

## Эффективность защиты кабины мобильного энергетического средства от прямого солнечного излучения

### Effectiveness of protection of mobile power unit cab from direct solar radiation

О. И. ПОЛИВАЕВ, д-р техн. наук  
И. Б. ЖУРАВЕЦ, канд. техн. наук  
С. З. МАННОЙЛИНА, канд. с.-х. наук  
И. С. ТЕСЛЕНКО, инж.

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия, car205@agroeng.vsau.ru

O. I. POLIVAEV, DSc in Engineering  
I. B. ZHURAVETS, PhD in Engineering  
S. Z. MANOYLINA, PhD in Agriculture  
I. S. TESLENKO, Engineer

Peter the Great Voronezh State Agrarian University, Voronezh, Russia, car205@agroeng.vsau.ru

Для нормализации микроклимата в кабинах мобильных энергетических средств требуется введение определенной технологии солнцезащиты. Современные кабины обладают высокой светопрозрачностью, что способствует интенсивному облучению оператора со всех сторон. Это становится причиной гипертермии, приводящей к негативным последствиям для здоровья оператора. Инсоляционный поток также влияет на радиоэлектронную аппаратуру, пластиковые детали и различные элементы кабины. Применяемые средства защиты, такие как затемненные стекла, пленки, чехлы, шторы, далеко не полностью решают данную проблему. Цель исследования — анализ интенсивности инсоляции, оценка ее величины в виде количественных характеристик и изыскание путей ее нейтрализации приемлемыми техническими способами. Рациональное средство, ограничивающее воздействие инсоляционного потока, — жалюзи. Сконструированные по предлагаемой схеме жалюзи способны значительно ограничить прямой поток солнечных лучей, обеспечивая при этом приемлемый обзор при движении мобильного энергетического средства. Это достигается расположением планок жалюзи в направлении визирных линий под разными углами. Главная характеристика эффективности жалюзи — ширина полосы пропускания прямых солнечных лучей. Она показывает рациональность предлагаемой конструкции и позволяет количественно оценить величину проходящего потока солнечных лучей. Для оценки предложен геометрический подход. Полученные в ходе расчетов количественные соотношения сопоставлены с экспериментальными геометрическими измерениями с достаточно близкой сходимостью численных результатов. Оценка эффективности применения жалюзи представлена через коэффициент защиты, показывающий величину снижения прямой инсоляции. Предлагаемая защита высокоэффективна и снижает прямую инсоляцию в 1,75—170 раз.

**Ключевые слова:** кабина; мобильное энергетическое средство; инсоляция; ограничение потока инсоляции; жалюзи; коэффициент защиты.

For normalization of microclimate in the cabs of mobile power units, it is necessary to introduce a particular technology of solar protection. The modern cabs have a high degree of light transmission, which enables intensive irradiation of operator on all sides. It results in a hyperthermia leading to the adverse health consequences for operator. The insolation flow also has impact on the electronic equipment, plastic parts and various elements of the cab. The applied means of protection, such as tinted glasses, films, covers and curtains, could not completely solve the problem. The study aim is the analysis of intensity of insolation, assessment of its value in form of quantitative characteristics, and search of the ways of its neutralization by acceptable technical means. One of the rational means limiting the impact of insolation flow is the use of blinds. The blinds designed according to the proposed scheme are able to limit significantly the direct solar flux, providing simultaneously an acceptable visibility during the movement of mobile power unit. This is achieved by the positioning of slats of blinds in the direction of sighting lines at different angles. The major efficiency characteristic of blinds is the transmission bandwidth of direct beams. It shows the design efficiency and allows to quantify the value of transmitted solar flux. For assessment, the geometric approach is proposed. The quantitative relationships received in the course of calculations are compared with experimental geometrical measurements, having a very close convergence of numerical results. The evaluation of blinds effectiveness is presented in form of the protection factor indicating the value of reduction of direct insolation. The proposed protection has a high efficiency and reduces the direct insolation by 1.75—170 times.

**Keywords:** cab; mobile power unit; insolation; restriction of insolation flow; blinds; protection factor.

#### Введение

Параметры микроклимата оказывают непосредственное влияние на тепловое состояние человека, его профессиональные способности и последующие возможные заболевания [1—3]. Длительное воздействие высокой температуры, особенно при повышенной влажности, может привести к значительному накоплению теплоты в организме и перегреванию выше допустимого уровня — гипертермии. Нагретые поверхности излучают в пространство потоки лучистой энергии, приводящие к отрицательным последствиям.

Под влиянием теплового облучения в организме происходят биохимические сдвиги, уменьшается кислородная насыщенность крови, понижается венозное давление, замедляется кровоток и, как следствие, появляются нарушения иммунитета, деятельности сердечно-

сосудистой и нервной систем. Установлено, что именно нарушения иммунитета, обусловленные инсоляцией, играют решающую роль в развитии злокачественных опухолей кожи у человека. При длительном воздействии солнечного потока возможно выделение высокомолекулярных полимеров, вызывающих онкологические заболевания [4].

В жаркие летние дни операторы мобильных энергетических средств (МЭС) подвержены интенсивной инсоляции, которая в определенные часы может восприниматься как изнуряющая и перегревающая.

Интенсивная инсоляция нередко приводит к выгоранию обивки салона и лакокрасочного покрытия, перегреву и частичному оплавлению пластиковых деталей, затруднению управления рулевым колесом и другими элементами, выходу из строя панелей приборов радио-

электронной аппаратуры и т.д. Перегрев радиоэлектронной аппаратуры влечет за собой отклонения параметров от допустимых значений, нарушения функции управления и нормальной работы агрегата в целом.

Все это обуславливает необходимость установки защиты против инсоляции на наиболее подверженных ей поверхностях — стеклах, крыше, боковых панелях. Среди известных средств защиты одно из наиболее эффективных — пластинчатые жалюзи, установленные определенным образом и приводимые в действие соответствующими устройствами [5]. Другие средства защиты, такие как пленки, шторы, чехлы, козырьки, лишь ослабляют инсоляцию, но не нейтрализуют ее полностью.

### Цель исследования

Цель исследования — привлечение внимания конструкторов и производителей мобильных энергетических и транспортных средств к вопросам проектирования кабин с применением солнцезащитных средств и всесторонней аналитической оценке условий работы оператора.

### Материалы и методы

Основная техническая задача — предложение конкретной системы защиты от инсоляции, позволяющей заметно снизить термическую нагрузку на кабину и оператора с одновременным облегчением работы системы кондиционирования и нормализацией микроклимата в кабине.

Жалюзи выбраны исходя из того, что такой способ защиты нейтрализует прямую инсоляцию, воздействующую непосредственно на поверхность тела оператора [6, 7]. Эффективность защиты может быть рассчитана достаточно простыми средствами через суммарную

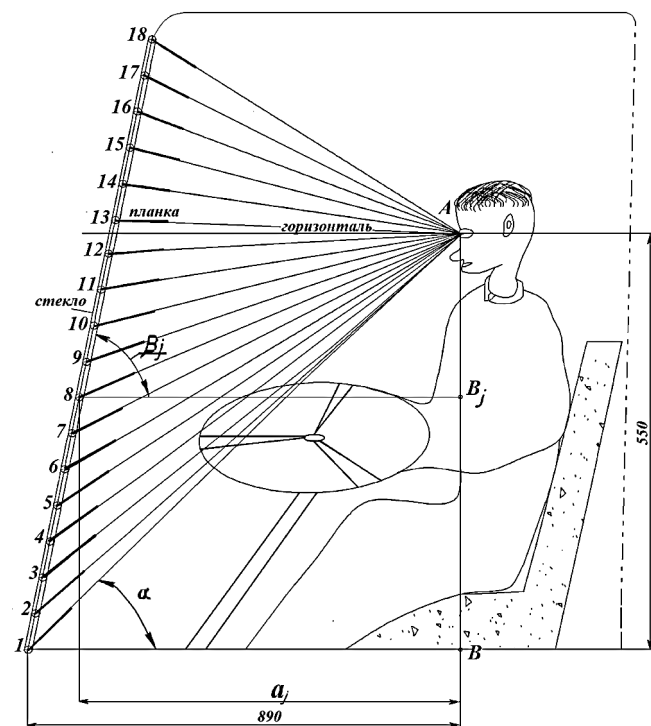


Рис. 1. Расположение планок жалюзи для трактора МТЗ-82

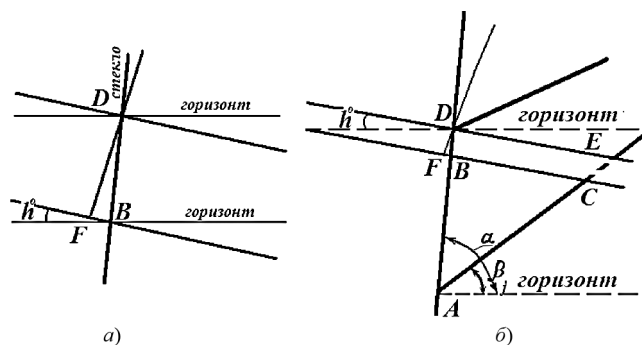


Рис. 2. Определение непосредственной ширины полосы пропускания солнечных лучей (а) и ширины этой полосы для нижней группы планок (б)

