

# О МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ СЕМЯН

О.Н. КРЫЛОВ, кандидат технических наук, доцент  
П.В. ДОРОДОВ, кандидат технических наук, зав.  
кафедрой

А.А. МОХОВ, соискатель  
Ижевская ГСХА  
E-mail: pvd80@mail.ru

**Резюме.** В сельскохозяйственных машинах типа дробилок и плющилок точное знание предельных значений прочности семени позволяет минимизировать используемую для его разрушения энергию. В посевных машинах, машинах для предпосевной и послеуборочной обработки зерна учет конкретных значений механической прочности семян необходим, прежде всего, с целью снижения микрповреждений в проводящих трактах машин. Исследования проводили с целью уточнения данных о механической прочности семян, получения и анализа статистических характеристик законов распределения разрушающих их нагрузок. Измерения выполняли в следующей последовательности: фиксировали цифровое изображение зерновки одновременно с изображением мерной линейки; устанавливали зерновку в зажимное устройство разрывной машины (при этом нагрузка могла быть приложена как вдоль оси зерновки, так и поперёк); в условиях квазистатического нагружения зерновку доводили до разрушения; записывали диаграмму сжатия, по которой определяли разрушающую нагрузку. В результате выполненной работы получены регрессионные зависимости между площадью сечения зерновки и разрушающими усилиями (напряжениями). Установлена слабая зависимость средних разрушающих нагрузок от размеров семян, показано снижение средних напряжений с ростом площади миделевого сечения. Средние значения напряжений для гороха сорта Алтайский усацкий составили 6,91 МПа; для ячменя сорта Раушан – 6,78 МПа.

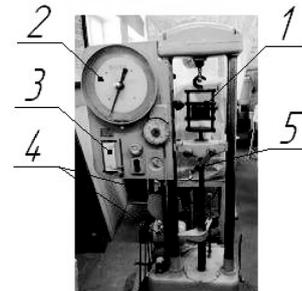
**Ключевые слова:** зерновка, прочность, сжатие, разрушающая нагрузка, площадь сечения, предельное напряжение.

При проектировании и эксплуатации сельскохозяйственных машин и орудий ключевыми параметрами служат характеристики механической прочности семян. В машинах типа дробилок и плющилок точное знание предельных значений прочности зерен позволяет минимизировать используемую при их разрушении энергию. Для посевных машин, машин предпосевной и послеуборочной обработки зерна учет конкретных значений механической прочности зерна необходим, прежде всего, с целью снижения микрповреждений в проводящих трактах машин. Так, в работе [1] показано, что один из основных факторов, влияющих на семена, в установках для их предпосевной обработки – скорость движения в рабочей зоне. При этом, например, в устройстве, описанном в [2] при длине скатывания семян по наклонной плоскости  $l=0,75$  м, необходимой для установок большой производительности, их максимальная скорость составляет  $v_c=3,25$  м/с. В этих условиях зерна, например, озимой пшеницы (масса 1000 шт. 36...50 г) будут иметь кинетическую энергию  $E_k=0,19...0,26 \cdot 10^{-3}$  Дж. В момент торможения о неподвижные стенки и днище приёмного бункера при продолжительности удара  $t=10^{-5}$  с усилие, действующее на зерновку, составит  $P=23,4...32,5$  Н.

Однако в современной литературе недостаточно сведений о механической прочности зерновок и усилиях, возникающих при их разрушении. Так, в [3] приводятся данные лишь об энергетических характеристиках этого процесса. Причем в качестве способа

разрушения рассматривается заклинивание зерновки между качающимся маятником и неподвижной декой, что, как правило, не характерно для сельскохозяйственных машин. В работах [4, 5] показаны возможные виды разрушения зерновок, приводятся диапазоны разрушающих нагрузок для отдельных культур. Однако отсутствуют данные и характеристики статистических законов распределения разрушающих нагрузок.

Цель наших исследований – уточнение сведений о механической прочности семян, поиск и анализ статистических характеристик законов распределения нагрузок, разрушающих семена.



**Рис. 1.** Разрывная машина МР-0,5-1: 1 – устройство для сжатия образцов; 2 – динамометр; 3 – диаграммный аппарат; 4 – электромеханический привод перемещения захватов; 5 – ручной привод перемещения захватов.

