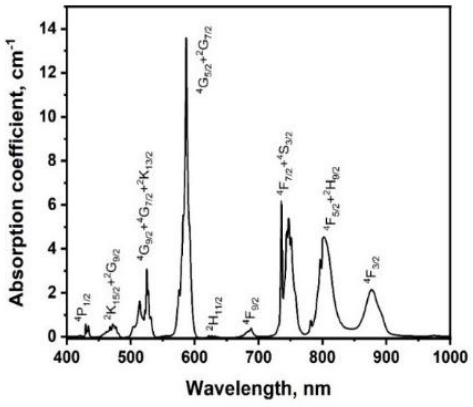


Figure 2 – Unpolarized absorption spectrum of $Nd:LaAl_2B_3O_9$ crystal

Thus, the $Nd_x:La_{1-x}Al_2B_3O_9$ crystal pumping can be performed by an AlGaAs laser diode at the wavelength of 808 nm, corresponding to the transition $^4I_{9/2} \rightarrow {}^4F_{5/2}$. The ions excited by the pump radiation nonradiatively relax to the long-lived level $^4F_{3/2}$, which is the initial level for the main lasing transitions. In this case, it is possible to obtain lasing on three transitions: $^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$ (≈ 0.9 μm), $^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$ (≈ 1.06 μm), and $^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$ (≈ 1.3 μm).

In conclusion, the $Nd_x:La_{1-x}Al_2B_3O_9$ crystals looks promising as a gain medium for compact diode-pumped lasers operating in the IR spectral range.

References

1. Новая серия двойных метаборатов / А. В. Пашкова [и др.] // Доклады Академии наук СССР. – 1981. – Т. 258, № 1. – С. 103–106.

2. Кристаллическая структура нестехиометричного Nd, Al-диметабората $NdAl_{2.07}[B_4O_{10}]O_{0.6}$ / Д. Ю. Пущаровский, О. Г. Карпов, Н. И. Леонюк, Н. В. Белов // Доклады Академии наук СССР. – 1978. – Т. 241, № 1. – С. 91–94.

3. A new double-cell polytype of samarium aluminum dimetaborate: Synthesis, crystal structure, and spectroscopic characterization / A. M. Antipin [et al.] // Materials Today Communications. – 2022. – Vol. 31. – Art. 103317.

4. Peprossiite-(Ce), a new mineral from Campagnano (Italy): the first anhydrous rare-earth-element borate / G. Della Ventura, G. Parodi, A. Mottana, M. Chaussidon // European Journal of Mineralogy. – 1993. – Vol. 5. – P. 53–58.

5. $REEAl_{2.07}(B_4O_{10})O_{0.60}$ dimetaborates (REE = La, Pr); synthesis and X-ray structural characterization / F. Capitelli [et al.] // Zeitschrift für Kristallographie. – 2011. – Vol. 236. – P. 219–225.

УДК 681.722.25, 535.317

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИЗМЫ С ПОВЕРХНОСТЯМИ FREEFORM

Алешкевич К. В., Артюхина Н. К.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Аннотация. Представлены особенности проектирования и результаты расчета клиновидной призмы с поверхностями свободной формы.

Ключевые слова: поверхности freeform, клиновидная призма, полное внутреннее отражение, структурные ограничения.

DESIGNING A PRISM WHITH FREEFORM SURFACES

Aleshkevich K. V., Artyukhina N. K.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Abstract. The article presents the design features and calculation results of a wedge-shaped prism whith freeform surfaces.

Keywords: freeform surfaces, Wedge-shaped prism, total internal reflection, structural constraints.

Адрес для переписки: Алешкевич К. В., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: kari.alyshkevich@gmail.com.

Совершенствование оптики компактных систем требует сохранения высокого качества изображения при уменьшении массогабаритных характеристик. Это приводит к усложнению оптических схем за счет применения элементов с асферической формой преломляющих поверхностей, а также дифракционных оптических элементов. Однако этого недостаточно, поэтому перспективным видится применение компоновки на основе клиновидных призм с оптическими поверхностями freeform (свободной формы) [1].

Цель работы – определить особенности проектирования призмы с поверхностями свободной формы, представленной на рисунке 1.

Ключевыми вопросами в ходе проектирования призмы с поверхностями freeform, согласно источнику [2], являются:

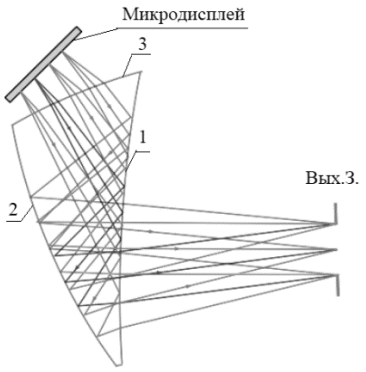
– представление поверхности свободной формы и выбор стратегии проектирования;

– ограничение полного внутреннего отражения (ПВО);

– структурные ограничения для формирования допустимой призмы-линзы.