площадь полосы пропускания солнечных лучей, которая необходима для обеспечения нормального обзора по фронту движения МЭС. При любой конструкции жалюзи требуется обеспечить абсолютный визуальный контроль окружающей обстановки и минимизировать помехи. Этим требованиям соответствует конструкция жалюзи, представленная на рис. 1.

Проектирование, конструирование и оценка эффективности такой системы защиты связаны с аналитическими расчетами ее функциональных способностей. Они оцениваются по суммарной ширине полос пропускания солнечных лучей всеми планками при положениях наибольшей обзорности в зависимости либо от времени смены, либо от угла солнцестояния. Наиболее информативный аргумент — угол солнцестояния. Также следует учитывать многие факторы, снижающие постоянную солнечной активности до текущей, — влияние облачности, пыли, диффузионных явлений в атмосфере и т.д.

Группу планок жалюзи, расположенных ниже горизонтали, проходящей через глаз оператора, условно назовем нижней группой, несколько планок около горизонтали — средней группой, остальные — верхней группой. Нумерация планок ведется снизу.

Рассмотрим ширину полосы пропускания инсоляционного потока для нижней группы планок жалюзи, т.е. до определенной планки, которая занимает горизонтальное положение на линии, проходящей через глаз оператора.

Ширину полосы пропускания инсоляции можно определить из рис. 2, а. На рис. 2, б рассмотрены две соседние планки жалюзи.

Угол  $ABC = 180 - \alpha - h^0$ ; угол  $BAC = \alpha - \beta_j$ , где  $\beta_j$  — угол наклона к горизонту  $j$ -й планки. Шаг между планками жалюзи обозначим как  $AD = t$ , тогда  $AC = kt$ , где  $k$  — коэффициент взаимного перекрытия планок ( $k > 1$ ), который составляет  $k = 1,1$ . Угол  $AED = 180 - (ABC + BAC) = h^0 + \beta_j$ .

Из треугольника  $ADE$

$$\frac{AD}{\sin AED} = \frac{AE}{\sin ADE},$$

$$\text{или } \frac{t}{\sin(h^0 + \beta_j)} = \frac{AE}{\sin(180 - h^0 - \alpha)}$$

Отсюда

$$AE = t \frac{\sin(180 - h^0 - \alpha)}{\sin(h^0 + \beta_j)}$$

Угол наклона к горизонту любой планки может быть определен по формуле [5]:

$$\beta_j = \arctg \frac{h - t(j-1)\sin\alpha}{a - t(j-1)\cos\alpha}, \quad (1)$$

где  $a$  — расстояние от крайней нижней точки проекции перпендикуляра, опущенного из зрачка глаза оператора, до горизонтали, проведенной из этой точки;  $\alpha$  — угол между горизонтом и плоскостью стекла;  $h$  — высота зрачка глаза от горизонта, проходящая через нижний абрис стекла;  $t$  — шаг размещения жалюзи по образующей стекла;  $j$  — текущий индекс жалюзи.

Ширину  $f_j$  полосы пропускания инсоляции можно определить из соотношения (см. рис. 2, а):

$$f_j = DF = BD \cos BDE = (AD - AB) \cos BDE.$$

Из подобия треугольников  $ABC$  и  $ADE$  имеем  $\frac{AD}{AB} = \frac{AE}{AC} = \frac{AE}{kt}$ . Исходя из свойств пропорции можно записать:

$$\frac{AD - AB}{AD} = \frac{AE - FC}{AE}, \text{ или } \frac{DB}{t} = 1 - \frac{kt}{AE}.$$

Отсюда

$$DB = t - t \frac{kt \sin(h^0 + \beta_j)}{\sin(180 - \alpha)} = t \left( 1 - k \frac{\sin(h^0 + \beta_j)}{\sin\alpha} \right);$$

$$DF = f_j = t \left( 1 - k \frac{\sin(h^0 + \beta_j)}{\sin\alpha} \right) \cos BDF.$$