**Условия, материалы и методы.** Работа выполнена на разрывной машине МР-0,5-1 (рис. 1) с устройством для сжатия образцов. Шкала ее динамометра имеет следующие параметры: диапазон значений предельных нагрузок – 0...100 кгс, цена деления – 0,2 кгс, погрешность измерений нагрузки – не более 1 %. Машина оснащена двумя приводами механизма нагружения: электромеханическим и ручным. Для точной фиксации получаемых нагрузок в работе использовали ручное нагружение. Электромеханический привод применяли только для больших перемещений захватов. При этом устройство позволяет записывать диаграмму нагружения на бумажную ленту.

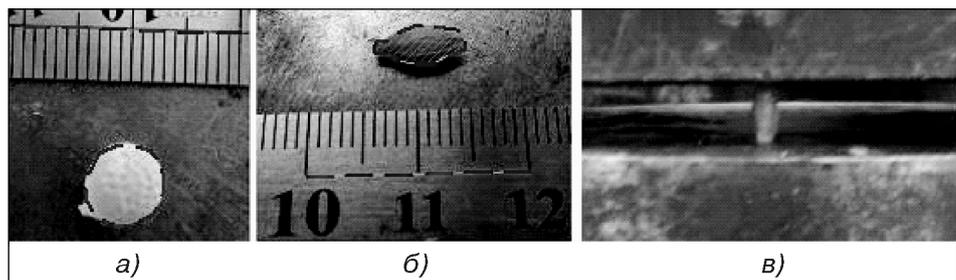
Измерения выполняли в следующей последовательности:

фиксируют цифровое изображение зерновки одновременно с изображением мерной линейки (рис. 2 а, б);

зерновку устанавливали в зажимное устройство разрывной машины (рис. 2 в). При этом нагрузка могла быть приложена как вдоль оси зерновки, так и поперёк;

в условиях квазистатического нагружения зерновку доводили до разрушения;

записывали диаграмму сжатия, по которой определяли разрушающую нагрузку.



**Рис. 2.** Изображения сечения зерновки гороха (а), ячменя (б) и зерновки между опорными плитами устройства для сжатия (в)

Таблица 1. Статистические характеристики разрушающей нагрузки

Культура	Разрушающая нагрузка, Н					Число опытов	Стандартная	
	средняя	медиана	мода	минимум	максимум		ошибка	отклонение
Горох	302,53	313,60	343,00	68,60	431,20	110,00	7,33	76,89
Ячмень	165,60	156,91	147,11	88,26	428,57	110,00	5,28	52,55

Сделанные непосредственно перед нагружением изображения позволили рассчитать площадь «тени» (миделевого сечения) каждой зерновки. Расчет выполняли с помощью инженерной САПР «КОМПАС-3D V12», позволяющей получать геометрические характеристики как пространственных, так и плоских объектов. На рис. 2 а и б линии, построенные с помощью САПР «КОМПА-3D V12», показаны пунктиром. Площадь изображенной фигуры («тени» или миделевого сечения зерновки) и длину изображения базовой линии рассчитывали средствами САПР. Фактическую площадь «тени» зерновки определяли в соответствии с выражением:

$$S = \left(\frac{k}{L}\right)^2 \cdot S_1,$$

где  $S_1$  – площадь изображения «тени», мм<sup>2</sup>;  $k$  – фактическая длина базовой линии, мм;  $S$  – фактическая площадь сечения, мм<sup>2</sup>;  $L$  – длина изображения базовой линии, мм.

На основании значений площади миделевого сечения можно рассчитать напряжения [6], действующие в средних сечениях зерновок. При таких расчетах мы предполагали, что материал зерновки упругий. Подобная гипотеза подтверждается диаграммами сжатия зерновок гороха и ячменя, на которых хорошо видна линейная часть от начала нагружения до момента разрушения. Некоторая нелинейность диаграммы может быть связана с особенностями работы ручного механизма нагружения и диаграммного аппарата.

Значение напряжений с учетом принятых допущений составит:

$$\sigma_m = \frac{9,81 \times P}{S}, \quad (1)$$

где  $P$  – величина разрушающей нагрузки, полученная по шкале динамометра разрывной машины, кгс;  $\sigma_m$  – напряжение, возникающее в миделевом сечении зерновки при нагружении, Н/мм<sup>2</sup>.

Эксперименты проводили с семенами гороха сорта Алтайский усатый и ячменя сорта Раушан стандартной влажности 13 %. Нагрузку к зерновкам ячменя прикладывали поперёк их продольной оси. Обработку полученных данных выполняли с помощью приложения «Пакет анализа» табличного процессора «Excel-2003».

