

## Рациональные методы раскроя металла<sup>\*)</sup>

Экономия металла, сокращение и максимальное использование металлических отходов имеют огромное народнохозяйственное значение, особенно в условиях военного времени. Одним из методов сокращения, а также наиболее полного использования отходов является рациональный раскрой металла. Основная масса металла поступает на заводы в виде прутков, полос, штанг, листов и т. д., размеры которых установлены соответствующими стандартами или техническими условиями. При раскрое металла на части, как правило, получается значительное количество отходов — концов, обрезков и т. п., которые не всегда могут быть полноценно использованы.

В ряде случаев для сокращения отходов заводам-поставщикам заказывают определенные профили металла, размеры которых кратны размерам выкраиваемых из этого металла заготовок. Но до сих пор сокращение отходов путем рационализации методов раскроя остается весьма актуальной задачей. Применение этих методов оправдывается даже в тех случаях, когда это связано с известными технологическими трудностями.

Рекомендуемые в настоящей статье методы раскроя основаны главным образом на идее рационального комбинирования размеров. В качестве иллюстрации приведем примеры из практики раскроя металла для деталей автомобиля ЯГ-6.

Достигнутые рационализацией раскроя результаты сравниваются с раскром, предусмотренным в соответствующем заводском альбоме. Изложение разбито на несколько разделов, соответствующих отдельным видам раскроя, для которых характер решения различен.

### Разделение на части тел линейных размеров

**Задача 1.** Раскроить стержень длиной 3000 мм (рис. 1) на заготовки длиной 510 и 310 мм (равные количества тех и других).

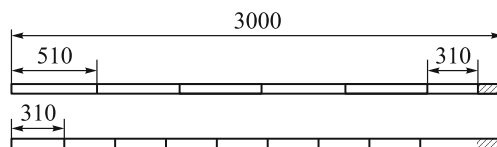


Рис. 1

**Решение.** Если раскрой вести для каждого размера отдельно, то получатся значительные отходы. Так, раскраивая стержень на заготовки размером 310 мм, получим  $9 \times 310 = 2790$  мм, отход 210 мм — 7%. Раскраивая стержень на заготовки

<sup>\*)</sup>Опубликовано в «Производственно-техническом бюллетене» Наркомата боеприпасов. — 1942. — № 7-8. — С. 21-29.

510 мм, получим:  $5 \times 510 = 2550$  мм; если даже используем часть отхода в 450 мм для заготовки 310 мм, то получим отход в 140 мм, или 4,7%. В среднем отходы составят 5,8%.

Значительно меньшими отходы будут при комбинировании обоих размеров при раскрое. Для этого надо подобрать числа, кратные каждому размеру:

$$310, 620, 930, 1240, 1550, 1860, 2170, 2480, 2790$$

и

$$510, 1020, 1530, 2040, 2550.$$

Далее надо подбирать пары чисел из обоих рядов, суммы которых ближе всего подходят к 3000 (с недостатком). Это дает наилучшие комбинации:

$$1 \times 510 + 8 \times 310 = 2990; \quad 4 \times 510 + 3 \times 310 = 2970.$$

Подбирать числа стержней, раскраиваемых по каждому способу, надо для того, чтобы получить нужное соотношение между числом заготовок обоих размеров. В данном случае это соотношение есть 1 : 1; поэтому числа стержней, раскраиваемых по каждому способу, нужно принять равными:

первый способ	$1 \times 510 + 8 \times 310 + 10 = 3000;$	$m = 1;$
второй способ	$4 \times 510 + 3 \times 310 + 30 = 3000;$	$n = 7;$
	$29 \times 510 + 29 \times 310 + 220 = 8 \times 3000$	

т. е., раскраивая один стержень по первому способу и семь стержней по второму способу, получим по 29 заготовок того и другого размера. Отходы составят 220 мм, т. е.

$$220 : (8 \times 3000) = 0,9\%.$$

Числа  $m$  и  $n$  легко подобрать на глаз или можно получить, решив простое уравнение:

$$1 \times m + 4 \times n = 8 \times m + 3 \times n.$$

Отсюда  $n = 7m$ , и потому, очевидно, проще всего принять  $m = 1$ ,  $n = 7$ . Этот способ раскроя приведен на рис. 2.