Из треугольника  $BDE$  угол  $BDE = 90 - BDF = 90 - (180 - \alpha - h^0) = \alpha + h^0 - 90$ ;

$$f_j = t \left( 1 - k \frac{\sin(h^0 + \beta_j)}{\sin\alpha} \right) \cos(\alpha + h^0 - 90).$$

С учетом угла наклона планок к горизонту  $\beta_j$  получим ширину полосы пропускания солнечных лучей:

$$f_j = t \left( 1 - k \sin \left( h^0 + \arctg \frac{h - t(j-1)\sin\alpha}{a - t(j-1)\cos\alpha} \right) / \sin\alpha \right) \times \cos(\alpha + h^0 - 90).$$

### Результаты и их обсуждение

Для трактора МТЗ-82 угол солнцестояния  $h^0 = 30^\circ$  (см. рис. 1), коэффициент перекрытия  $k = 1,1$ , угол между горизонтом и плоскостью стекла  $\alpha = 80^\circ$ . Принимаем:  $a = 890$  мм — расстояние от крайней нижней точки проекции перпендикуляра, опущенного из зрачка глаза оператора, до горизонтали, проведенной из этой точки;  $h = 550$  мм — высота зрачка глаза от горизонта, проходящая через нижний абрис стекла;  $t = 50$  — шаг размещения жалюзи по образующей стекла.

Рассчитаем ширину полосы пропускания солнечных лучей между 6-й и 7-й планками жалюзи, учитывая формулу (1).

Угол наклона к горизонту  $\beta_{6-7} = 19,7^\circ$ . Тогда ширина полосы пропускания составит:

$$f_{6-7} = \left( t \frac{\sin(180 - h^0 - \alpha)}{\sin(h^0 + \beta_j)} - kt \right) \sin(h^0 + \beta_j) = 5,01 \text{ мм.}$$

В таблице представлены значения ширины полосы пропускания солнечных лучей в зависимости от угла солнцестояния  $h^0$ .

Измерения непосредственно на тракторе МТЗ-82 показали  $f_{6-7} = 4,2$  мм. В результате расчетов по приведенным формулам получена приемлемая сходимость с результатами графических определений.

Для трактора МТЗ-82 проведенные расчеты с последующей графической проверкой показали существенные возможности такой системы защиты, как жалюзи. Как видно из таблицы, защита за счет жалюзи наиболее эффективна в полдень. Изменения ширины полосы пропускания солнечных лучей можно проследить по графику, представленному на рис. 3.

Коэффициент защиты  $K_3$  — это отношение общей площади светопрозрачного покрытия к суммарной площади полосы пропускания прямых солнечных лучей при сохранении необходимого обзора по фронту движения. Величина коэффициента защиты  $K_3$  свидетельствует о снижении прямой инсоляции в 1,75–170 раз.

**Ширина полосы пропускания солнечных лучей, мм, в зависимости от угла солнцестояния  $h^0$**

Номера планок жалюзи	Угол солнцестояния $h^0$ , град.				
	0	15	30	45	52,5
1-2	16	12,5			
2-3	18	14			
3-4	22	15,5			
4-5	24	16,5			
5-6	29	20	3,8		
6-7	31	21	4,2	Нет про-света	
7-8	33	22	4,8		
8-9	37	24,5	7,5		
9-10	41	28,5	10		
10-11	43	29,5	11,5		
11-12	46	34	14		
12-13	49	36	18		
Горизонталь					Нет про-света
13-14	45	41	22	4	
14-15	39	42	24,5	5	
15-16	36	46	26	7	
16-17	31	42	30	12	1,5
17-18	28	34	31,5	14	3,5
Сумма/длина стекла	568/850	484/850	208/850	42/850	5/850
Коэффициент пропускания	0,668	0,569	0,245	0,049	0,006
Коэффициент защиты $K_3$	1,49	1,75	4,08	20,3	170

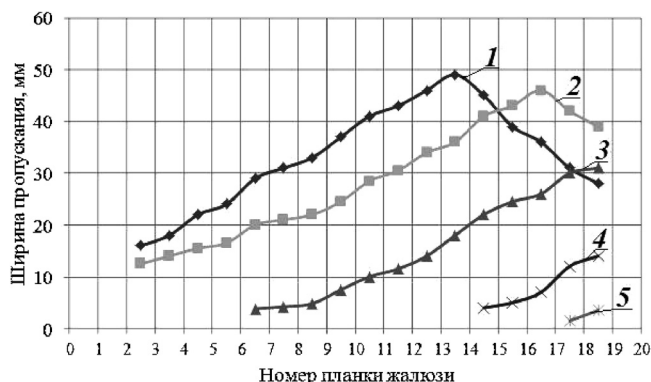


Рис. 3. График изменения ширины полосы пропускания солнечных лучей по номерам планок жалюзи при угле солнца  $h^0$ , равном:

1 — 0°; 2 — 15°; 3 — 30°; 4 — 45°; 5 — 52,5°

Таким образом, предлагаемая защита высокоэффективна. Характерно, что ее эффективность резко возрастает по мере увеличения солнечной активности: чем выше энергетическая составляющая солнечной активности, тем эффективнее защита.

### Выводы

1. В рамках решения задачи по улучшению условий труда оператора МЭС предлагается уделить большее внимание мероприятиям по защите от тепловых перегрузок, предшествующим кондиционированию воздуха в кабине и обеспечивающим его успех.

2. Предложены кинематические схемы жалюзи и даны формулы для определения их эффективности.

3. Приведенная методика оценки эффективности системы жалюзи может быть распространена на различные климатические зоны России и самые разнообразные модели МЭС, используемые в широком диапазоне как сельскохозяйственных, так и других работ.

### Литература и источники

1. Журавец И. Б., Цуцких Ю. В., Галкин Е. А. и др. Снижение теплового воздействия на оператора мобильных энерге-

тических средств // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2010, № 1. С. 18—20.

2. Журавец И. Б., Манойлина С. З., Попов Н. А. и др. Стабилизация баланса теплоты в кабине МЭС // Вестник ВГАУ. 2015, № 1 (44). С. 48—53.

3. Поливаев О. И., Гребнев В. П., Ворохобин А. В. Теория тракторов и автомобилей: Учебник / Под общ. ред. О. И. Поливаева. СПб.: Лань, 2016. 232 с.

4. Чубинский С. М. Лучи солнца и действие их на организм человека. М.: Медгиз, 1959. 215 с.

5. Журавец И. Б., Манойлина С. З. Солнцезащита кабин мобильных энергетических средств: Монография. Воронеж: Изд-во Воронежского ГАУ, 2016. 235 с.

6. Журавец И. Б., Журавец М. А., Манойлина С. З. Экологичные системы микроклимата в кбинах мобильных энергетических средств: Монография. Воронеж: Изд-во Воронежского ГАУ, 2015. 271 с.

7. Поливаев О. И., Журавец И. Б., Манойлина С. З. Средства защиты кабины МЭС от инсоляции // Тракторы и сельхозмашины. 2015, № 8. С. 10—14.

### References

1. Zhuravets I. B., Tsutskikh Yu. V., Galkin E. A., Popov N. A. Reducing the thermal exposure of operator of mobile power unit. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*, 2010, no. 1, pp. 18—20 (in Russ.).

2. Zhuravets I. B., Manoylina S. Z., Popov N. A., Galkin E. A. Stabilization of heat balance in the cab of mobile power unit. *Vestnik VGU*, 2015, no. 1 (44), pp. 48—53 (in Russ.).

3. Polivaev O. I., Grebnev V. P., Vorokhobin A. V. *Teoriya traktorov i avtomobiley* [Theory of tractors and automobiles]. Under the editorship of O. I. Polivaev. Saint Petersburg, Lan' Publ., 2016, 232 p.

4. Chubinskiy S. M. *Luchi solntsa i deystvie ikh na organizm cheloveka* [Rays of the sun and their effect on human body]. Moscow, Medgiz Publ., 1959, 215 p.

5. Zhuravets I. B., Manoylina S. Z. *Solntsezashchita kabin mobil'nykh energeticheskikh sredstv* [Sun protection for cabs of mobile power units]. Voronezh, Voronezh State Agrarian University Publ., 2016, 235 p.

6. Zhuravets I. B., Zhuravets M. A., Manoylina S. Z. *Ekologichnye sistemy mikroklimate v kabinakh mobil'nykh energeticheskikh sredstv* [Eco-friendly climate systems in the cabs of mobile power units]. Voronezh, Voronezh State Agrarian University Publ., 2015, 271 p.

7. Polivaev O. I., Zhuravets I. B., Manoylina S. Z. Equipment for mobile power unit cab protection from insolation. *Traktory i sel'khoz mashiny*, 2015, no. 8, pp. 10—14 (in Russ.).