**Результаты и обсуждение.** Анализ статистических характеристик значений разрушающих нагрузок (табл. 1) показывает, что их диапазоны для зерновок гороха и ячменя (минимум 68,60 Н и 88,26 Н, максимум 431,20 Н и 428,57 Н соответственно) практически совпадают. Однако средние величины этого показателя

для гороха существенно выше, чем для ячменя – 302,53 Н против 165,60 Н. При этом значения моды и медианы разрушающей нагрузки у гороха превышают уровень средних показателей, а у ячменя существенно ниже. По существу, зерновкам гороха при тех же диапазонах нагружения для разрушения необходимы более высокие усилия, что в практическом смысле приводит к увеличению затрат энергии.

Графическое изображение результатов экспериментов в координатах «площадь – нагрузка» (рис. 3) наглядно демонстрирует наличие двух характерных областей, в которых сконцентрированы значения разрушающих усилий:

для малых величин площади сечения зерновок: от 30 до 55 мм<sup>2</sup> для гороха и от 12 до 30 мм<sup>2</sup> для ячменя;

для больших величин площади сечения зерновок: от 65 до 90 мм<sup>2</sup> для гороха и от 35 до 55 мм<sup>2</sup> для ячменя.

По существу, крупные и мелкие зерновки при нагружении ведут себя различно. Одновременно средние значения разрушающих нагрузок в зависимости от площади поперечного сечения изменяются не существенно (линия на рис. 3). Для зерновок гороха они колеблются в пределах 280...360 Н, для зерновок ячменя – 140...220 Н, то есть в обоих случаях диапазон изменения находится в пределах 80 Н. Полученные уравнения регрессии также подтвердили достаточно слабую зависимость предельных разрушающих усилий от линейных размеров семян. Они имеют вид:

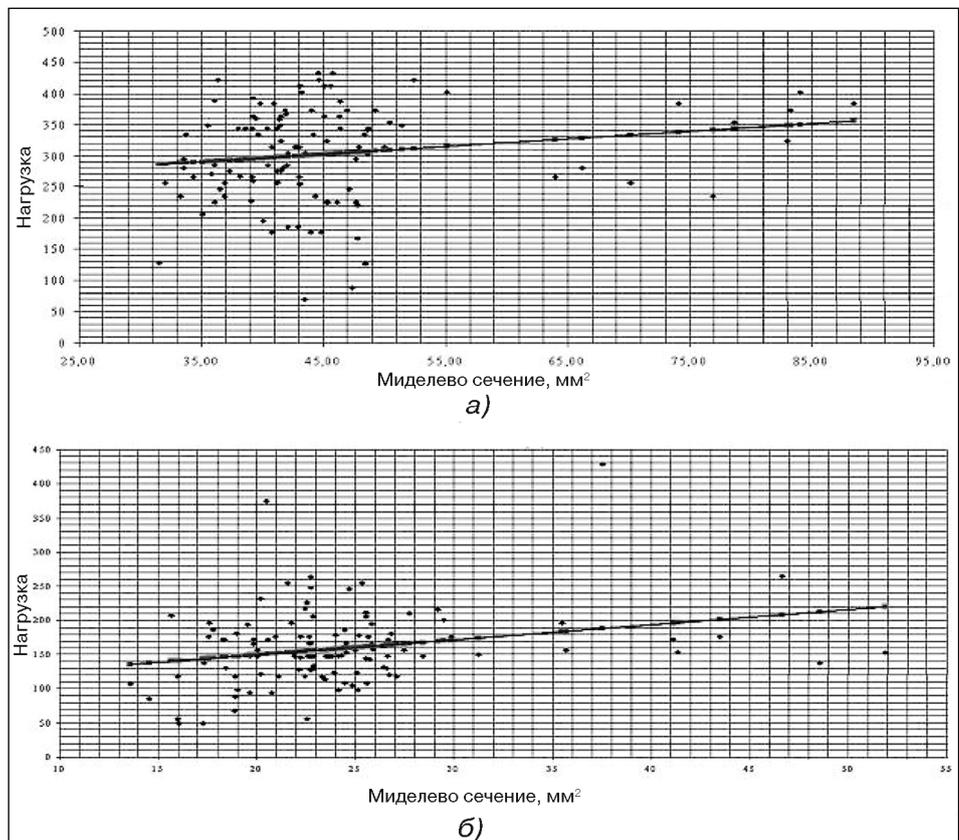


Рис. 3. Разрушающая нагрузка для зерновок: а) гороха; б) ячменя: \* – нагрузка, Н; — — прогнозируемая нагрузка, Н.

