12	44,77	85,73	99,40	100,0	1,86	0,00	0,00	0,05	1,17	14,82	95,44
1,47	0,01	3,97	39,79	82,52	99,11	100,0	1,87	0,00	0,00	0,04	1,03	13,60	94,79
1,48	0,01	3,07	35,11	79,00	98,73	100,0	1,88	0,00	0,00	0,04	0,90	12,47	94,08
1,49	0,00	2,36	30,77	75,22	98,23	100,0	1,89	0,00	0,00	0,03	0,79	11,43	93,30
1,50	0,00	1,81	26,81	71,22	97,59	100,0	1,90	0,00	0,00	0,03	0,69	10,46	92,47
1,51	0,00	1,39	23,22	67,06	96,79	100,0	1,91	0,00	0,00	0,02	0,61	9,58	91,57
1,52	0,00	1,06	20,00	62,80	95,82	100,0	1,92	0,00	0,00	0,02	0,54	8,77	90,62
1,53	0,00	0,81	17,15	58,50	94,66	100,0	1,93	0,00	0,00	0,02	0,47	8,02	89,61
1,54	0,00	0,62	14,64	54,22	93,29	100,0	1,94	0,00	0,00	0,01	0,42	7,34	88,53
1,55	0,00	0,47	12,44	50,00	91,71	100,0	1,95	0,00	0,00	0,01	0,37	6,71	87,41
1,56	0,00	0,36	10,54	45,89	89,92	100,0	1,96	0,00	0,00	0,01	0,32	6,14	86,22
1,57	0,00	0,27	8,90	41,94	87,91	100,0	1,97	0,00	0,00	0,01	0,29	5,61	84,99
1,58	0,00	0,21	7,50	38,16	85,70	100,0	1,98	0,00	0,00	0,01	0,25	5,13	83,71
1,59	0,00	0,16	6,30	34,58	83,29	100,0	1,99	0,00	0,00	0,01	0,22	4,69	82,38

## Приложение 6

Извлечение фракций в концентрат отсадочной машины *МО*  
для класса 13–100 мм

P <sub>p</sub>	Извлечение при <i>средних плотностях фракций</i>						P <sub>p</sub>	Извлечение при <i>средних плотностях фракций</i>					
	1,25	1,35	1,45	1,55	1,70	2,20		1,25	1,35	1,45	1,55	1,70	2,20
1,20	7,12	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	1,60	100,0	99,81	93,93	68,03	20,33	0,01
1,21	12,72	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	1,61	100,0	99,85	94,85	71,05	23,04	0,01
1,22	20,29	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	1,62	100,0	99,89	95,63	73,86	25,87	0,02
1,23	29,49	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	1,63	100,0	99,91	96,30	76,46	28,79	0,03
1,24	39,64	0,76	0,00	0,00	0,00	0,00	1,64	100,0	99,93	96,87	78,85	31,78	0,04
1,25	50,00	1,57	0,01	0,00	0,00	0,00	1,65	100,0	99,94	97,36	81,04	34,82	0,06
1,26	59,85	2,93	0,02	0,00	0,00	0,00	1,66	100,0	99,96	97,76	83,04	37,89	0,09
1,27	68,69	5,03	0,06	0,00	0,00	0,00	1,67	100,0	99,96	98,11	84,85	40,96	0,12
1,28	76,22	8,00	0,14	0,00	0,00	0,00	1,68	100,0	99,97	98,40	86,48	44,01	0,16
1,29	82,37	11,95	0,30	0,00	0,00	0,00	1,69	100,0	99,98	98,65	87,96	47,03	0,21
1,30	87,20	16,85	0,58	0,01	0,00	0,00	1,70	100,0	99,98	98,86	89,29	50,00	0,28
1,31	90,87	22,60	1,05	0,02	0,00	0,00	1,71	100,0	99,99	99,03	90,48	52,90	0,36
1,32	93,60	29,03	1,78	0,04	0,00	0,00	1,72	100,0	99,99	99,18	91,55	55,72	0,45
1,33	95,57	35,91	2,86	0,09	0,00	0,00	1,73	100,0	99,99	99,31	92,50	58,45	0,57
1,34	96,97	42,98	4,36	0,17	0,00	0,00	1,74	100,0	99,99	99,41	93,35	61,08	0,72
1,35	97,94	50,00	6,36	0,30	0,00	0,00	1,75	100,0	99,99	99,50	94,11	63,60	0,89
1,36	98,62	56,75	8,89	0,52	0,00	0,00	1,76	100,0	100,0	99,57	94,78	66,01	1,09
1,37	99,08	63,08	11,98	0,86	0,01	0,00	1,77	100,0	100,0	99,64	95,37	68,31	1,33
1,38	99,38	68,85	15,60	1,35	0,01	0,00	1,78	100,0	100,0	99,69	95,90	70,50	1,60
1,39	99,59	74,01	19,73	2,04	0,03	0,00	1,79	100,0	100,0	99,74	96,37	72,56	1,91
1,40	99,73	78,53	24,28	2,97	0,05	0,00	1,80	100,0	100,0	99,77	96,78	74,51	2,26
1,41	99,82	82,43	29,18	4,18	0,08	0,00	1,81	100,0	100,0	99,81	97,15	76,35	2,66
1,42	99,88	85,74	34,30	5,70	0,14	0,00	1,82	100,0	100,0	99,83	97,47	78,08	3,11
1,43	99,92	88,50	39,55	7,56	0,22	0,00	1,83	100,0	100,0	99,86	97,76	79,69	3,61
1,44	99,95	90,79	44,81	9,77	0,35	0,00	1,84	100,0	100,0	99,88	98,01	81,21	4,16
1,45	99,97	92,67	50,00	12,32	0,54	0,00	1,85	100,0	100,0	99,90	98,24	82,62	4,77
1,46	99,98	94,19	55,03	15,22	0,79	0,00	1,86	100,0	100,0	99,91	98,44	83,93	5,43
1,47	99,98	95,41	59,82	18,43	1,13	0,00	1,87	100,0	100,0	99,92	98,61	85,16	6,14
1,48	99,99	96,39	64,33	21,92	1,59	0,00	1,88	100,0	100,0	99,93	98,77	86,29	6,91
1,49	99,99	97,17	68,53	25,64	2,17	0,00	1,89	100,0	100,0	99,94	98,90	87,35	7,74
1,50	100,0	97,78	72,38	29,55	2,89	0,00	1,90	100,0	100,0	99,95	99,02	88,33	8,63
1,51	100,0	98,27	75,88	33,59	3,78	0,00	1,91	100,0	100,0	99,96	99,13	89,23	9,57
1,52	100,0	98,65	79,03	37,70	4,84	0,00	1,92	100,0	100,0	99,96	99,22	90,07	10,57
1,53	100,0	98,95	81,85	41,84	6,10	0,00	1,93	100,0	100,0	99,97	99,31	90,84	11,62
1,54	100,0	99,18	84,35	45,96	7,55	0,00	1,94	100,0	100,0	99,97	99,38	91,56	12,72
1,55	100,0	99,36	86,55	50,00	9,20	0,00	1,95	100,0	100,0	99,97	99,45	92,21	13,87
1,56	100,0	99,50	88,47	53,93	11,06	0,00	1,96	100,0	100,0	99,98	99,51	92,82	15,07
1,57	100,0	99,61	90,15	57,73	13,11	0,00	1,97	100,0	100,0	99,98	99,56	93,38	16,32
1,58	100,0	99,70	91,60	61,35	15,35	0,00	1,98	100,0	100,0	99,98	99,60	93,90	17,60
1,59	100,0	99,76	92,85	64,79	17,76	0,01	1,99	100,0	100,0	99,98	99,64	94,37	18,93