Выбор подходящего метода для представления поверхности свободной формы очень важен. Различные методы представления не только поразному влияют на скорость трассировки лучей и сходимость оптимизации, но и предлагают разные степени свободы проектирования.

Поэтому, принимая во внимание скорость трассировки и большое количество полей, было решено использовать следующую методику.



1 – поверхность свободной формы, работающая на ПВО; *2* – асферическая поверхность; *3* – преломляющая поверхность свободной формы

Рисунок 1 – Ход лучей в призме свободной формы

Система моделируется «наоборот» тому, как установка будет работать в реальности. В действительности (в физической системе) источником излучения является микродисплей, а плоскостью изображения – сетчатка человеческого глаза. Однако для точного моделирования этой настройки и эффективной оптимизации в OpticStudio система определена таким образом, что выходной зрачок физической системы является входным зрачком.

Во избежание преждевременного выхода луча из призмы, при ее моделировании, нужно начинать добавлять поверхности по одной и отслеживать ход главного луча под одним углом поля зрения через систему, при этом наклоняя грани призмы и указывая поверхности с отражением по необходимости.

В связи с тем, что поверхность 1 работает как с преломленными, так и с отраженными лучами (поверхность 1' на рисунке 2), на нее не наносится отражающее покрытие, а отражение происходит за счет ПВО.

Поэтому ограничение на угол падения верхнего краевого луча R_{1b} на поверхность 1' можно записать:

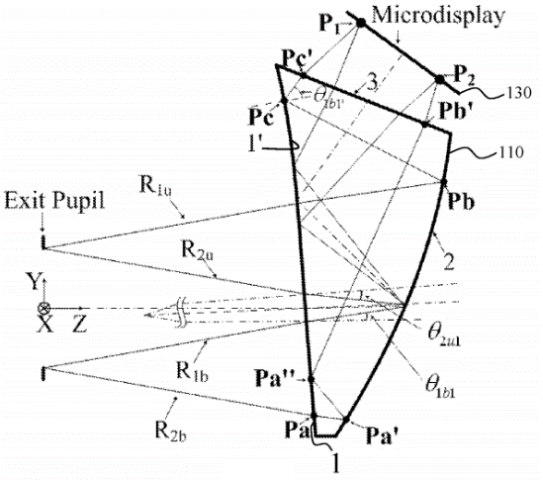
$$\theta_{1b1'} > arcin\frac{n_r}{n_i}, \quad (1)$$

где n_r – показатель преломления материала, в котором будет происходить преломление, n_i – показатель преломления среды, в которой распространяется свет.

Для избегания ПВО на поверхности 1 применяется система уравнений (2):

$$\begin{cases} \theta_{1b1} < arcsin\frac{n_r}{n_i}, \theta_1 \le 0, \\ \theta_{2u1} < arcsin\frac{n_r}{n_i}, \theta_1 \ge 0, \end{cases} \quad (2)$$

где θ_{1b1} – угол падения нижнего краевого луча R_{1b} на поверхность 1; θ_{2u1} – угол падения верхнего краевого луча R_{2u} на поверхность 1; θ_1 – угол наклона поверхности 1 вокруг оси X.



1 – поверхности свободной формы, работающая на ПВО; *1'* – поверхность, имитирующая поверхность 1; *2* – асферическая поверхность; *3* – преломляющая поверхность свободной формы

Рисунок 2 – Ограничение ПВО в призме-линзе

Проектирование клиновидной призмы с поверхностями свободной формы требует оптимизации не только по ПВО, но и форм отдельных поверхностей для минимизации ошибок волнового фронта при ограничениях угла падения луча, установленных выражениями (1) и (2). Кроме того, необходимо ввести дополнительные структурные ограничения для того, чтобы гарантировать, что три поверхности вместе образуют правильную форму призмы-линзы, что все лучи через поля могут быть прослежены без помех или преждевременного выхода из поверхности, и что призма-линза сохранил желаемую толщину центра и края. Принимая это во внимание можно записать ограничения для оптимизации призмы:

$$\begin{cases} Y_{P_{a'}} - Y_{P_a} < 0 \\ Y_{P_{a''}} - Y_{P_a} > 0 \\ 1 < Z_{P_{a'}} - Z_{P_a} < 7 \end{cases}, \quad (3)$$

$$\begin{cases} Y_{P_{b'}} - Y_{P_b} > 0 \\ -5 < Z_{P_{b'}} - Z_{P_b} < -1 \end{cases}, \quad (4)$$

$$\begin{cases} -4 < Y_{P_c} - Y_{P_{c'}} \le 0 \\ -1 < Z_{P_c} - Z_{P_{c'}} < 0 \end{cases}, \quad (5)$$

$$\begin{cases} Z_{P_a} \ge \text{вынос зрачка} \\ Z_{P_c} \ge \text{вынос зрачка} \end{cases}, \quad (6)$$

где все координаты *Y*, *Z* в уравнениях относятся к глобальной системе координат с началом, расположенным в центре выходного зрачка.

Эффективность приведенных рекомендаций продемонстрирована результатами расчета компактного окуляра призматического типа, представленного на рисунке 3.

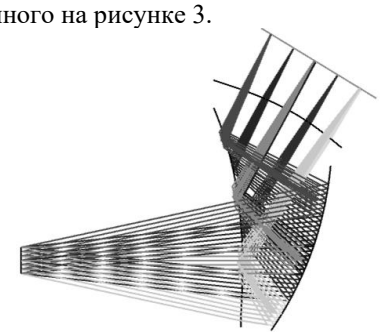


Рисунок 3 – Призма-линза после окончательной оптимизации

Данная система работает в спектральном диапазоне (480–656,3) нм и имеет фокусное расстояние $f' = 22{,}2$ мм, входной зрачок $D = 4$ мм, угловое поле зрения по вертикали $2\omega_V = 24{,}2°$, по горизонтали $2\omega_{\text{H}} = 31{,}6°$, по диагонали $2\omega_D = 39{,}5°$, вынос зрачка 27 мм. Разрешающая способность в центре поля составляет 1'. При этом габариты системы не превышают (38,5 × 18,6 × 31) мм.

В ходе работы были проанализированы данные по призме с поверхностями freeform, получены аналитические выражения для структурных ограничений и ПВО при оптимизации схемы. Для подтверждения работы представленных формул, по описанной методике была спроектирована призма-линза с поверхностями свободной формы.

Литература

1. Грейсух, Г. И. Компактный объектив перископического типа на основе клиновидных призм с поверхностями свободной формы / Г. И. Грейсух, Е. Г. Ежов, И. А. Левин, С. В. Казин // Оптический журнал. – 2021. – Т. 88, № 10. – С. 3–10.

2. Optical see-through free-form head-mounted display: пат. US 11300790 B2 / D. Cheng [et al.]; заявл. 12.01.2022; опубл. 12.04.2022. – 15 с.

УДК 623.467

РАЗВИТИЕ ПРИЕМО-ПЕРЕДАЮЩИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

Али-заде Э. Т., Кузнечик В. О.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Аннотация. В работе рассмотрены различные типы управления беспилотными летательными аппаратами, а также способы взаимодействия оператора с летательным аппаратом и недостатки каждого метода связи. Изложен принцип работы беспроводной оптической системы связи. Предложен вариант дальнейшего развития приемо-передающих систем управления по лазерному лучу.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, связь между пилотом и аппаратом, лазерный канал управления.

DEVELOPMENT OF RECEIVING AND TRANSMITTING AIRCRAFT CONTROL SYSTEMS

Ali-zade E. T., Kuznechik V. O.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Abstract. The paper considers various types of control of unmanned aerial vehicles, as well as ways for the operator to interact with the aircraft and the disadvantages of each communication method. The principle of operation of a wireless optical communication system is described. A variant of further development of laser beam receiving and transmitting control systems is proposed.

Keywords: unmanned aerial vehicle, communication between the pilot and the vehicle, laser control channel.

Адрес для переписки: Али-заде Э. Т. пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: alizade.eldar843@gmail.com

Согласно определению, одобренному ИКАО, беспилотный летательный аппарат (дрон) представляет собой воздушное судно без пилота, которое выполняет полет без командира воздушного судна на борту и либо полностью дистанционно управляется из другого места с земли, с борта другого воздушного судна, из космоса, либо запрограммированно и полностью автономно [1].

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) делятся на гражданские, коммерческие и военные. Они применяются для решения различных задач: сельское хозяйство, строительство, энергетика, археология, картографирование, тушение пожаров, поисково-спасательные операции, медицина, мониторинг трубопроводов, мостов, линий электропередач, охраняемых объектов и другие.

Первый дистанционно управляемый БПЛА военного назначения многократного использования появился в 1933 году, гражданские дроны – в 2000-х годах.

На данный момент управление беспилотными аппаратами осуществляется тремя типами: дистанционный, автономный и гибридный.

Дистанционное управление полетом – это работа специалиста с пультом. Аппарат получает команды, а также передает информацию пилоту в реальном времени.