Таблица 2. Статистические характеристики предельных напряжений

Культура	Предельные напряжения, Н/мм <sup>2</sup>				Число опытов	Стандартные	
	среднее	медиана	минимум	максимум		ошибка	отклонение
Горох	6,91	7,04	1,58	11,60	110	0,19	1,99
Ячмень	6,78	6,26	2,48	18,25	110	0,24	2,50

для гороха –  $P_c = 247,73109 + 1,21439 \cdot S$ ;  
 для ячменя –  $P_c = 105,75602 + 2,19992 \cdot S$ ;

где  $P_c$  – статистическое значение разрушающей нагрузки, Н;  $S$  – фактическое значение площади миделевого сечения, мм<sup>2</sup>.

Для условий проведённого эксперимента табличное значение критерия Фишера  $F_{кр}$  при уровне значимости  $\alpha = 0,05$  составило  $F_{кр} = 3,9140$  [7, 8]. Соответственно полу-

пряжений в координатах «площадь – напряжение» показывают, что в данном случае весьма существенно снижение величины средних напряжений с увеличением площади поперечного сечения (рис. 4).

Средние значения разрушающих напряжений в зависимости от площади поперечного сечения изменяются для зерновок гороха в пределах 3,1...8,2 МПа, для зерновок ячменя – 3,2...8,36 МПа, то есть в обоих случаях диапазон изменения находится в пределах 5,1 МПа.

С учетом слабой зависимости разрушающих усилий от линейных размеров семян подобная ситуация вполне объяснима, поскольку с увеличением размеров семян разрушающие усилия растут не столь существенно. Соответственно коэффициенты  $\beta_1$  в уравнениях регрессии моделей напряжений приобрели отрицательные значения, а сами уравнения имеют следующий вид:

для гороха  $\sigma_p = 10,7556 - 0,08479 \cdot S$ ;

для ячменя  $\sigma_p = 9,806167 - 0,12462 \cdot S$ ;

где  $\sigma_p$  – напряжение в миделевом сечении зерновок, Н/мм<sup>2</sup>.

С учетом ранее приведенных табличных значений критерия Фишера  $F_{кр}$  и  $t$ -критерия Стьюдента адекватность полученных уравнений регрессии моделей напряжений и значимость их коэффициентов оказалась несколько выше, нежели аналогичные характеристики у моделей нагрузки.

**Выводы.** В результате выполненной работы получены регрессионные зависимости между размерами зерновки (площадь сечения) и разрушающим ее усилием (напряжением). Установлена слабая зависимость средних разрушающих нагрузок от размеров семян. Показано снижение средних напряжений с ростом площади миделевого сечения. Очевидно, это связано с тем, что с увеличением размеров зерновки увеличиваются в размерах и факторы, приводящие к разрушению, например, поры в структуре материала или микрповреждения. Средние значения напряжений в миделевом сечении зерновок для гороха сорта Алтайский усатый составили 6,91 МПа; для ячменя сорта Раушан – 6,78 МПа.