Приложение 7

Извлечение фракций в отходы отсадочной машины *МО*  
для класса 13–100 мм

P <sub>p</sub>	Извлечение при средних плотностях фракций						P <sub>p</sub>	Извлечение при средних плотностях фракций					
	1,25	1,35	1,45	1,55	1,70	2,20		1,25	1,35	1,45	1,55	1,70	2,20
1,20	92,88	99,99	100,0	100,0	100,0	100,0	1,60	0,00	0,19	6,07	31,97	79,67	99,99
1,21	87,28	99,96	100,0	100,0	100,0	100,0	1,61	0,00	0,15	5,15	28,95	76,96	99,99
1,22	79,71	99,87	100,0	100,0	100,0	100,0	1,62	0,00	0,11	4,37	26,14	74,13	99,98
1,23	70,51	99,67	100,0	100,0	100,0	100,0	1,63	0,00	0,09	3,70	23,54	71,21	99,97
1,24	60,36	99,24	100,0	100,0	100,0	100,0	1,64	0,00	0,07	3,13	21,15	68,22	99,96
1,25	50,00	98,43	99,99	100,0	100,0	100,0	1,65	0,00	0,06	2,64	18,96	65,18	99,94
1,26	40,15	97,07	99,98	100,0	100,0	100,0	1,66	0,00	0,04	2,24	16,96	62,11	99,91
1,27	31,31	94,97	99,94	100,0	100,0	100,0	1,67	0,00	0,04	1,89	15,15	59,04	99,88
1,28	23,78	92,00	99,86	100,0	100,0	100,0	1,68	0,00	0,03	1,60	13,52	55,99	99,84
1,29	17,63	88,05	99,70	100,0	100,0	100,0	1,69	0,00	0,02	1,35	12,04	52,97	99,79
1,30	12,80	83,15	99,42	99,99	100,0	100,0	1,70	0,00	0,02	1,14	10,71	50,00	99,72
1,31	9,13	77,40	98,95	99,98	100,0	100,0	1,71	0,00	0,01	0,97	9,52	47,10	99,64
1,32	6,40	70,97	98,22	99,96	100,0	100,0	1,72	0,00	0,01	0,82	8,45	44,28	99,55
1,33	4,43	64,09	97,14	99,91	100,0	100,0	1,73	0,00	0,01	0,69	7,50	41,55	99,43
1,34	3,03	57,02	95,64	99,83	100,0	100,0	1,74	0,00	0,01	0,59	6,65	38,92	99,28
1,35	2,06	50,00	93,64	99,70	100,0	100,0	1,75	0,00	0,01	0,50	5,89	36,40	99,11
1,36	1,38	43,25	91,11	99,48	100,0	100,0	1,76	0,00	0,00	0,43	5,22	33,99	98,91
1,37	0,92	36,92	88,02	99,14	99,99	100,0	1,77	0,00	0,00	0,36	4,63	31,69	98,67
1,38	0,62	31,15	84,40	98,65	99,99	100,0	1,78	0,00	0,00	0,31	4,10	29,50	98,40
1,39	0,41	25,99	80,27	97,96	99,97	100,0	1,79	0,00	0,00	0,26	3,63	27,44	98,09
1,40	0,27	21,47	75,72	97,03	99,95	100,0	1,80	0,00	0,00	0,23	3,22	25,49	97,74
1,41	0,18	17,57	70,82	95,82	99,92	100,0	1,81	0,00	0,00	0,19	2,85	23,65	97,34
1,42	0,12	14,26	65,70	94,30	99,86	100,0	1,82	0,00	0,00	0,17	2,53	21,92	96,89
1,43	0,08	11,50	60,45	92,44	99,78	100,0	1,83	0,00	0,00	0,14	2,24	20,31	96,39
1,44	0,05	9,21	55,19	90,23	99,65	100,0	1,84	0,00	0,00	0,12	1,99	18,79	95,84
1,45	0,03	7,33	50,00	87,68	99,46	100,0	1,85	0,00	0,00	0,10	1,76	17,38	95,23
1,46	0,02	5,81	44,97	84,78	99,21	100,0	1,86	0,00	0,00	0,09	1,56	16,07	94,57
1,47	0,02	4,59	40,18	81,57	98,87	100,0	1,87	0,00	0,00	0,08	1,39	14,84	93,86
1,48	0,01	3,61	35,67	78,08	98,41	100,0	1,88	0,00	0,00	0,07	1,23	13,71	93,09
1,49	0,01	2,83	31,47	74,36	97,83	100,0	1,89	0,00	0,00	0,06	1,10	12,65	92,26
1,50	0,00	2,22	27,62	70,45	97,11	100,0	1,90	0,00	0,00	0,05	0,98	11,67	91,37
1,51	0,00	1,73	24,12	66,41	96,22	100,0	1,91	0,00	0,00	0,04	0,87	10,77	90,43
1,52	0,00	1,35	20,97	62,30	95,16	100,0	1,92	0,00	0,00	0,04	0,78	9,93	89,43
1,53	0,00	1,05	18,15	58,16	93,90	100,0	1,93	0,00	0,00	0,03	0,69	9,16	88,38
1,54	0,00	0,82	15,65	54,04	92,45	100,0	1,94	0,00	0,00	0,03	0,62	8,44	87,28
1,55	0,00	0,64	13,45	50,00	90,80	100,0	1,95	0,00	0,00	0,03	0,55	7,79	86,13
1,56	0,00	0,50	11,53	46,07	88,94	100,0	1,96	0,00	0,00	0,02	0,49	7,18	84,93
1,57	0,00	0,39	9,85	42,27	86,89	100,0	1,97	0,00	0,00	0,02	0,44	6,62	83,68
1,58	0,00	0,30	8,40	38,65	84,65	100,0	1,98	0,00	0,00	0,02	0,40	6,10	82,40
1,59	0,00	0,24	7,15	35,21	82,24	99,99	1,99	0,00	0,00	0,02	0,36	5,63	81,07