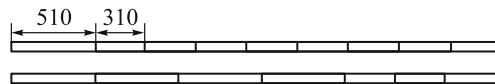


Рис. 2

Для решения той же задачи может быть предложен простой графический метод (рис. 3). На оси  $OX$  единица (1 см) равна 310 мм, а по оси  $OY$  — 510 мм. Отложим на обеих осях отрезки, сумма которых составит длину стержня 3000 мм,

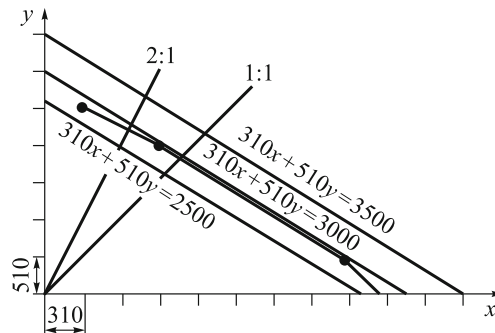


Рис. 3

т. е. отрезки  $3000 : 310 = 9,62$  и соответственно  $3000 : 510 = 5,89$  мм, и соединим их прямой.

Целые точки, лежащие под этой прямой, и дадут возможные способы раскроя. В частности, точки 8;1 и 3;4, наиболее близкие к прямой, соответствуют отмеченным выше двум наилучшим способам раскроя

$$(1 \times 510 + 8 \times 310 = 2990; \quad 4 \times 510 + 3 \times 310 = 2970).$$

Проводя прямую под углом  $45^\circ$ , находим графически, что решение задачи получается в результате комбинирования указанных двух способов, причем по расстоянию до точек 8;1 и 3;4 можно определить и отношение чисел. При задании другого соотношения, например  $2 : 1$  (частей длиной 510 мм вдвое больше, чем частей длиной 310 мм), пришлось бы пользоваться другим способом раскроя — комбинировать раскрой  $4 \times 510 + 3 \times 310$  с раскромом  $5 \times 510 + 310$ .

Тот же графический способ может быть применен путем использования мерной линейки, построенной по двум указанным размерам, т. е. 310 и 510 (рис. 4). Применение линейки особенно целесообразно при раскроме стержней различной длины (нестандартных). Например, для стержня длиной 2600 мм подходит комбинация  $2 \times 510 + 5 \times 310$  — точки 5;2, для стержня 3500 мм — комбинация  $2 \times 510 + 8 \times 310$  или  $5 \times 510 + 3 \times 310$ , т. е. точки 8;2 и 3;5.

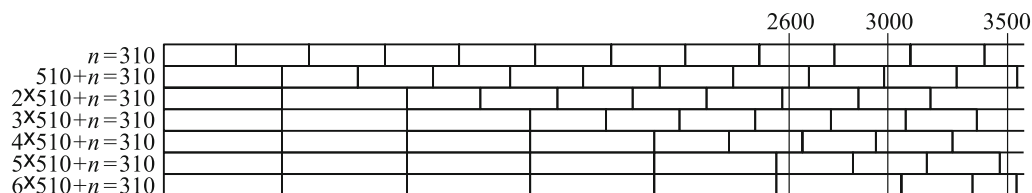


Рис. 4

**Задача 2.** Швеллер № 10 длиной 6000 мм раскроить на следующие детали:

№ детали	Число деталей	Длина мм
	на одно изделие	
45-0217	1	762 <sup>1)</sup>
55-0231	1	783
55-0223	1	882
55-022	2	50

**Решение.** Способ раскроя показан на рис. 5. Из 19 швеллеров получается 42 комплекта (42 по 762 мм, 42 по 783 мм, 42 по 882 мм и 84 по 50 мм).

Отходы от 19 швеллеров составляют:  $6 \times 666 + 6 \times 519 + 7 \times 108 = 7866$  мм;

$$\frac{7866}{19 \times 600} = 6,9\%.$$

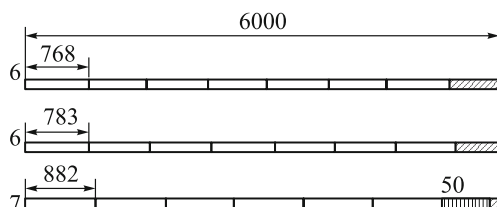


Рис. 5

Для составления наилучшего раскроя комбинируем размеры.

Так как размер 50 мм получится из остатков, его вначале принимать во внимание не следует. Размеры 762 и 783 мм, незначительно отличающиеся один от другого, комбинируются с размером 882 мм. Для чисел 762 и 882 кратные числа будут:

$$762, 1524, 2286, 3048, 3810, 4572, 5334; 882, 1764, 2646, 3528, 4410, 5292.$$

Откуда суммы, наиболее близкие к 6000, равны:

$$4 \times 762 + 3 \times 882 = 5694; \quad 7 \times 762 = 5334; \quad 2 \times 762 + 5 \times 882 = 5934.$$

Как следует из рис. 6, все три комбинации (точки 4;3, 7;0, 12;5) находятся на одной прямой и равноценны. Для нужного соотношения (2 : 1) можно использовать вторую комбинацию вместе с первой или с третьей комбинацией; берем первую и вторую. Подбираем множители и, используя, кроме того, частично отходы для получения размера 50 мм, находим:

$$\begin{array}{rclclcl} 7 \text{ швеллеров} & - & 4 \times 762 + & 3 \times 882 + & 4 \times 50 + & 106 & = & 6000 \\ 2 \text{ швеллера} & - & 7 \times 762 + & & 7 \times 50 + & 316 & = & 6000 \end{array}$$

---


$$42 \times 762 + 21 \times 882 + 42 \times 50 + 1374 = 96\,000$$

<sup>1)</sup> Имеется небольшое расхождение между текстом и рисунками 5 и 6, где длина этой детали — 768 мм. Впрочем, это никак не сказывается на решении задачи. (Прим. ред.)

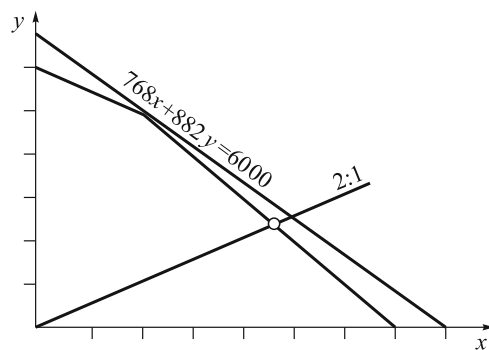


Рис. 6

Таким же точно образом возьмем:

$$7 \text{ швеллеров} - 4 \times 783 + 3 \times 882 + 4 \times 50 + 22 = 6000$$

$$2 \text{ швеллера} - 7 \times 783 + \quad \quad \quad 7 \times 50 + 169 = 6000$$

$$42 \times 783 + 21 \times 882 + 42 \times 50 + 492 = 96\,000$$

Всего из 18 швеллеров получается 42 комплекта (42 по 762 мм, 42 по 783 мм, 42 по 882 мм и 84 по 50 мм). Отходы составят  $1374 + 492 = 1886$  мм, или

$$\frac{1886}{18 \times 600} = 1,7\%$$

вместо 6,9% по существующему раскрою (рис. 7).

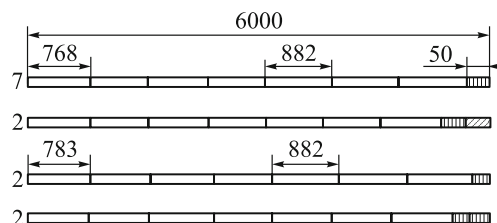


Рис. 7

**Задача 3.** Швеллер 6,5 длиной 6000 мм раскроить на детали:

№ детали	Число деталей	
	на одно изделие	Длина мм
47-021	1	1086
47-022	1	910
46-0412	2	732

Подбираем комбинации трех основных размеров и составляем кратные числа:

1086, 2172, 3258, 4344; 910, 1820, 2730, 3640, 4550;

732, 1464, 2196, 2928, 3660, 4392.

Наилучшими комбинациями будут:

$$\begin{aligned} 3 \times 910 + 3 \times 732 + 74 &= 5000; & m &= 4; \\ 1086 + 910 + 4 \times 732 + 76 &= 5000; & n &= 9; \\ 2 \times 1086 + 3 \times 910 + 98 &= 5000; \\ 3 \times 1086 + 910 + 732 + 100 &= 5000; & p &= 6. \end{aligned}$$

Эти же комбинации можно получить графически (рис. 8 и 9).

Подбирая множители для этих комбинаций так, чтобы обеспечить нужное соотношение числа заготовок размерами 1086, 910 и 732 мм (1 : 1 : 2). Получаем из 19 швеллеров 27 комплектов (27 по 1086 мм, 27 по 910 мм, 54 по 733 мм). Отходы составят:

$$4 \times 74 + 9 \times 76 + 6 \times 100 = 1580 \text{ мм}; \quad \frac{1580}{19 \times 5000} = 1,7\%.$$

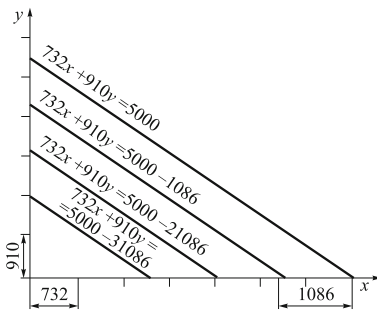


Рис. 8

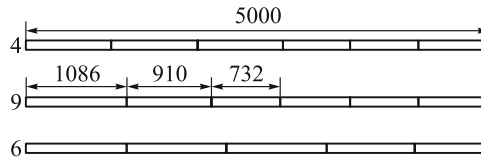


Рис. 9

В альбоме раскроя при использовании концов на мелкие детали отходы составляют 3–4%.

Приведенный выше подбор комбинаций, дающий нужное соотношение (1 : 1 : 2), не единственный. При другом подборе, в частности при использовании третьей комбинации, может возникнуть вопрос, не будут ли отходы меньше. Введем оценки  $u$ ,  $v$  и  $w$ , соответствующие размерам 1086, 910 и 732 мм.<sup>2)</sup> Приравнявая суммарные оценки трех использованных комбинаций, получим уравнения:

$$3v + 3w = u + v + 4w = 3u + v + w.$$

Из этих уравнений  $u$ ,  $v$  и  $w$  определятся с точностью до множителя. Можно принять, например,  $u = 6$ ,  $v = 5$ ,  $w = 4$ . Все комбинации получают оценку 27. Ту же оценку получит и неиспользованная комбинация ( $2u + 3v = 27$ ).

<sup>2)</sup>Вероятно, редакция сократила статью, в частности, текст, касающийся оценок (разрешающих множителей). Здесь они появились без каких-либо пояснений. (Прим. ред.)

### Раскрой листов на прямоугольники

При раскрое листов на прямоугольники имеется такая же возможность комбинировать размеры, как и при раскрое на полосы. Поэтому в данном случае могут быть частично использованы указанные выше приемы. Кроме того, имеются специальные приемы, в частности, здесь возможно комбинировать размеры даже при раскрое на прямоугольники одного размера (заготовки для одной детали).

**Задача 4.** Лист размером  $700 \times 1500$  мм требуется раскроить на прямоугольники размером  $95 \times 155$  мм. При простейшем раскрое (рис. 10) из листа получается 60 прямоугольников; отходы составляют:

$$700 \times 1500 - 60 \times (95 \times 155) = 166\,500, \quad \text{или } 15,8\%.$$

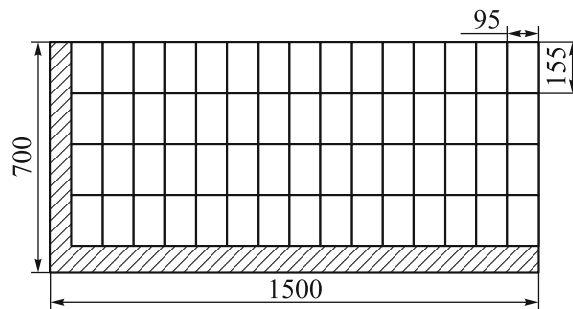


Рис. 10

Для получения наилучшего раскроя продельываем следующее.

а) Подбираем комбинацию размеров 155 и 95 мм, дающую сумму, близкую к ширине листа 700 мм. Эту сумму можно найти указанным выше приемом:

$$95, 190, 285, 380, 475, 570, 665, 760, 855, 950, 1045, 1140, 1235, 1330, 1425;$$

$$155, 310, 465, 620, 775, 930, 1085, 1240, 1395,$$

которая и будет равна:  $2 \times 155 + 4 \times 95 = 690$  мм.

В соответствии с этим при раскрое берем четыре полосы шириной 95 мм и две полосы шириной 155 мм.

б) Среди чисел обоих рядов подбираем два мало различающихся между собой числа и по возможности близких к 1500. Это будут  $1240 = 8 \times 155$  и  $1235 = 13 \times 95$ . В соответствии с этим раскраиваем из первых четырех полос восемь прямоугольников, из следующих двух полос — тринадцать прямоугольников.

в) Для оставшейся длины  $1500 \times 1240 = 260$  мм подбираем близкую сумму:  $155 + 95 = 250$  мм. Исходя из этого, выкраиваем одну полосу шириной 155 мм, другую шириной 95 мм и из каждой полосы выкраиваем нужные прямоугольники, а именно семь прямоугольников и соответственно четыре прямоугольника. Всего получается  $4 \times 8 + 12 \times 13 + 7 + 4 = 69$  прямоугольников. Отходы составляют:

$700 \times 1500 - 69 \times (95 \times 155) = 34\,000 \text{ мм}^2$ , или 3,2% вместо 15,8% при простейшем раскрое.

**Задача 5.** Лист 10 мм стали размером  $1500 \times 3000 \text{ мм}$  раскроить на прямоугольные заготовки размером  $143 \times 200 \text{ мм}$  (расстояние при разрезании ножницами в 10 мм учтено в размерах заготовки).

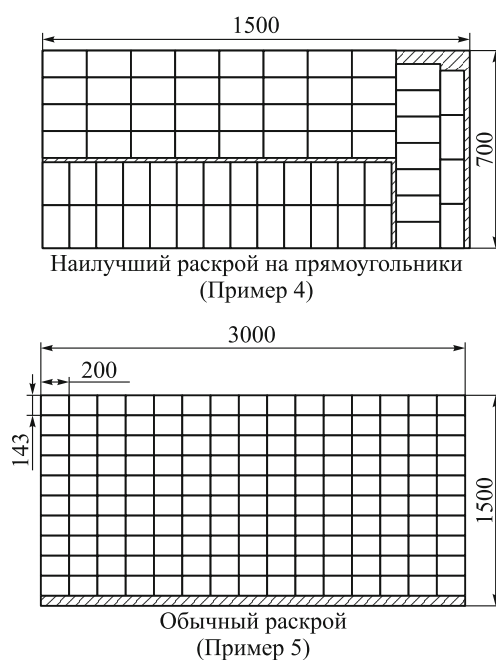


Рис. 11

Раскрой альбомный (рис. 11); из одного листа получается 150 заготовок; отходы составляют:

$$\frac{70 \times 3000}{1500 \times 3000} = 4,7\%.$$

Для получения наилучшего раскроя продельываем следующее:

1. Подбираем сумму, близко приближающуюся к 1500:

$$9 \times 143 + 1 \times 200 = 1487.$$

2. В первых девяти рядах берем по 15 заготовок ( $15 \times 200 = 3000$ ), в последнем ряду берем 21 заготовку ( $21 \times 143 = 3003$ ). Всего получается  $9 \times 15 + 21 = 156$  заготовок (рис. 12). Отходы составляют  $3000 \times 1500 - 156 \times (143 \times 200) = 33\,400 \text{ мм}^2$ , или 0,86% вместо 4,8%.

**Задача 6.** Лист 3 мм стали размером  $710 \times 1420 \text{ мм}$  требуется раскроить на заготовки размером  $135 \times 160 \text{ мм}$ . Расстояние при разрезании ножницами брать



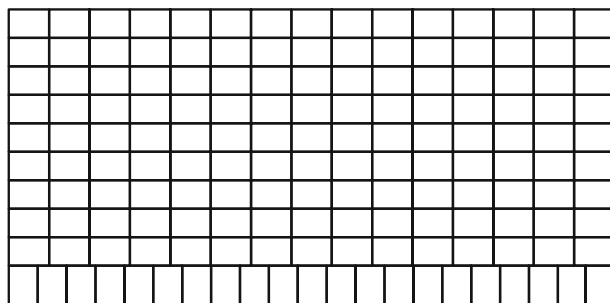


Рис. 12

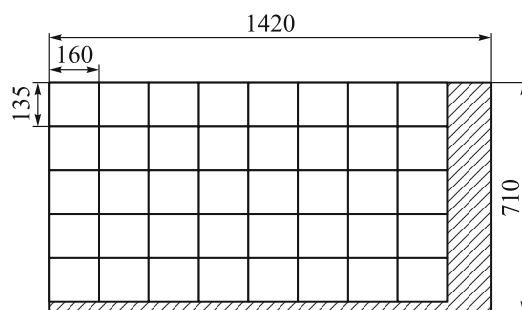


Рис. 13

равным 3–3,5 мм. Раскрой альбомный (рис. 13). Из листа получается 40 заготовок. Отходы, включая запас на раскрой, составляют:

$$710 \times 1420 - 40 \times (135 \times 160) = 144\,200 \text{ мм}^2, \text{ или } 14,3\%.$$

Для составления наилучшего раскроя поступаем аналогично прежнему:

а) Составляем ряды:

$$135, 270, 405, 540, 675, 810, 945, 1080, 1215, 1350;$$

$$160, 320, 480, 640, 800, 960, 1120, 1280.$$

Подбираем сумму, подходящую к 710. Это будет

$$4 \times 135 + 160 = 700.$$

В соответствии с этим выкраиваем четыре полосы шириной 135 мм и одну полосу шириной 160 мм (рис. 14).

б) Нижний ряд заполняется довольно хорошо  $10 \times 135 = 1350$  (надо учесть запас на раскрой 30–35 мм) — близко к 1420 мм. Для верхних рядов подбираем сумму, близкую к 1420, а именно

$$7 \times 160 + 2 \times 135 = 1390.$$

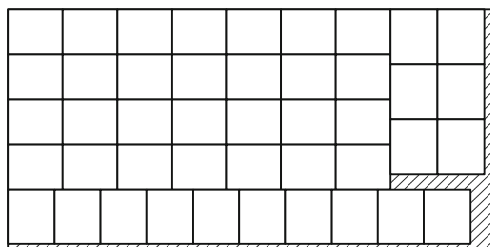


Рис. 14

в) В оставшейся полосе (540 мм) укладывается размер  $3 \times 160$ . Всего получается 44 заготовки. Отходы (включая запас на раскрой) составляют:

$$710 \times 1420 - 44 \times (135 \times 160) = 57\,800 \text{ мм}^2,$$

или 5,8% вместо 14,3% при установленном согласно альбому раскрое.

Этот раскрой неудобен тем, что запас на раскрой по ширине, равный  $710 \times 700 = 10$  мм, весьма незначителен и требуется очень аккуратная работа на ножницах. Но это оправдывается экономией металла. Может быть применен и другой способ раскроя, показанный на рис. 15. Из листа получается 43 заготовки. Отходы составляют  $710 \times 1420 - 43 \times (135 \times 160) = 79\,400 \text{ мм}^2$ , или 7,9%.

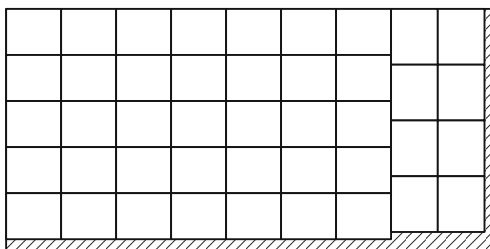


Рис. 15

Способ раскроя рассчитывается аналогично первому, только начинается с того, что подбирается сумма, близко подходящая к длине:  $7 \times 160 + 2 \times 135 = 1390$ .

### Раскрой на круглые размеры

В случаях раскроя листов на заготовки в виде кругов часто не учитывают, что простейшее расположение кругов по рядам не является наиболее плотным. При таком расположении из листа площадью  $S$  получается столько же кругов диаметром  $d$ , сколько квадратов со стороной  $d$ , т. е. примерно  $n = S/d^2$ . Использование площади составляет

$$\frac{n(\pi d^2/4)}{S} = \frac{(S/d^2)(\pi d^2/4)}{S} = \frac{\pi}{4} = 78,5\%.$$

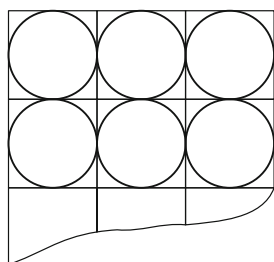


Рис. 16

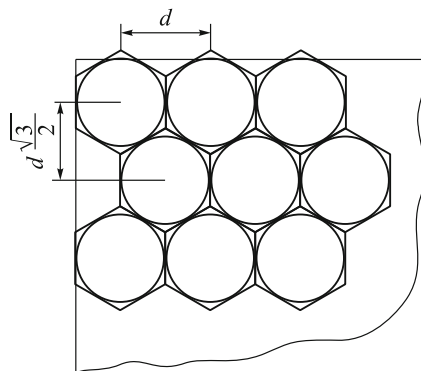


Рис. 17

Отходы составят 21,5%, а с учетом отходов по краям — и больше (рис. 16).

Наиболее плотное расположение кругов получается при ячейках, имеющих вид правильных шестиугольников (рис. 17). Здесь для листа большого размера число кружков будет приблизительно равняться  $n_1 = S/p$ , где  $p$  — площадь правильного шестиугольника, описанного у круга диаметром  $d$ , равная

$$p = \frac{\sqrt{3}}{2}d^2.$$

В этом случае размер использованной площади составит<sup>3)</sup>

$$\frac{n_1(\pi d^2/4)}{S} = \frac{2S(\pi d^2/4)/\sqrt{3}d^2}{S} = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} \approx 90,7\%,$$

а отходы только 9,3%. Следует отметить, что отходы по краям в данном случае обычно больше, чем при простейшем расположении кругов. Поэтому данный способ раскроя имеет преимущество в случаях небольшого размера кружка по сравнению с размером листа.

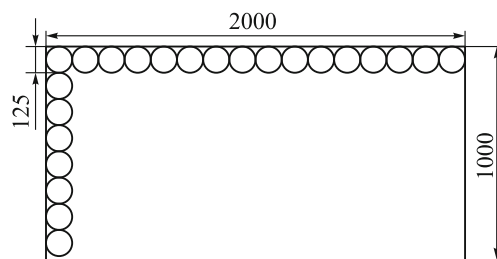
**Задача 7.** Из 3 мм листа размером  $1000 \times 2000$  мм требуется получить заготовки в виде кружков диаметром 115 мм (+10 мм на раскрой). При обычном способе раскроя (рис. 18) из листа получается  $8 \times 16 = 128$  заготовок.

Для определения числа горизонтальных рядов делим ширину листа без диаметра на  $d\sqrt{3}/2$  и к частному прибавляем единицу. Получаем:

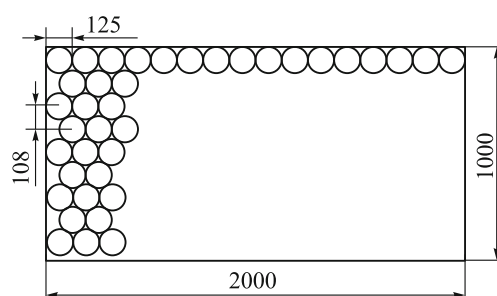
$$\frac{b-d}{d\sqrt{3}/2} + 1 = \frac{1000-125}{125\sqrt{3}/2} + 1 = \frac{875}{108,2} = 9,07,$$

т. е. 9 рядов. Число кружков в каждом ряду будет равно длине, разделенной на диаметр  $1/d = 2000 : 125 = 16$ , или на единицу меньше, т. е. 15. Всего будем иметь 5 рядов по 16 кружков и 4 ряда по 15 кружков, т. е.  $5 \times 16 + 4 \times 15 = 140$  кружков,

<sup>3)</sup>При указанном на чертеже расположении расстояние между двумя центрами по горизонталям равно  $d$ , а между двумя линиями центров по вертикали равно  $d\sqrt{3}/2$ .



Обычный раскрой на круглые заготовки  
(Пример 7)



Наилучший раскрой на круглые заготовки  
(Пример 7)

Рис. 18

или увеличение на 9,4% по сравнению с обычным раскромом. Следует сказать, что применение этого метода раскроя усложняет разрезание листа на ножницах.

Отметим, что в альбоме раскроя и в приведенном примере оставлен слишком большой запас на разрезание — 10 мм; совершенно достаточен был бы запас 3 мм (толщина листа). Оставление излишнего запаса вызвано желанием получить такой диаметр кружка (125), чтобы размеры листа были кратны ему; небольшое уменьшение диаметра кружка при обычной системе раскроя не позволило бы увеличить число заготовок.

Попробуем уменьшить диаметр кружка при предлагаемом методе раскроя. Примем согласно сказанному диаметр равным  $115 + 3 = 118$  мм. Ряды удобнее расположить по меньшему размеру листа. Число рядов будет

$$\frac{l - d}{d\sqrt{3}/2} + 1 = \frac{2000 - 118}{118\sqrt{3}/2} + 1 = \frac{1882}{102,2} + 1 = 19,4,$$

т. е. 19 рядов. Число заготовок в каждом ряду будет:

$$\frac{l}{d} = \frac{1000}{118} = 8,48 = 8,5,$$

т. е. по 8 заготовок в каждом ряду.

Всего будем иметь  $19 \times 8 = 152$  заготовки. По сравнению с альбомным раскромом увеличение выхода на  $24/128 = 18,7\%$ .

**Задача 8.** Из 4 мм листа размером  $710 \times 1420$  мм требуется изготовить заготовки для деталей в виде кружков диаметром  $150(+8)$  мм = 158 мм.

При обычном раскрое (рис. 19) из листа получается 36 заготовок и, кроме того, полоска  $60 \times 1420$  мм, используемая на другие детали.

Для получения наилучшего раскроя поступаем, как и в предыдущем случае.

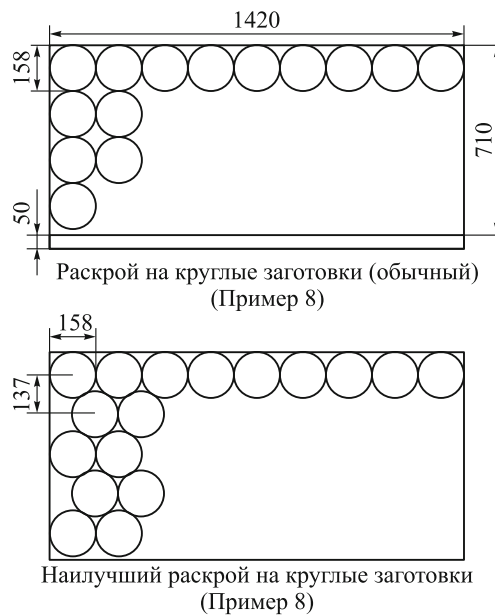


Рис. 19

По вертикали получаем:

$$\frac{l-d}{d\sqrt{3}/2} + 1 = \frac{710-158}{158\sqrt{3}/2} + \frac{552}{137} + 1 = 5,03 - 5 \text{ рядов.}$$

По горизонтали:

$$\frac{l}{d} = \frac{1420}{158} = 8,99 - 9 \text{ или } 8 \text{ кружков в ряду,}$$

т. е. 3 ряда по 9 и 2 ряда по 8, а всего  $3 \times 9 + 2 \times 8 = 43$  заготовки. По сравнению с приведенным этот раскрой дает выход на 19% больший. Если даже учесть, что в альбомном раскрое 8% материала (полоска) идет на заготовку для другой детали, то и в этом случае увеличение выхода заготовок — 11%.

В отдельных случаях, когда ряды не укладываются в листе целое число раз, можно комбинировать данный способ с обычным или же располагать ячейки иным способом, в частности, путем перемены ролей ширины и длины.

Из приведенных примеров видно, что целесообразный раскрой металла во многих случаях значительно увеличивает его полезное использование.

Для широкого применения рациональных методов раскроя металла целесообразно сделать следующее:

- 1) Раскрой металла сосредоточить в единой заготовочной мастерской или цехе.
- 2) Выделить специального работника, изучившего предварительно методы рационального раскроя металла, для наблюдения за правильным раскромом металла на заводе. За исключением экстренных случаев все вновь вводимые раскрои металла не должны применяться без санкции этого работника.
- 3) Повысить заинтересованность отдельных работников во всемерной экономии металла, установив систему поощрительной оплаты (премий). Оценку работы отдельных цехов производить с учетом этого показателя.
- 4) Работу по рациональному раскрою металла тесно увязывать с проведением других мероприятий по экономии материалов, как-то: уменьшение допусков, изменения технологии, замена одного материала другим и т. д.

Излишек в 3 мм не имеет значения, так как расстояние при разрезании ножницами без ущерба может быть уменьшено на 1 мм.