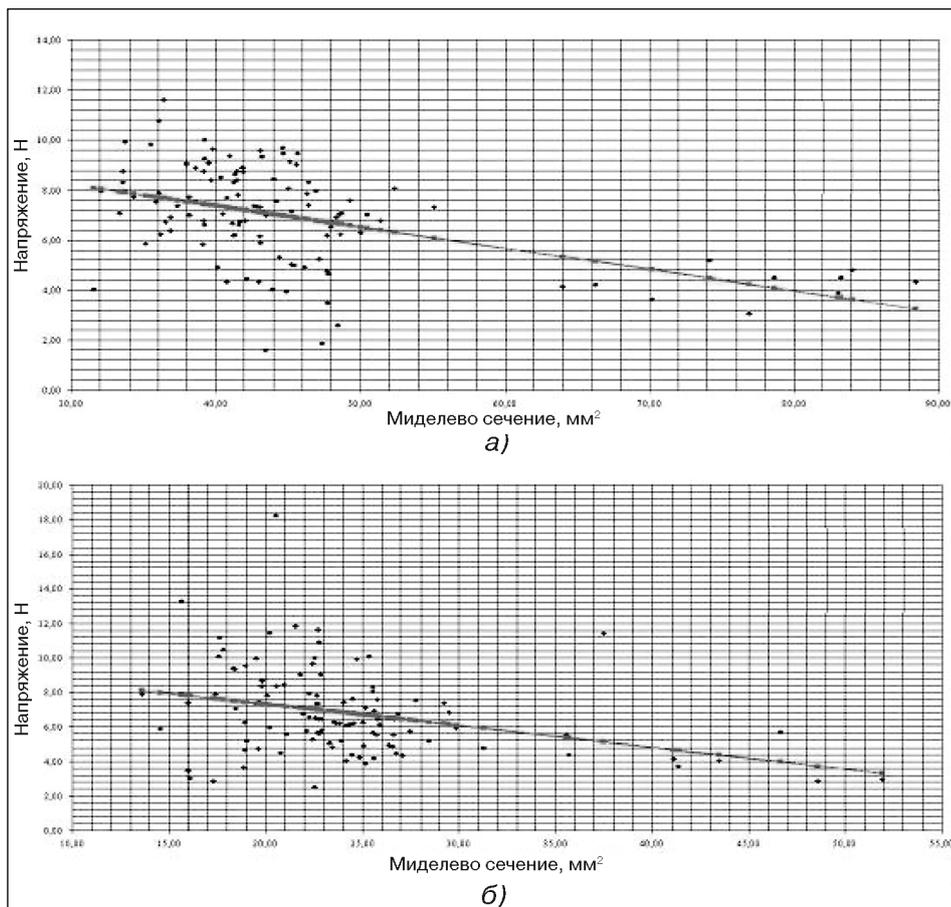


Рис. 4. Предельные напряжения в миделевых сечениях зерновок: а) гороха; б) ячменя:  
 \* – нагрузка, Н; ■ – прогнозируемая нагрузка, Н.

ченные модели адекватны при  $\alpha = 0,0636$  для зерновок гороха и  $\alpha = 0,0065$  для зерновок ячменя. Табличная величина  $t$ -критерия Стьюдента для  $\alpha = 0,05$  составляет  $t_{\alpha} = 1,65400$ . Наиболее низкое расчетное значение критерия Стьюдента оказалось у коэффициента  $\beta_1 = 1,87396$  в модели для зерновок гороха с уровнем значимости  $\alpha = 0,0636$ . Одновременно для коэффициентов  $\beta_0$  расчетная величина  $t_{расч}$  у обеих моделей существенно превысило  $t_{\alpha} = 1,65400$ .

Анализ статистических характеристик значений напряжений, рассчитанных по выражению (1), свидетельствует, что в отличие от параметров разрушающей нагрузки, и средние значения, и диапазоны изменений (минимум и максимум) напряжений и для зерновок гороха, и для зерновок ячменя отличаются мало (табл. 2).

**Литература.**

1. Жолобова М.В. Анализ установок для предпосевной обработки семян // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. – 2012. – № 83. – С. 365-374. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/09/pdf/03.pdf>.

2. Пат. 2407264, А01С 1/00. Способ предпосевной обработки семян и устройство для его использования / О.Г. Долговых, О.Н. Крылов № 2009109461/21: Заявлено 16.03.2009; опубл. 27.12.2010 // Изобретения. – 2010. – № 36. – С. 333.
3. Борисов, А. П. Режимы процесса разрушения зерна посредством маятникового измельчителя: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Барнаул: ФГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 2009.
4. Механические свойства зерна: прочность зерна (часть 1) // Girls4girls.ru: «Всё о зерне» 2012. 22 мая. URL: <http://girls4girls.ru/pererabotka-zerna/45-mehchanicheskie-svoystva-zerna-prochnost-zerna-chast-1.html> (дата обращения: 23.04.2013).
5. Механико-технологические свойства семян сельскохозяйственных культур // mehanik-ua.ru: «Механизмы и технологии» 2013. URL: <http://mehanik-ua.ru/leksii-po-mtsskhm/178-tehnologicheskie-svoystva-semyan.html> (дата обращения: 23.04.2013).
6. Беркутов В.П., Дородов П.В., Киселев М.М. Исследование контактных напряжений при взаимодействии жесткого штампа с упругой полубесконечной полосой // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2009. – №6. – с. 14-15.
7. Горелова Г.В., Кацко И.А. Теория вероятностей и математическая статистика в примерах и задачах с применением Excel. – Изд. 3-е, доп. и перераб. – Ростов н/Д: Феникс, 2005. – 480 с.
8. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. – Изд. 2-е, доп. и перераб. – М.: Высш. шк., 1988. – 239 с.