Приложение 8

Извлечение фракций в концентрат отсадочной машины *МО*  
для класса 0,5–13 мм

P <sub>p</sub>	Извлечение при <i>средних плотностях фракций</i>						P <sub>p</sub>	Извлечение при <i>средних плотностях фракций</i>					
	1,25	1,35	1,45	1,55	1,70	2,20		1,25	1,35	1,45	1,55	1,70	2,20
1,20	14,50	0,40	0,01	0,00	0,00	0,00	1,60	99,98	98,63	88,04	63,91	26,41	0,23
1,21	20,52	0,79	0,02	0,00	0,00	0,00	1,61	99,99	98,83	89,26	66,36	28,73	0,29
1,22	27,38	1,45	0,04	0,00	0,00	0,00	1,62	99,99	98,99	90,36	68,68	31,09	0,36
1,23	34,80	2,46	0,08	0,00	0,00	0,00	1,63	99,99	99,14	91,35	70,89	33,48	0,45
1,24	42,45	3,91	0,17	0,01	0,00	0,00	1,64	99,99	99,26	92,25	72,96	35,88	0,56
1,25	50,00	5,89	0,31	0,01	0,00	0,00	1,65	99,99	99,36	93,05	74,92	38,28	0,68
1,26	57,21	8,43	0,55	0,03	0,00	0,00	1,66	100,0	99,45	93,77	76,76	40,67	0,83
1,27	63,87	11,56	0,92	0,05	0,00	0,00	1,67	100,0	99,53	94,42	78,49	43,05	0,99
1,28	69,87	15,26	1,46	0,10	0,00	0,00	1,68	100,0	99,59	94,99	80,10	45,40	1,18
1,29	75,15	19,47	2,22	0,17	0,00	0,00	1,69	100,0	99,65	95,51	81,60	47,72	1,40
1,30	79,71	24,11	3,22	0,29	0,01	0,00	1,70	100,0	99,70	95,98	83,00	50,00	1,65
1,31	83,58	29,07	4,52	0,46	0,01	0,00	1,71	100,0	99,74	96,39	84,30	52,23	1,92
1,32	86,80	34,25	6,14	0,71	0,02	0,00	1,72	100,0	99,77	96,77	85,51	54,41	2,23
1,33	89,46	39,54	8,10	1,06	0,03	0,00	1,73	100,0	99,80	97,10	86,63	56,53	2,58
1,34	91,64	44,82	10,40	1,54	0,06	0,00	1,74	100,0	99,83	97,40	87,67	58,59	2,95
1,35	93,39	50,00	13,04	2,16	0,10	0,00	1,75	100,0	99,85	97,66	88,63	60,59	3,37
1,36	94,80	55,00	15,99	2,94	0,15	0,00	1,76	100,0	99,87	97,90	89,52	62,52	3,82
1,37	95,92	59,75	19,23	3,92	0,23	0,00	1,77	100,0	99,89	98,11	90,34	64,38	4,31
1,38	96,80	64,20	22,72	5,09	0,34	0,00	1,78	100,0	99,90	98,30	91,10	66,17	4,84
1,39	97,50	68,33	26,41	6,48	0,50	0,00	1,79	100,0	99,91	98,47	91,80	67,89	5,41
1,40	98,05	72,12	30,25	8,09	0,70	0,00	1,80	100,0	99,92	98,62	92,44	69,55	6,02
1,41	98,48	75,57	34,19	9,93	0,96	0,00	1,81	100,0	99,93	98,76	93,03	71,13	6,67
1,42	98,82	78,67	38,18	11,98	1,30	0,00	1,82	100,0	99,94	98,88	93,57	72,65	7,36
1,43	99,08	81,44	42,17	14,25	1,71	0,00	1,83	100,0	99,95	98,99	94,08	74,09	8,10
1,44	99,28	83,91	46,13	16,70	2,22	0,00	1,84	100,0	99,95	99,09	94,54	75,48	8,87
1,45	99,44	86,08	50,00	19,34	2,83	0,00	1,85	100,0	99,96	99,18	94,96	76,79	9,68
1,46	99,56	87,99	53,76	22,13	3,56	0,00	1,86	100,0	99,96	99,25	95,35	78,04	10,53
1,47	99,66	89,66	57,39	25,04	4,40	0,00	1,87	100,0	99,97	99,32	95,71	79,23	11,41
1,48	99,73	91,11	60,85	28,07	5,37	0,00	1,88	100,0	99,97	99,39	96,04	80,36	12,34
1,49	99,79	92,37	64,13	31,17	6,47	0,01	1,89	100,0	99,97	99,44	96,34	81,44	13,29
1,50	99,83	93,46	67,23	34,32	7,70	0,01	1,90	100,0	99,98	99,50	96,62	82,45	14,28
1,51	99,87	94,40	70,14	37,50	9,06	0,02	1,91	100,0	99,98	99,54	96,88	83,42	15,30
1,52	99,90	95,21	72,85	40,67	10,56	0,02	1,92	100,0	99,98	99,58	97,11	84,33	16,35
1,53	99,92	95,90	75,36	43,83	12,18	0,03	1,93	100,0	99,98	99,62	97,33	85,20	17,43
1,54	99,94	96,50	77,69	46,94	13,92	0,04	1,94	100,0	99,99	99,65	97,53	86,01	18,53
1,55	99,95	97,01	79,82	50,00	15,77	0,06	1,95	100,0	99,99	99,68	97,71	86,78	19,66
1,56	99,96	97,44	81,79	52,98	17,73	0,08	1,96	100,0	99,99	99,71	97,88	87,51	20,81
1,57	99,97	97,81	83,58	55,87	19,78	0,10	1,97	100,0	99,99	99,74	98,04	88,20	21,97
1,58	99,97	98,13	85,21	58,66	21,92	0,14	1,98	100,0	99,99	99,76	98,18	88,85	23,16
1,59	99,98	98,40	86,70	61,34	24,14	0,18	1,99	100,0	99,99	99,78	98,31	89,47	24,36

Приложение 9

Извлечение фракций в отходы отсадочной машины *МО*  
для класса 0,5–13 мм

Р <sub>р</sub>	Извлечение при <i>средних плотностях фракций</i>						Р <sub>р</sub>	Извлечение при <i>средних плотностях фракций</i>					
	1,25	1,35	1,45	1,55	1,70	2,20		1,25	1,35	1,45	1,55	1,70	2,20
1,20	85,50	99,60	99,99	100,0	100,0	100,0	1,60	0,02	1,37	11,96	36,09	73,59	99,77
1,21	79,48	99,21	99,98	100,0	100,0	100,0	1,61	0,01	1,17	10,74	33,64	71,27	99,71
1,22	72,62	98,55	99,96	100,0	100,0	100,0	1,62	0,01	1,01	9,64	31,32	68,91	99,64
1,23	65,20	97,54	99,92	100,0	100,0	100,0	1,63	0,01	0,86	8,65	29,11	66,52	99,55
1,24	57,55	96,09	99,83	99,99	100,0	100,0	1,64	0,01	0,74	7,75	27,04	64,12	99,44
1,25	50,00	94,11	99,69	99,99	100,0	100,0	1,65	0,01	0,64	6,95	25,08	61,72	99,32
1,26	42,79	91,57	99,45	99,97	100,0	100,0	1,66	0,00	0,55	6,23	23,24	59,33	99,17
1,27	36,13	88,44	99,08	99,95	100,0	100,0	1,67	0,00	0,47	5,58	21,51	56,95	99,01
1,28	30,13	84,74	98,54	99,90	100,0	100,0	1,68	0,00	0,41	5,01	19,90	54,60	98,82
1,29	24,85	80,53	97,78	99,83	100,0	100,0	1,69	0,00	0,35	4,49	18,40	52,28	98,60
1,30	20,29	75,89	96,78	99,71	99,99	100,0	1,70	0,00	0,30	4,02	17,00	50,00	98,35
1,31	16,42	70,93	95,48	99,54	99,99	100,0	1,71	0,00	0,26	3,61	15,70	47,77	98,08
1,32	13,20	65,75	93,86	99,29	99,98	100,0	1,72	0,00	0,23	3,23	14,49	45,59	97,77
1,33	10,54	60,46	91,90	98,94	99,97	100,0	1,73	0,00	0,20	2,90	13,37	43,47	97,42
1,34	8,36	55,18	89,60	98,46	99,94	100,0	1,74	0,00	0,17	2,60	12,33	41,41	97,05
1,35	6,61	50,00	86,96	97,84	99,90	100,0	1,75	0,00	0,15	2,34	11,37	39,41	96,63
1,36	5,20	45,00	84,01	97,06	99,85	100,0	1,76	0,00	0,13	2,10	10,48	37,48	96,18
1,37	4,08	40,25	80,77	96,08	99,77	100,0	1,77	0,00	0,11	1,89	9,66	35,62	95,69
1,38	3,20	35,80	77,28	94,91	99,66	100,0	1,78	0,00	0,10	1,70	8,90	33,83	95,16
1,39	2,50	31,67	73,59	93,52	99,50	100,0	1,79	0,00	0,09	1,53	8,20	32,11	94,59
1,40	1,95	27,88	69,75	91,91	99,30	100,0	1,80	0,00	0,08	1,38	7,56	30,45	93,98
1,41	1,52	24,43	65,81	90,07	99,04	100,0	1,81	0,00	0,07	1,24	6,97	28,87	93,33
1,42	1,18	21,33	61,82	88,02	98,70	100,0	1,82	0,00	0,06	1,12	6,43	27,35	92,64
1,43	0,92	18,56	57,83	85,75	98,29	100,0	1,83	0,00	0,05	1,01	5,92	25,91	91,90
1,44	0,72	16,09	53,87	83,30	97,78	100,0	1,84	0,00	0,05	0,91	5,46	24,52	91,13
1,45	0,56	13,92	50,00	80,66	97,17	100,0	1,85	0,00	0,04	0,82	5,04	23,21	90,32
1,46	0,44	12,01	46,24	77,87	96,44	100,0	1,86	0,00	0,04	0,75	4,65	21,96	89,47
1,47	0,34	10,34	42,61	74,96	95,60	100,0	1,87	0,00	0,03	0,68	4,29	20,77	88,59
1,48	0,27	8,89	39,15	71,93	94,63	100,0	1,88	0,00	0,03	0,61	3,96	19,64	87,66
1,49	0,21	7,63	35,87	68,83	93,53	99,99	1,89	0,00	0,03	0,56	3,66	18,56	86,71
1,50	0,17	6,54	32,77	65,68	92,30	99,99	1,90	0,00	0,02	0,50	3,38	17,55	85,72
1,51	0,13	5,60	29,86	62,50	90,94	99,98	1,91	0,00	0,02	0,46	3,12	16,58	84,70
1,52	0,10	4,79	27,15	59,33	89,44	99,98	1,92	0,00	0,02	0,42	2,89	15,67	83,65
1,53	0,08	4,10	24,64	56,17	87,82	99,97	1,93	0,00	0,02	0,38	2,67	14,80	82,57
1,54	0,06	3,50	22,31	53,06	86,08	99,96	1,94	0,00	0,01	0,35	2,47	13,99	81,47
1,55	0,05	2,99	20,18	50,00	84,23	99,94	1,95	0,00	0,01	0,32	2,29	13,22	80,34
1,56	0,04	2,56	18,21	47,02	82,27	99,92	1,96	0,00	0,01	0,29	2,12	12,49	79,19
1,57	0,03	2,19	16,42	44,13	80,22	99,90	1,97	0,00	0,01	0,26	1,96	11,80	78,03
1,58	0,03	1,87	14,79	41,34	78,08	99,86	1,98	0,00	0,01	0,24	1,82	11,15	76,84
1,59	0,02	1,60	13,30	38,66	75,86	99,82	1,99	0,00	0,01	0,22	1,69	10,53	75,64

Приложение 10  
Извлечение фракций в концентрат тяжелосреднего сепаратора СКВП для  
класса 6–100 мм

P <sub>p</sub>	Извлечение при средних плотностях фракций						P <sub>p</sub>	Извлечение при средних плотностях фракций					
	1,25	1,35	1,45	1,55	1,70	2,20		1,25	1,35	1,45	1,55	1,70	2,20
1,20	16,75	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	1,60	100,0	99,99	98,78	77,34	6,68	0,00
1,21	22,19	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	1,61	100,0	99,99	99,15	81,46	8,97	0,00
1,22	28,42	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	1,62	100,0	100,0	99,42	85,05	11,77	0,00
1,23	35,29	1,17	0,00	0,00	0,00	0,00	1,63	100,0	100,0	99,60	88,11	15,09	0,00
1,24	42,56	1,96	0,00	0,00	0,00	0,00	1,64	100,0	100,0	99,73	90,67	18,93	0,00
1,25	50,00	3,13	0,01	0,00	0,00	0,00	1,65	100,0	100,0	99,82	92,78	23,28	0,00
1,26	57,34	4,80	0,02	0,00	0,00	0,00	1,66	100,0	100,0	99,88	94,48	28,07	0,00
1,27	64,33	7,09	0,05	0,00	0,00	0,00	1,67	100,0	100,0	99,93	95,84	33,25	0,00
1,28	70,79	10,08	0,10	0,00	0,00	0,00	1,68	100,0	100,0	99,95	96,91	38,70	0,00
1,29	76,57	13,85	0,19	0,00	0,00	0,00	1,69	100,0	100,0	99,97	97,72	44,32	0,00
1,30	81,59	18,41	0,35	0,00	0,00	0,00	1,70	100,0	100,0	99,98	98,35	50,00	0,00
1,31	85,83	23,72	0,62	0,00	0,00	0,00	1,71	100,0	100,0	99,99	98,81	55,62	0,00
1,32	89,31	29,71	1,05	0,00	0,00	0,00	1,72	100,0	100,0	99,99	99,16	61,07	0,00
1,33	92,10	36,21	1,71	0,01	0,00	0,00	1,73	100,0	100,0	100,0	99,41	66,26	0,00
1,34	94,27	43,04	2,69	0,01	0,00	0,00	1,74	100,0	100,0	100,0	99,59	71,11	0,00
1,35	95,92	50,00	4,08	0,02	0,00	0,00	1,75	100,0	100,0	100,0	99,72	75,56	0,00
1,36	97,15	56,87	5,97	0,05	0,00	0,00	1,76	100,0	100,0	100,0	99,81	79,57	0,00
1,37	98,05	63,46	8,44	0,10	0,00	0,00	1,77	100,0	100,0	100,0	99,87	83,13	0,00
1,38	98,68	69,59	11,58	0,18	0,00	0,00	1,78	100,0	100,0	100,0	99,91	86,23	0,00
1,39	99,13	75,15	15,41	0,33	0,00	0,00	1,79	100,0	100,0	100,0	99,94	88,90	0,00
1,40	99,43	80,06	19,94	0,57	0,00	0,00	1,80	100,0	100,0	100,0	99,96	91,15	0,00
1,41	99,64	84,28	25,12	0,94	0,00	0,00	1,81	100,0	100,0	100,0	99,98	93,02	0,00
1,42	99,77	87,83	30,85	1,51	0,00	0,00	1,82	100,0	100,0	100,0	99,98	94,56	0,00
1,43	99,86	90,74	37,02	2,34	0,00	0,00	1,83	100,0	100,0	100,0	99,99	95,81	0,00
1,44	99,91	93,08	43,46	3,51	0,00	0,00	1,84	100,0	100,0	100,0	99,99	96,81	0,00
1,45	99,95	94,91	50,00	5,09	0,00	0,00	1,85	100,0	100,0	100,0	100,0	97,59	0,00
1,46	99,97	96,32	56,46	7,16	0,00	0,00	1,86	100,0	100,0	100,0	100,0	98,20	0,00
1,47	99,98	97,38	62,68	9,79	0,01	0,00	1,87	100,0	100,0	100,0	100,0	98,67	0,00
1,48	99,99	98,17	68,51	13,03	0,02	0,00	1,88	100,0	100,0	100,0	100,0	99,03	0,00
1,49	99,99	98,73	73,86	16,89	0,04	0,00	1,89	100,0	100,0	100,0	100,0	99,29	0,00
1,50	100,0	99,14	78,64	21,36	0,07	0,00	1,90	100,0	100,0	100,0	100,0	99,49	0,01
1,51	100,0	99,42	82,83	26,38	0,13	0,00	1,91	100,0	100,0	100,0	100,0	99,64	0,01
1,52	100,0	99,62	86,41	31,88	0,24	0,00	1,92	100,0	100,0	100,0	100,0	99,75	0,02
1,53	100,0	99,75	89,41	37,75	0,40	0,00	1,93	100,0	100,0	100,0	100,0	99,82	0,03
1,54	100,0	99,84	91,87	43,83	0,65	0,00	1,94	100,0	100,0	100,0	100,0	99,88	0,05
1,55	100,0	99,90	93,86	50,00	1,03	0,00	1,95	100,0	100,0	100,0	100,0	99,92	0,08
1,56	100,0	99,94	95,42	56,10	1,59	0,00	1,96	100,0	100,0	100,0	100,0	99,94	0,13
1,57	100,0	99,96	96,64	61,98	2,37	0,00	1,97	100,0	100,0	100,0	100,0	99,96	0,21
1,58	100,0	99,98	97,57	67,55	3,44	0,00	1,98	100,0	100,0	100,0	100,0	99,97	0,32
1,59	100,0	99,99	98,26	72,69	4,85	0,00	1,99	100,0	100,0	100,0	100,0	99,98	0,48

Приложение 11  
Извлечение фракций в отходы тяжелосреднего сепаратора СКВП  
для класса 6–100 мм

P <sub>p</sub>	Извлечение при средних плотностях фракций						P <sub>p</sub>	Извлечение при средних плотностях фракций					
	1,25	1,35	1,45	1,55	1,70	2,20		1,25	1,35	1,45	1,55	1,70	2,20
1,20	83,25	99,81	100,0	100,0	100,0	100,0	1,60	0,00	0,01	1,22	22,66	93,32	100,0
1,21	77,81	99,63	100,0	100,0	100,0	100,0	1,61	0,00	0,01	0,85	18,54	91,03	100,0
1,22	71,58	99,33	100,0	100,0	100,0	100,0	1,62	0,00	0,00	0,58	14,95	88,23	100,0
1,23	64,71	98,83	100,0	100,0	100,0	100,0	1,63	0,00	0,00	0,40	11,89	84,91	100,0
1,24	57,44	98,04	100,0	100,0	100,0	100,0	1,64	0,00	0,00	0,27	9,33	81,07	100,0
1,25	50,00	96,87	99,99	100,0	100,0	100,0	1,65	0,00	0,00	0,18	7,22	76,72	100,0
1,26	42,66	95,20	99,98	100,0	100,0	100,0	1,66	0,00	0,00	0,12	5,52	71,93	100,0
1,27	35,67	92,91	99,95	100,0	100,0	100,0	1,67	0,00	0,00	0,07	4,16	66,75	100,0
1,28	29,21	89,92	99,90	100,0	100,0	100,0	1,68	0,00	0,00	0,05	3,09	61,30	100,0
1,29	23,43	86,15	99,81	100,0	100,0	100,0	1,69	0,00	0,00	0,03	2,28	55,68	100,0
1,30	18,41	81,59	99,65	100,0	100,0	100,0	1,70	0,00	0,00	0,02	1,65	50,00	100,0
1,31	14,17	76,28	99,38	100,0	100,0	100,0	1,71	0,00	0,00	0,01	1,19	44,38	100,0
1,32	10,69	70,29	98,95	100,0	100,0	100,0	1,72	0,00	0,00	0,01	0,84	38,93	100,0
1,33	7,90	63,79	98,29	99,99	100,0	100,0	1,73	0,00	0,00	0,00	0,59	33,74	100,0
1,34	5,73	56,96	97,31	99,99	100,0	100,0	1,74	0,00	0,00	0,00	0,41	28,89	100,0
1,35	4,08	50,00	95,92	99,98	100,0	100,0	1,75	0,00	0,00	0,00	0,28	24,44	100,0
1,36	2,85	43,13	94,03	99,95	100,0	100,0	1,76	0,00	0,00	0,00	0,19	20,43	100,0
1,37	1,95	36,54	91,56	99,90	100,0	100,0	1,77	0,00	0,00	0,00	0,13	16,87	100,0
1,38	1,32	30,41	88,42	99,82	100,0	100,0	1,78	0,00	0,00	0,00	0,09	13,77	100,0
1,39	0,87	24,85	84,59	99,67	100,0	100,0	1,79	0,00	0,00	0,00	0,06	11,10	100,0
1,40	0,57	19,94	80,06	99,43	100,0	100,0	1,80	0,00	0,00	0,00	0,04	8,85	100,0
1,41	0,36	15,72	74,88	99,06	100,0	100,0	1,81	0,00	0,00	0,00	0,02	6,98	100,0
1,42	0,23	12,17	69,15	98,49	100,0	100,0	1,82	0,00	0,00	0,00	0,02	5,44	100,0
1,43	0,14	9,26	62,98	97,66	100,0	100,0	1,83	0,00	0,00	0,00	0,01	4,19	100,0
1,44	0,09	6,92	56,54	96,49	100,0	100,0	1,84	0,00	0,00	0,00	0,01	3,19	100,0
1,45	0,05	5,09	50,00	94,91	100,0	100,0	1,85	0,00	0,00	0,00	0,00	2,41	100,0
1,46	0,03	3,68	43,54	92,84	100,0	100,0	1,86	0,00	0,00	0,00	0,00	1,80	100,0
1,47	0,02	2,62	37,32	90,21	99,99	100,0	1,87	0,00	0,00	0,00	0,00	1,33	100,0
1,48	0,01	1,83	31,49	86,97	99,98	100,0	1,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,97	100,0
1,49	0,01	1,27	26,14	83,11	99,96	100,0	1,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,71	100,0
1,50	0,00	0,86	21,36	78,64	99,93	100,0	1,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51	99,99
1,51	0,00	0,58	17,17	73,62	99,87	100,0	1,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,36	99,99
1,52	0,00	0,38	13,59	68,12	99,76	100,0	1,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	99,98
1,53	0,00	0,25	10,59	62,25	99,60	100,0	1,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	99,97
1,54	0,00	0,16	8,13	56,17	99,35	100,0	1,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	99,95
1,55	0,00	0,10	6,14	50,00	98,97	100,0	1,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	99,92
1,56	0,00	0,06	4,58	43,90	98,41	100,0	1,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	99,87
1,57	0,00	0,04	3,36	38,02	97,63	100,0	1,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	99,79
1,58	0,00	0,02	2,43	32,45	96,56	100,0	1,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	99,68
1,59	0,00	0,01	1,74	27,31	95,15	100,0	1,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	99,52

Приложение 12  
Извлечение фракций в концентрат тяжелосреднего сепаратора СКВП для  
класса 13–100(150) мм

P <sub>p</sub>	Извлечение при средних плотностях фракций						P <sub>p</sub>	Извлечение при средних плотностях фракций					
	1,25	1,35	1,45	1,55	1,70	2,20		1,25	1,35	1,45	1,55	1,70	2,20
1,20	18,72	0,39	0,00	0,00	0,00	0,00	1,60	100,0	99,99	98,93	77,85	6,25	0,00
1,21	23,96	0,66	0,00	0,00	0,00	0,00	1,61	100,0	100,0	99,28	82,05	8,44	0,00
1,22	29,85	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	1,62	100,0	100,0	99,52	85,69	11,14	0,00
1,23	36,28	1,76	0,01	0,00	0,00	0,00	1,63	100,0	100,0	99,69	88,78	14,39	0,00
1,24	43,06	2,72	0,01	0,00	0,00	0,00	1,64	100,0	100,0	99,80	91,34	18,19	0,00
1,25	50,00	4,08	0,02	0,00	0,00	0,00	1,65	100,0	100,0	99,87	93,43	22,54	0,00
1,26	56,89	5,92	0,05	0,00	0,00	0,00	1,66	100,0	100,0	99,92	95,09	27,38	0,00
1,27	63,52	8,34	0,09	0,00	0,00	0,00	1,67	100,0	100,0	99,95	96,39	32,65	0,00
1,28	69,73	11,40	0,17	0,00	0,00	0,00	1,68	100,0	100,0	99,97	97,39	38,26	0,00
1,29	75,37	15,17	0,30	0,00	0,00	0,00	1,69	100,0	100,0	99,98	98,14	44,08	0,00
1,30	80,36	19,64	0,52	0,00	0,00	0,00	1,70	100,0	100,0	99,99	98,70	50,00	0,00
1,31	84,65	24,79	0,86	0,00	0,00	0,00	1,71	100,0	100,0	99,99	99,10	55,88	0,00
1,32	88,24	30,54	1,37	0,00	0,00	0,00	1,72	100,0	100,0	100,0	99,39	61,59	0,00
1,33	91,18	36,77	2,13	0,01	0,00	0,00	1,73	100,0	100,0	100,0	99,59	67,03	0,00
1,34	93,51	43,32	3,20	0,02	0,00	0,00	1,74	100,0	100,0	100,0	99,73	72,10	0,00
1,35	95,32	50,00	4,68	0,04	0,00	0,00	1,75	100,0	100,0	100,0	99,82	76,72	0,00
1,36	96,70	56,63	6,63	0,08	0,00	0,00	1,76	100,0	100,0	100,0	99,89	80,86	0,00
1,37	97,71	63,04	9,15	0,14	0,00	0,00	1,77	100,0	100,0	100,0	99,93	84,50	0,00
1,38	98,45	69,06	12,28	0,24	0,00	0,00	1,78	100,0	100,0	100,0	99,96	87,62	0,00
1,39	98,96	74,57	16,07	0,41	0,00	0,00	1,79	100,0	100,0	100,0	99,97	90,26	0,00
1,40	99,32	79,48	20,52	0,68	0,00	0,00	1,80	100,0	100,0	100,0	99,98	92,45	0,00
1,41	99,57	83,75	25,59	1,08	0,00	0,00	1,81	100,0	100,0	100,0	99,99	94,23	0,00
1,42	99,73	87,37	31,20	1,68	0,00	0,00	1,82	100,0	100,0	100,0	99,99	95,66	0,00
1,43	99,83	90,37	37,23	2,53	0,00	0,00	1,83	100,0	100,0	100,0	100,0	96,78	0,00
1,44	99,90	92,79	43,56	3,71	0,00	0,00	1,84	100,0	100,0	100,0	100,0	97,64	0,00
1,45	99,94	94,70	50,00	5,30	0,00	0,00	1,85	100,0	100,0	100,0	100,0	98,30	0,00
1,46	99,96	96,18	56,40	7,35	0,01	0,00	1,86	100,0	100,0	100,0	100,0	98,79	0,00
1,47	99,98	97,30	62,59	9,95	0,01	0,00	1,87	100,0	100,0	100,0	100,0	99,15	0,00
1,48	99,99	98,12	68,43	13,14	0,02	0,00	1,88	100,0	100,0	100,0	100,0	99,41	0,00
1,49	99,99	98,72	73,81	16,95	0,04	0,00	1,89	100,0	100,0	100,0	100,0	99,60	0,00
1,50	100,0	99,14	78,64	21,36	0,07	0,00	1,90	100,0	100,0	100,0	100,0	99,73	0,00
1,51	100,0	99,43	82,88	26,33	0,13	0,00	1,91	100,0	100,0	100,0	100,0	99,82	0,00
1,52	100,0	99,63	86,52	31,81	0,23	0,00	1,92	100,0	100,0	100,0	100,0	99,88	0,01
1,53	100,0	99,77	89,57	37,66	0,38	0,00	1,93	100,0	100,0	100,0	100,0	99,92	0,01
1,54	100,0	99,85	92,07	43,78	0,61	0,00	1,94	100,0	100,0	100,0	100,0	99,95	0,02
1,55	100,0	99,91	94,07	50,00	0,96	0,00	1,95	100,0	100,0	100,0	100,0	99,97	0,03
1,56	100,0	99,95	95,64	56,18	1,47	0,00	1,96	100,0	100,0	100,0	100,0	99,98	0,05
1,57	100,0	99,97	96,86	62,17	2,20	0,00	1,97	100,0	100,0	100,0	100,0	99,99	0,09
1,58	100,0	99,98	97,77	67,85	3,19	0,00	1,98	100,0	100,0	100,0	100,0	99,99	0,14
1,59	100,0	99,99	98,44	73,10	4,52	0,00	1,99	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	0,22

Приложение 13  
Извлечение фракций в отходы тяжелосреднего сепаратора СКВП  
для класса 13–100(150) мм

ρ <sub>p</sub>	Извлечение при средних плотностях фракций						ρ <sub>p</sub>	Извлечение при средних плотностях фракций					
	1,25	1,35	1,45	1,55	1,70	2,20		1,25	1,35	1,45	1,55	1,70	2,20
1,20	81,28	99,61	100,0	100,0	100,0	100,0	1,60	0,00	0,01	1,07	22,15	93,75	100,0
1,21	76,04	99,34	100,0	100,0	100,0	100,0	1,61	0,00	0,00	0,72	17,95	91,56	100,0
1,22	70,15	98,90	100,0	100,0	100,0	100,0	1,62	0,00	0,00	0,48	14,31	88,86	100,0
1,23	63,72	98,24	99,99	100,0	100,0	100,0	1,63	0,00	0,00	0,31	11,22	85,61	100,0
1,24	56,94	97,28	99,99	100,0	100,0	100,0	1,64	0,00	0,00	0,20	8,66	81,81	100,0
1,25	50,00	95,92	99,98	100,0	100,0	100,0	1,65	0,00	0,00	0,13	6,57	77,46	100,0
1,26	43,11	94,08	99,95	100,0	100,0	100,0	1,66	0,00	0,00	0,08	4,91	72,62	100,0
1,27	36,48	91,66	99,91	100,0	100,0	100,0	1,67	0,00	0,00	0,05	3,61	67,35	100,0
1,28	30,27	88,60	99,83	100,0	100,0	100,0	1,68	0,00	0,00	0,03	2,61	61,74	100,0
1,29	24,63	84,83	99,70	100,0	100,0	100,0	1,69	0,00	0,00	0,02	1,86	55,92	100,0
1,30	19,64	80,36	99,48	100,0	100,0	100,0	1,70	0,00	0,00	0,01	1,30	50,00	100,0
1,31	15,35	75,21	99,14	100,0	100,0	100,0	1,71	0,00	0,00	0,01	0,90	44,12	100,0
1,32	11,76	69,46	98,63	100,0	100,0	100,0	1,72	0,00	0,00	0,00	0,61	38,41	100,0
1,33	8,82	63,23	97,87	99,99	100,0	100,0	1,73	0,00	0,00	0,00	0,41	32,97	100,0
1,34	6,49	56,68	96,80	99,98	100,0	100,0	1,74	0,00	0,00	0,00	0,27	27,90	100,0
1,35	4,68	50,00	95,32	99,96	100,0	100,0	1,75	0,00	0,00	0,00	0,18	23,28	100,0
1,36	3,30	43,37	93,37	99,92	100,0	100,0	1,76	0,00	0,00	0,00	0,11	19,14	100,0
1,37	2,29	36,96	90,85	99,86	100,0	100,0	1,77	0,00	0,00	0,00	0,07	15,50	100,0
1,38	1,55	30,94	87,72	99,76	100,0	100,0	1,78	0,00	0,00	0,00	0,04	12,38	100,0
1,39	1,04	25,43	83,93	99,59	100,0	100,0	1,79	0,00	0,00	0,00	0,03	9,74	100,0
1,40	0,68	20,52	79,48	99,32	100,0	100,0	1,80	0,00	0,00	0,00	0,02	7,55	100,0
1,41	0,43	16,25	74,41	98,92	100,0	100,0	1,81	0,00	0,00	0,00	0,01	5,77	100,0
1,42	0,27	12,63	68,80	98,32	100,0	100,0	1,82	0,00	0,00	0,00	0,01	4,34	100,0
1,43	0,17	9,63	62,77	97,47	100,0	100,0	1,83	0,00	0,00	0,00	0,00	3,22	100,0
1,44	0,10	7,21	56,44	96,29	100,0	100,0	1,84	0,00	0,00	0,00	0,00	2,36	100,0
1,45	0,06	5,30	50,00	94,70	100,0	100,0	1,85	0,00	0,00	0,00	0,00	1,70	100,0
1,46	0,04	3,82	43,60	92,65	99,99	100,0	1,86	0,00	0,00	0,00	0,00	1,21	100,0
1,47	0,02	2,70	37,41	90,05	99,99	100,0	1,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,85	100,0
1,48	0,01	1,88	31,57	86,86	99,98	100,0	1,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,59	100,0
1,49	0,01	1,28	26,19	83,05	99,96	100,0	1,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	100,0
1,50	0,00	0,86	21,36	78,64	99,93	100,0	1,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	100,0
1,51	0,00	0,57	17,12	73,67	99,87	100,0	1,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	100,0
1,52	0,00	0,37	13,48	68,19	99,77	100,0	1,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	99,99
1,53	0,00	0,23	10,43	62,34	99,62	100,0	1,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	99,99
1,54	0,00	0,15	7,93	56,22	99,39	100,0	1,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	99,98
1,55	0,00	0,09	5,93	50,00	99,04	100,0	1,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	99,97
1,56	0,00	0,05	4,36	43,82	98,53	100,0	1,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	99,95
1,57	0,00	0,03	3,14	37,83	97,80	100,0	1,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	99,91
1,58	0,00	0,02	2,23	32,15	96,81	100,0	1,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	99,86
1,59	0,00	0,01	1,56	26,90	95,48	100,0	1,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,78

## Приложение 14

Извлечение фракций в концентрат тяжелосреднего  
двухпродуктового гидроциклона

ρ <sub>p</sub>	Извлечение при средних плотностях фракций						ρ <sub>p</sub>	Извлечение при средних плотностях фракций					
	1,25	1,35	1,45	1,55	1,70	2,20		1,25	1,35	1,45	1,55	1,70	2,20
1,20	5,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,60	100,0	100,0	99,89	84,68	2,04	0,00
1,21	10,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,61	100,0	100,0	99,94	88,80	3,41	0,00
1,22	17,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,62	100,0	100,0	99,97	92,02	5,40	0,00
1,23	26,88	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	1,63	100,0	100,0	99,98	94,44	8,17	0,00
1,24	38,05	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	1,64	100,0	100,0	99,99	96,22	11,82	0,00
1,25	50,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	1,65	100,0	100,0	100,0	97,48	16,40	0,00
1,26	61,64	0,39	0,00	0,00	0,00	0,00	1,66	100,0	100,0	100,0	98,36	21,89	0,00
1,27	72,05	0,97	0,00	0,00	0,00	0,00	1,67	100,0	100,0	100,0	98,95	28,20	0,00
1,28	80,66	2,17	0,00	0,00	0,00	0,00	1,68	100,0	100,0	100,0	99,34	35,15	0,00
1,29	87,27	4,37	0,00	0,00	0,00	0,00	1,69	100,0	100,0	100,0	99,59	42,50	0,00
1,30	92,02	7,98	0,00	0,00	0,00	0,00	1,70	100,0	100,0	100,0	99,75	50,00	0,00
1,31	95,22	13,33	0,01	0,00	0,00	0,00	1,71	100,0	100,0	100,0	99,85	57,38	0,00
1,32	97,26	20,52	0,02	0,00	0,00	0,00	1,72	100,0	100,0	100,0	99,91	64,39	0,00
1,33	98,49	29,39	0,06	0,00	0,00	0,00	1,73	100,0	100,0	100,0	99,95	70,84	0,00
1,34	99,20	39,44	0,16	0,00	0,00	0,00	1,74	100,0	100,0	100,0	99,97	76,60	0,00
1,35	99,59	50,00	0,41	0,00	0,00	0,00	1,75	100,0	100,0	100,0	99,98	81,59	0,00
1,36	99,80	60,32	0,93	0,00	0,00	0,00	1,76	100,0	100,0	100,0	99,99	85,80	0,00
1,37	99,90	69,75	1,93	0,00	0,00	0,00	1,77	100,0	100,0	100,0	100,0	89,25	0,00
1,38	99,96	77,85	3,67	0,00	0,00	0,00	1,78	100,0	100,0	100,0	100,0	92,02	0,00
1,39	99,98	84,40	6,47	0,00	0,00	0,00	1,79	100,0	100,0	100,0	100,0	94,18	0,00
1,40	99,99	89,44	10,56	0,01	0,00	0,00	1,80	100,0	100,0	100,0	100,0	95,83	0,00
1,41	100,0	93,10	16,13	0,03	0,00	0,00	1,81	100,0	100,0	100,0	100,0	97,06	0,00
1,42	100,0	95,65	23,16	0,07	0,00	0,00	1,82	100,0	100,0	100,0	100,0	97,96	0,00
1,43	100,0	97,35	31,42	0,18	0,00	0,00	1,83	100,0	100,0	100,0	100,0	98,61	0,00
1,44	100,0	98,44	40,54	0,42	0,00	0,00	1,84	100,0	100,0	100,0	100,0	99,06	0,00
1,45	100,0	99,11	50,00	0,89	0,00	0,00	1,85	100,0	100,0	100,0	100,0	99,38	0,00
1,46	100,0	99,50	59,27	1,75	0,00	0,00	1,86	100,0	100,0	100,0	100,0	99,59	0,00
1,47	100,0	99,73	67,86	3,18	0,00	0,00	1,87	100,0	100,0	100,0	100,0	99,74	0,00
1,48	100,0	99,86	75,45	5,40	0,00	0,00	1,88	100,0	100,0	100,0	100,0	99,83	0,00
1,49	100,0	99,93	81,83	8,63	0,00	0,00	1,89	100,0	100,0	100,0	100,0	99,89	0,00
1,50	100,0	99,96	86,97	13,03	0,00	0,00	1,90	100,0	100,0	100,0	100,0	99,93	0,00
1,51	100,0	99,98	90,93	18,64	0,00	0,00	1,91	100,0	100,0	100,0	100,0	99,96	0,00
1,52	100,0	99,99	93,87	25,41	0,00	0,00	1,92	100,0	100,0	100,0	100,0	99,98	0,00
1,53	100,0	100,0	95,97	33,11	0,01	0,00	1,93	100,0	100,0	100,0	100,0	99,99	0,00
1,54	100,0	100,0	97,42	41,44	0,03	0,00	1,94	100,0	100,0	100,0	100,0	99,99	0,00
1,55	100,0	100,0	98,39	50,00	0,07	0,00	1,95	100,0	100,0	100,0	100,0	99,99	0,01
1,56	100,0	100,0	99,02	58,40	0,15	0,00	1,96	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	0,01
1,57	100,0	100,0	99,42	66,30	0,31	0,00	1,97	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	0,02
1,58	100,0	100,0	99,66	73,40	0,62	0,00	1,98	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	0,04
1,59	100,0	100,0	99,81	79,55	1,16	0,00	1,99	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	0,08



## Приложение 15

Извлечение фракций в отходы тяжелосреднего  
двухпродуктового гидроциклона

P <sub>p</sub>	Извлечение при средних плотностях фракций						P <sub>p</sub>	Извлечение при средних плотностях фракций					
	1,25	1,35	1,45	1,55	1,70	2,20		1,25	1,35	1,45	1,55	1,70	2,20
1,20	94,60	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	1,60	0,00	0,00	0,11	15,32	97,96	100,0
1,21	89,75	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	1,61	0,00	0,00	0,06	11,20	96,59	100,0
1,22	82,57	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	1,62	0,00	0,00	0,03	7,98	94,60	100,0
1,23	73,12	99,99	100,0	100,0	100,0	100,0	1,63	0,00	0,00	0,02	5,56	91,83	100,0
1,24	61,95	99,96	100,0	100,0	100,0	100,0	1,64	0,00	0,00	0,01	3,78	88,18	100,0
1,25	50,00	99,87	100,0	100,0	100,0	100,0	1,65	0,00	0,00	0,00	2,52	83,60	100,0
1,26	38,36	99,61	100,0	100,0	100,0	100,0	1,66	0,00	0,00	0,00	1,64	78,11	100,0
1,27	27,95	99,03	100,0	100,0	100,0	100,0	1,67	0,00	0,00	0,00	1,05	71,80	100,0
1,28	19,34	97,83	100,0	100,0	100,0	100,0	1,68	0,00	0,00	0,00	0,66	64,85	100,0
1,29	12,73	95,63	100,0	100,0	100,0	100,0	1,69	0,00	0,00	0,00	0,41	57,50	100,0
1,30	7,98	92,02	100,0	100,0	100,0	100,0	1,70	0,00	0,00	0,00	0,25	50,00	100,0
1,31	4,78	86,67	99,99	100,0	100,0	100,0	1,71	0,00	0,00	0,00	0,15	42,62	100,0
1,32	2,74	79,48	99,98	100,0	100,0	100,0	1,72	0,00	0,00	0,00	0,09	35,61	100,0
1,33	1,51	70,61	99,94	100,0	100,0	100,0	1,73	0,00	0,00	0,00	0,05	29,16	100,0
1,34	0,80	60,56	99,84	100,0	100,0	100,0	1,74	0,00	0,00	0,00	0,03	23,40	100,0
1,35	0,41	50,00	99,59	100,0	100,0	100,0	1,75	0,00	0,00	0,00	0,02	18,41	100,0
1,36	0,20	39,68	99,07	100,0	100,0	100,0	1,76	0,00	0,00	0,00	0,01	14,20	100,0
1,37	0,10	30,25	98,07	100,0	100,0	100,0	1,77	0,00	0,00	0,00	0,00	10,75	100,0
1,38	0,04	22,15	96,33	100,0	100,0	100,0	1,78	0,00	0,00	0,00	0,00	7,98	100,0
1,39	0,02	15,60	93,53	100,0	100,0	100,0	1,79	0,00	0,00	0,00	0,00	5,82	100,0
1,40	0,01	10,56	89,44	99,99	100,0	100,0	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	4,17	100,0
1,41	0,00	6,90	83,87	99,97	100,0	100,0	1,81	0,00	0,00	0,00	0,00	2,94	100,0
1,42	0,00	4,35	76,84	99,93	100,0	100,0	1,82	0,00	0,00	0,00	0,00	2,04	100,0
1,43	0,00	2,65	68,58	99,82	100,0	100,0	1,83	0,00	0,00	0,00	0,00	1,39	100,0
1,44	0,00	1,56	59,46	99,58	100,0	100,0	1,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,94	100,0
1,45	0,00	0,89	50,00	99,11	100,0	100,0	1,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62	100,0
1,46	0,00	0,50	40,73	98,25	100,0	100,0	1,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	100,0
1,47	0,00	0,27	32,14	96,82	100,0	100,0	1,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	100,0
1,48	0,00	0,14	24,55	94,60	100,0	100,0	1,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	100,0
1,49	0,00	0,07	18,17	91,37	100,0	100,0	1,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	100,0
1,50	0,00	0,04	13,03	86,97	100,0	100,0	1,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	100,0
1,51	0,00	0,02	9,07	81,36	100,0	100,0	1,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	100,0
1,52	0,00	0,01	6,13	74,59	100,0	100,0	1,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	100,0
1,53	0,00	0,00	4,03	66,89	99,99	100,0	1,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	100,0
1,54	0,00	0,00	2,58	58,56	99,97	100,0	1,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	100,0
1,55	0,00	0,00	1,61	50,00	99,93	100,0	1,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	99,99
1,56	0,00	0,00	0,98	41,60	99,85	100,0	1,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,99
1,57	0,00	0,00	0,58	33,70	99,69	100,0	1,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,98
1,58	0,00	0,00	0,34	26,60	99,38	100,0	1,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,96
1,59	0,00	0,00	0,19	20,45	98,84	100,0	1,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,92

## Список литературы

## Основная литература

1. Современная техника и технология обогащения российских углей: каталог-справочник / сост. Л.А. Антипенко [и др.]; под общ. ред. В.М. Щадова; Федер. Агенство по энергетике. – Кемерово, 2008. – 310 с.

2. Федотов К.В. Проектирование обогатительных фабрик: учебн. для вузов. / К.В. Федотов Н.И. Никольская. – М.: Горная книга, 2012. – 536 с.

## Дополнительная литература:

3. Артюшин С.П. Проектирование углеобогатительных фабрик: изд. 2-е, перераб. и доп. / С.П. Артюшин. – М.: Недра, 1974. – 200 с.

4. Петрова А.В. Вычислительная техника в инженерных и экономических расчетах: Учебн. для вузов. / А.В.Петрова. – М.: Высшая школа, 1984. – 365 с.

5. Вылегжанин В. Н. Физические и геомеханические основы оптимизации угольных шахт. / В.Н. Вылегжанин. – Новосибирск, Наука, 1981. – 210 с.

6. Заварыкин В.М., Численные методы: Учеб. пособие для студентов физ.-мат. пед. ин-тов. / В.М. Заварыкин, В.Г. Житомирский, М.П. Лапчик. – М.: Просвещение, 1990. – 176 с.

7. Мак-Кракен Д., Дорн У. Численные методы и программирование на Фортране. / Д. Мак-Кракен, У. Дорн. – М.: Мир, 1977. – 584 с.

8. [http://www.webmath.ru/poleznoe/table\\_laplasa.php](http://www.webmath.ru/poleznoe/table_laplasa.php).

9. <http://natalymath.narod.ru/laplas.html> .

## Оглавление

1. Моделирование количественного состава угольной шихты	3
2. Математическое моделирование процессов разделения минеральных частиц в гравитационных полях	5
2.1. Численные методы определения интеграла Гаусса	5
2.1.1. Вычисление из степенного ряда	6
2.1.2. Метод прямоугольников	8
2.1.3. Метод трапеций	9
2.1.4. Метод Симпсона	10
2.1.5. Метод Гаусса	11
2.1.6. Метод Вылегжанина	11
2.1.7. Метод Монте-Карло	14
2.1.8. Сравнение точности и скорости вычисления интеграла	15
2.2. Способы определения эффективности разделения материала в гравитационных аппаратах	19
3. Техничко-экономическое обоснование обогащения разубоженных углей	28
Приложение 1. Значения интеграла Гаусса	32
Приложение 2. Извлечение фракций в концентрат отсадочной машины <i>Allmineral</i> для класса 2–75 мм	36
Приложение 3. Извлечение фракций в отходы отсадочной машины <i>Allmineral</i> для класса 2–75 мм	37
Приложение 4. Извлечение фракций в концентрат отсадочной машины <i>Batac</i> для класса 0,5–13 мм	38
Приложение 5. Извлечение фракций в отходы отсадочной машины <i>Batac</i> для класса 0,5–13 мм	39
Приложение 6. Извлечение фракций в концентрат отсадочной машины <i>МО</i> для класса 13–100 мм	40
Приложение 7. Извлечение фракций в отходы отсадочной машины <i>МО</i> для класса 13–100 мм	41

Приложение 8. Извлечение фракций в концентрат отсадочной машины <i>МО</i> для класса 0,5–13 мм	42
Приложение 9. Извлечение фракций в отходы отсадочной машины <i>МО</i> для класса 0,5–13 мм	43
Приложение 10. Извлечение фракций в концентрат тяжело-среднего сепаратора СКВП для класса 6–100 мм	44
Приложение 11. Извлечение фракций в отходы тяжело-среднего сепаратора СКВП для класса 6–100 мм	45
Приложение 12. Извлечение фракций в концентрат тяжело-среднего сепаратора СКВП для класса 13–100(150) мм	46
Приложение 13. Извлечение фракций в отходы тяжело-среднего сепаратора СКВП для класса 13–100(150) мм	47
Приложение 14. Извлечение фракций в концентрат тяжело-среднего двухпродуктового гидроциклона	48
Приложение 15. Извлечение фракций в отходы тяжело-среднего двухпродуктового гидроциклона	49
Литература	50