## MECHANICAL STRENGTH OF SEED

O.N. Krilov, P.V. Dorodov, A.A. Mokhov

**Summary.** It is precise attainment of limit values of seed strength that allows minimization of energy used while destruction of feed grain in agricultural machinery such as rubbing machine or breaking machine. For seeding machinery, preplant and postharvest grain conditioning machinery, accounting of definite values of mechanical seed strength is required, first of all, for reduction of seed microdamages in machinery conductive paths. The goal of the work is an elaboration of information about mechanical seed strength, acquisition and analysis of statistical law of breaking load distribution characteristics. Measurements were made in the following consequence: digital image of caryopsis was fixed simultaneously with image of measuring bar; caryopsis was placed to the clasper of tearing machine (seed load could be applied either axially or across the axis); caryopsis was carried to the beginning of fracture initiation by means of hand drive of loading mechanism; maximum reached load was fixed and compression-test diagram was taken out. As a result of the work regressional dependences of caryopsis sectional area on ultimate breaking stress were obtained. Weak dependence of average breaking load on seed dimensions was detected, average ultimate stress decrease while frontal area extension was shown. Average values of ultimate stresses are: for pea of the Altaic Whiskered variety – 6,91 MPa; for barley of the Raoshan variety – 6,78 MPa.

**Keywords:** caryopsis, strength, compression, breaking load, sectional area, stress.

УДК 628.94

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИВОЙ СИЛЫ СВЕТА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ РАВНОМЕРНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

Н.П. КОЧЕТКОВ, кандидат технических наук, профессор

Т.А. ШИРОБОКОВА, кандидат технических наук, доцент

Т.Р. ГАЛЛЯМОВА, старший преподаватель

Ижевская ГСХА

E-mail: nir210@mail.ru

**Ключевые слова:** кривые сил света, освещенность горизонтальной поверхности, коэффициент неравномерности.

**Резюме.** Исследования проводили с целью оценки эффективности светильников со стандартными типами кривых сил света, а также определение оптимальной кривой. При этом под последней понимали такую кривую, которая обеспечивает повышенную равномерность освещения горизонтальной рабочей поверхности при заданных критериях. В качестве одного из критериев эффективности принята минимальная величина светового потока светильника, обеспечивающая нормируемую освещенность горизонтальной рабочей поверхности, второго – коэффициент неравномерности освещения горизонтальной рабочей поверхности. Цель достигается теоретическим анализом известных кривых сил света таких как М (равномерная), Д (косинусная), Г (глубокая), Л (полуширокая), Ш (широкая) по сформулированным критериям. Сравнение существующих кривых сил света проводили с идеальной кривой, обеспечивающей абсолютную равномерность освещения горизонтальной рабочей поверхности при минимальном световом потоке. Наиболее эффективны светильники, имеющие полуширокую и широкую кривые силы света, световой поток которых составляет соответственно 3,56 и 3,6 о.е. Светильники с глубокой и косинусной кривой силой света отличаются повышенной неравномерностью освещения, а у приборов с широкой и полуширокой кривой коэффициент неравномерности наименьший – соответственно 1,3 и 1,5 о.е.

Для освещения горизонтальной рабочей поверхности используются светильники со следующими типами кривых сил света (КСС): М (равномерная), Д (косинусная), Г (глубокая), Л (полуширокая), Ш (широкая). Большинство светильников имеют косинусную или близкую к ней КСС [1]. Величина светового потока имеет максимальное значение на оптической оси светильника, а по мере удаления от нее из-за уменьшения силы света в направлении отличном от осевого освещенность поверхности уменьшается пропорционально квадрату расстояния от светильника до поверхности, что создает дискомфорт при перемещении в помещении и увеличивает время адаптации к освещению. При этом в ряде случаев освещение горизонтальной рабочей поверхности должно быть равномерным. Из основного закона светотехники

$$E = \frac{I_{\alpha} \cdot (\cos \alpha)^3}{h^2} \quad (1)$$

(где  $I_{\alpha}$  – сила света светильника в направлении угла  $\alpha$ ;  $h$  – расстояние от светильника до горизонтальной рабочей поверхности) можно получить соотношение между силой света в данном направлении и заданной величиной освещенности в данной точке горизонтальной поверхности: