

УДК 621.7

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЦВЕТОВОЙ МОДЕЛИ HSV ДЛЯ РЕШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ**В. Л. Доброскок, А. В. Погарский**

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, 61002, Украина. E-mail: vldob@narod.ru; avpog.box@ya.ru

Рассмотрены вопросы использования цветowych шкал. Представлены основные характеристики цветовой модели HSV. Обоснована необходимость расширения технологических возможностей HSV-модели при конструировании цветowych шкал. Предложена полигармоническая цветовая модель HSVP, где основные цвета R/G/B представлены в виде косинусоид, основанная на базе усовершенствованной HSV-модели, путем независимого изменения яркости, насыщенности и угла сдвига фаз трех основных цветов R/G/B. Представлен алгоритм перехода от HSVP цветовой модели к RGB для аппаратной реализации предложенной модели. Возможности HSVP-модели проверены при конструировании специальных цветowych шкал: побежалости и свечения металлов. Практическое использование предложенных подходов показало, что цветовая модель HSVP существенно расширяет возможности конструирования цветowych шкал для решения технологических задач.

Ключевые слова: визуализация, технология машиностроения, HSV, HSVP.

УДОСКОНАЛЕННЯ КОЛІРНОЇ МОДЕЛІ HSV ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАДАЧ**В. Л. Доброскок, А. В. Погарський**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

вул. Фрунзе, 21, м. Харків, 61002, Україна. E-mail: vldob@narod.ru; avpog.box@ya.ru

Розглянуті питання використання колірних шкал. Наведені основні характеристики колірної моделі HSV. Обґрунтована необхідність розширення технологічних можливостей HSV-моделі при конструюванні колірних шкал. Запропонована полігармонічна колірна модель HSVP, де основні кольори R/G/B приведені у вигляді косинусоїд, яка заснована на базі вдосконаленої HSV-моделі, шляхом незалежної зміни яскравості, насиченості і кута зсуву гармонічних компонент основних кольорів R/G/B. Представлений алгоритм переходу від HSVP колірної моделі до RGB для апаратної реалізації запропонованої моделі. Можливості HSVP-моделі перевірені при конструюванні спеціальних колірних шкал: мінливості і світіння металів. Практичне використання запропонованих підходів показало, що колірна модель HSVP суттєво розширює можливості конструювання колірних шкал для вирішення технологічних задач.

Ключові слова: візуалізація, технологія машинобудування, HSV, HSVP.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Цветовая визуализация объектов позволяет более наглядно представить их исследуемые характеристики. В САПР цветовая визуализация используется для сопоставления полученных результатов (шкала значений исследуемого признака) с цветовой шкалой [1, 2]. Каждая отметка упорядоченного ряда шкалы соответствует определенному цвету (оттенку), предоставляя таким образом расширенную визуальную информацию об исследуемом признаке. Цветовые шкалы достаточно широко применяются во многих областях науки и техники [3]. Пример использования такого подхода представлен на рис. 1.

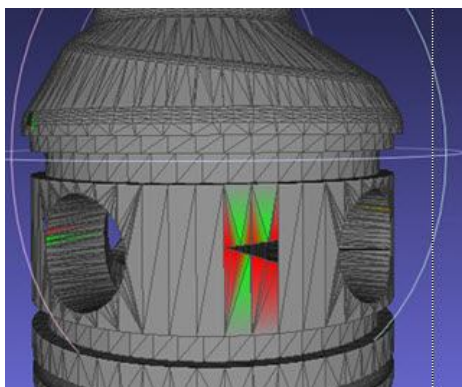


Рисунок 1 – Цветовая визуализация граней триангуляционной модели по значению смежности их вершин

В машиностроении существуют шкалы, отражающие изменение цвета объекта при технологическом воздействии на него, например: цвета побежалости стали, свечения (каления) металла (сплава) и др. [4]. Таким образом, специальные цветовые шкалы могут использоваться для визуализации изменений исследуемых технологических признаков [5]. На сегодняшний день не существует общепринятого метода конструирования специальных цветowych шкал. В большинстве случаев такие шкалы конструируются путем подбора сочетаний основных цветов, что вызывает сложности при необходимости обеспечения плавного перехода оттенков. Процедуры формирования таких шкал в прикладном программном обеспечении инкапсулированы (скрыты от конечного пользователя).

Цель работы – разработка цветовой модели с нефиксированной изменяющейся цветовой шкалой имеющей расширенные возможности регулирования гаммы цветowych оттенков с заданным порядком расположения цветов для решения технологических задач.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Базовая цветовая модель HSV (Hue, Saturation, Value) имеет фиксированную непрерывную шкалу с оттенками спектра разложения белого цвета. HSV-модель основана на предположении, что цвет может быть описан единственной монохроматической волной – цветowym тоном (оттенком) H с дополнительным заданием насыщенности S и светлоты (значе-

ние цвета, яркость) V . Параметры данной цветовой модели следующие:

H (Hue) – цветовой тон, одна из основных характеристик цвета определяющая его оттенок, варьируется в пределах $0-360^\circ$;

S (Saturation) – насыщенность, характеризует качество чистоты хроматического цветового тона, чем ближе этот параметр к нулю, тем больше добавление белого цвета в цветовой тон, варьируется в пределах $0-255$ ($0-1$ или $0-100$);

V (Value) – яркость, чем ближе этот параметр к нулю, тем больше добавление черного цвета в цветовой тон варьируется в пределах $0-255$ ($0-1$ или $0-100$).

Цветовой тон $H = 0-360^\circ$ обеспечивает плавный переход между основными цветами: красный \Rightarrow желтый \Rightarrow зеленый \Rightarrow голубой \Rightarrow синий \Rightarrow пурпурный. При создании цветowych шкал HSV возможно изменение диапазона оттенков ($H_{Left} > 0^\circ$ и/или, $H_{Right} < 360^\circ$), яркости V и насыщенности S . Основные цвета R/G/B сдвинуты друг относительно друга на 120° .

Использование фиксированной цветовой шкалы ограничивает возможности регулирования гаммы необходимых цветowych оттенков и их порядка расположения. Поэтому существует необходимость в разработке более гибкой цветовой модели для решения задач визуализации в предметной области технологий машиностроения. В процессе исследований была разработана полигармоническая цветова модель HSVP (Hue, Saturation, Value, Polyharmonic) основанная на принципах HSV. Главными отличиями предлагаемой модели являются:

- использование для представления компонент R/G/B гармонических непрерывных функций (косинусов) вместо кусочно-линейных периодических функций ("трапецидальные косинусы");

- цветова шкала имеет начальный $H = H_{Left}$ и конечный цвета $H = H_{Right}$, в диапазоне которых размещаются все соответствующие спектру оттенки (возможен вариант инверсии шкалы $H_{Left} > H_{Right}$);

- возможность независимого изменения насыщенности S (S_R, S_G, S_B), яркости V (V_R, V_G, V_B) и угла сдвига гармонических компонент R/G/B $\Rightarrow P$ (P_R, P_G, P_B).

Для аппаратной реализации цветовой шкалы, необходим переход к цветовой модели RGB. Расчет компонент $R_i/G_i/B_i = f(H_i)$ выполняется по следующей зависимости:

$$R_i/G_i/B_i = Y_{mean\ R/G/B} (A_{R/G/B} V_{R/G/B} / 255) \times \cos(H_i - P_{R/G/B}), \quad (1)$$

где $Y_{mean\ R/G/B}, A_{R/G/B}$ – вспомогательные переменные:

– среднее значение компонент R/G/B

$$Y_{mean\ R/G/B} = (Y_{max\ R/G/B} + Y_{min\ R/G/B}) / 2; \quad (2)$$

– амплитуда компонент R/G/B

$$A_{R/G/B} = (Y_{max\ R/G/B} - Y_{min\ R/G/B}) / 2 = V_{R/G/B} S_{R/G/B} / 510, \quad (3)$$

где $Y_{max\ R/G/B} = V_{R/G/B}, Y_{min\ R/G/B} = V_{R/G/B} (1-$

$S_{R/G/B} / 255)$ – максимальное и минимальное значения компонент R/G/B.

Цветова шкала HSVP полигармонической цветовой модели представлена на рис. 2.

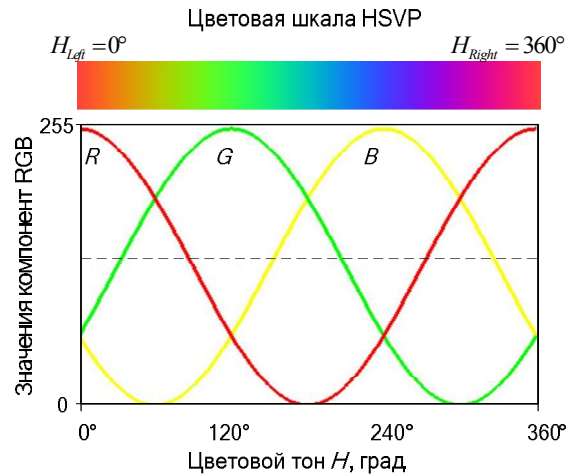


Рисунок 2 – Схема образования цветовой шкалы HSVP

Возможности предложенного подхода были проверены при построении цветowych шкал свечения (каления) металла (рис. 3) и побежалости стали (рис. 4). Параметры цветовой шкалы свечения металла: $S_{R/G/B} = 255, P_R = 100^\circ, P_G = 170^\circ, P_B = 220^\circ, V_R = 255, V_G = 255, V_B = 255, H_{Left} = 0^\circ, H_{Right} = 150^\circ$.

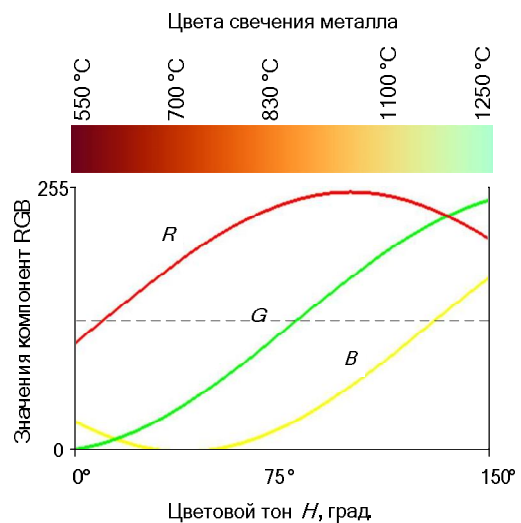


Рисунок 3 – Схема образования цветовой шкалы свечения металла на базе полигармонической цветовой модели HSVP

Параметры шкалы цветов побежалости стали: $S_{R/G/B} = 215, P_R = 280^\circ, P_G = 0^\circ, P_B = 110^\circ, V_R = 255, V_G = 240, V_B = 255, H_{Left} = 60^\circ, H_{Right} = 330^\circ$.

Цвета побежалости образуются на гладкой поверхности металла в результате формирования оксидной пленки и наблюдаются при нагреве сталей. До появления пирометров, по цвету побежалости, определялась температура нагрева стали.

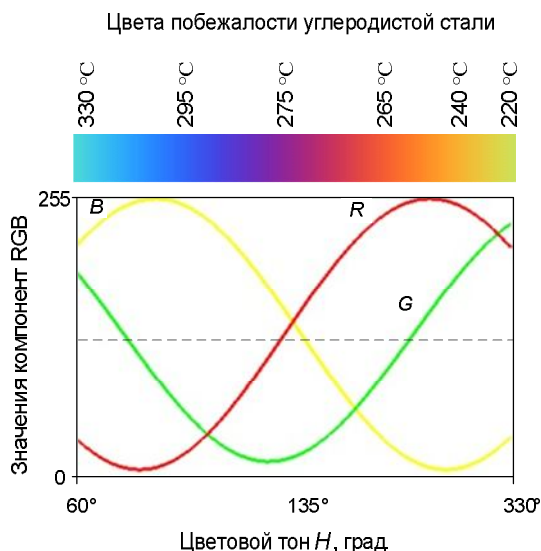


Рисунок 4 – Схема образования цветовой шкалы побежалости углеродистой стали на базе цветовой модели HSVP

Специальные цветовые шкалы могут применяться в различных предметных областях. Примером этого служит контрольная шкала цветовых температур светодиодов по стандарту цветности C78.377A (рис. 5).

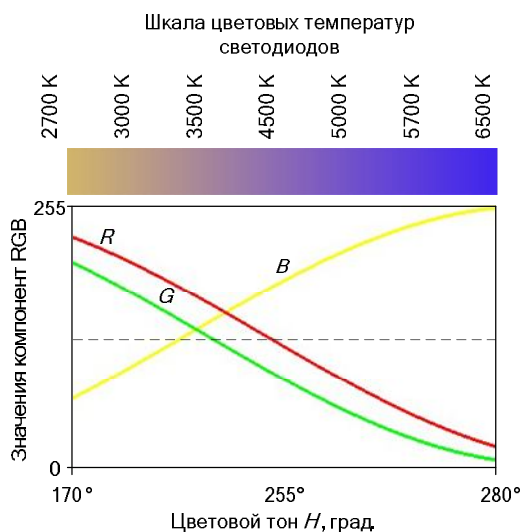


Рисунок 5 – Схема образования шкалы цветовых температур светодиодов на базе цветовой модели HSVP

Светодиоды, цвет которых отвечает значениям, указанным на шкале, соответствуют стандарту [6]. Параметры сконструированной цветовой шкалы следующие: $V = 255$, $S = 255$, $P_R = 215^\circ$, $P_G = 115^\circ$, $P_B = 290^\circ$, $V_R = 255$, $V_G = 240$, $V_B = 255$, $H_{Left} = 170^\circ$, $H_{Right} = 280^\circ$.

Специальные цветовые шкалы, полученные на базе модели HSVP, могут успешно применяться в САПР при имитационном моделировании различных физических и технологических процессов.

Выбор стратегии HSVP цветовой визуализации должен учитывать особенности конструктивно-

технологического анализа в контексте решаемой производственной или учебной задачи.

Можно выделить четыре типа цветовых шкал по аналогии с классификацией измерительных шкал [7]: номинативные, порядковые, интервальные и относительные.

Номинативные (дискретные) шкалы предназначены для идентификации цветов, путем присвоения им соответствующих имен или значений (рис. 1).

В *порядковых* шкалах два и более цвета располагаются по возрастанию или убыванию цветового тона H , насыщенности S или яркости V .

Цвета, визуально отличающиеся в *интервальной* цветовой шкале, делятся на интервалы (рис. 2, 4, 7, 9).

Относительные шкалы могут иметь исходный цвет с плавно изменяющейся яркостью V или насыщенностью S (рис. 3, 8). Расширенные возможности цветовой модели HSVP позволяют конструировать шкалы различных типов, что существенно повышает уровень восприятия исследуемого признака.

Цветовая модель HSVP используется в подсистеме цветовой визуализации в составе системы морфологического анализа триангуляционных моделей, разработанной на кафедре «Интегрированные технологии машиностроения» им. М.Ф. Семко Национального технического университета «Харьковский политехнический институт».

При визуализации специальная цветовая шкала сопоставляется с интервалом значений исследуемого признака U .

Визуализация производится на основании результатов морфологического анализа (топологических или морфометрических характеристик триангуляционной модели).

Плавный переход цветов (оттенков) осуществляется путем сопоставления относительных пропорций $U_{otn} = H_{otn}$ шкал исследуемого признака и цветового тона (4), (5).

Таким образом минимальное значение исследуемого признака будет соответствовать левой границе цветовой шкалы $U_{min} \Rightarrow H_{Left} = H_{min}$, а максимальное правой $U_{max} \Rightarrow H_{Right} = H_{max}$, для случая когда $H_{Left} < H_{Right}$ ($U_{max} \Rightarrow H_{Left} = H_{max}$ и $U_{min} \Rightarrow H_{Right} = H_{min}$ при $H_{Left} > H_{Right}$).

$$U_{otn} = (U_i - U_{min}) / (U_{max} - U_{min}), \quad (4)$$

$$H_{otn} = (H_i - H_{min}) / (H_{max} - H_{min}), \quad (5)$$

где U_i – визуализируемое значение исследуемого признака цветовым тоном H_i .

$$H_i = H_{otn} (H_{max} - H_{min}) + H_{min} = U_{otn} (U_{max} - U_{min}) + H_{min} \quad (6)$$

Наряду с полигармонической цветовой моделью HSVP, в подсистеме цветовой визуализации возможна окраска элементов триангуляционных моделей дискретно заданными цветами RGB и цветовой шкалой модели HSV (рис. 6).

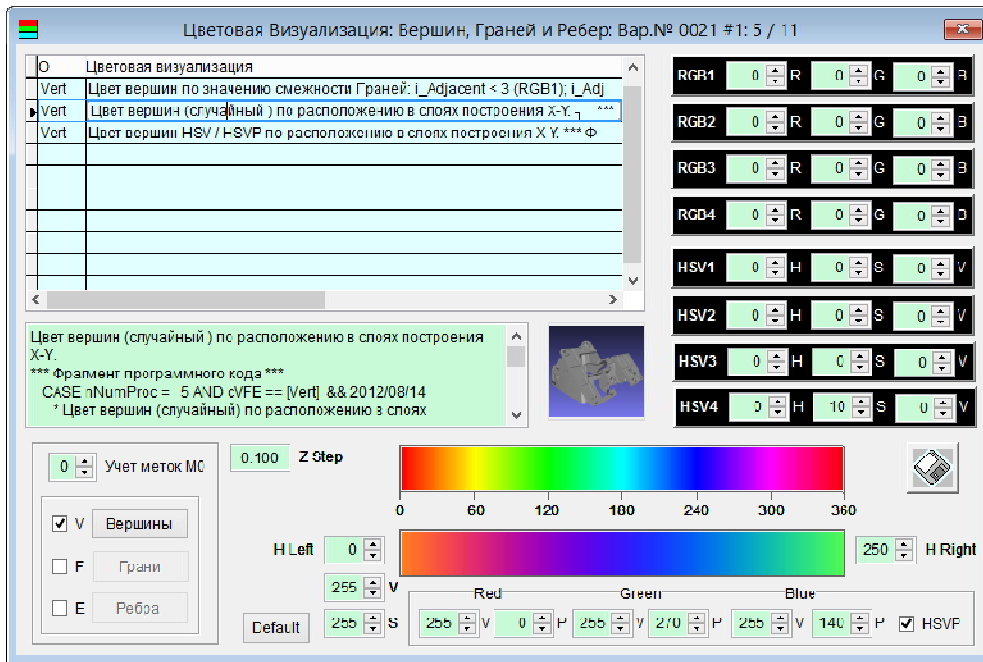


Рисунок 6 – Экранная форма подсистемы цветовой визуализации

Разработанная подсистема цветовой визуализации позволяет производить окраску следующих элементов триангуляционных моделей: вершин, граней или ребер. Рассмотрим примеры визуализации триангуляционных моделей:

– цветовая визуализация вершин по их располо-

жению в слоях построения (рис. 7) по оси $Z \Rightarrow U_i = f(Z_i, Z_{min}, Z_{max}, Step)$, где $Step$ – шаг построения на установке послойной материализации модели. Параметры цветовой шкалы следующие: $S_{R/G/B} = 255$, $P_R = 0^\circ$, $P_G = 270^\circ$, $P_B = 140^\circ$, $V_R = 255$, $V_G = 255$, $V_B = 255$, $H_{Left} = 0^\circ$, $H_{Right} = 250^\circ$.

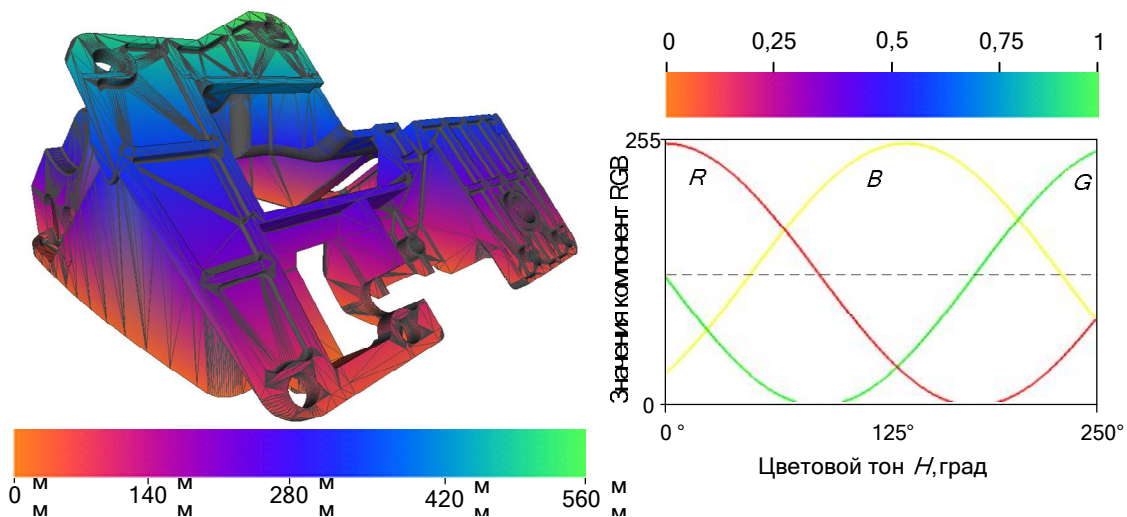


Рисунок 7 – Цветовая визуализация и схема образования цветовой шкалы по расположению вершин в слоях построения

– Цветовая визуализация по относительному значению площадей отдельных граней (рис. 8) $S \Rightarrow U_i = f(S_i, S_{min}, S_{max})$. Параметры цветовой шкалы сле-

дующие: $S_{R/G/B} = 255$, $P_R = 60^\circ$, $P_G = 120^\circ$, $P_B = 240^\circ$, $V_R = 255$, $V_G = 255$, $V_B = 255$, $H_{Left} = 0^\circ$, $H_{Right} = 300^\circ$.

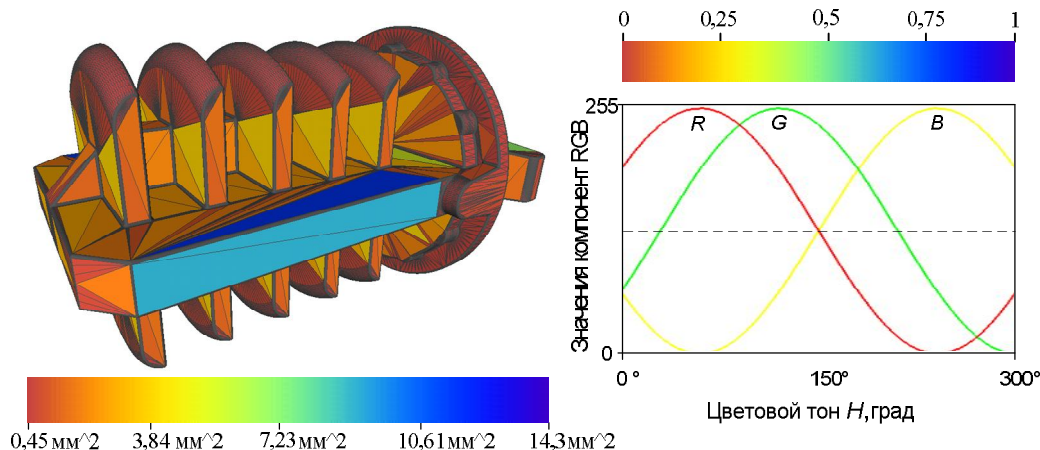


Рисунок 8 – Цветовая визуализация и схема образования цветовой шкалы по относительной величине площадей отдельных граней

– Цветовая визуализация по значениям направляющих косинусов нормалей треугольников относительно оси Z-направления построения при послойной материализации модели (рис. 9) $N_z = -1-1 \Rightarrow U_i =$

$f(N_i)$. Параметры цветовой шкалы следующие: $S_{R/G/B} = 255$, $P_R = 0^\circ$, $P_G = 120^\circ$, $P_B = 240^\circ$, $V_R = 255$, $V_G = 25$, $V_B = 255$, $H_{Left} = 0^\circ$, $H_{Right} = 240^\circ$.

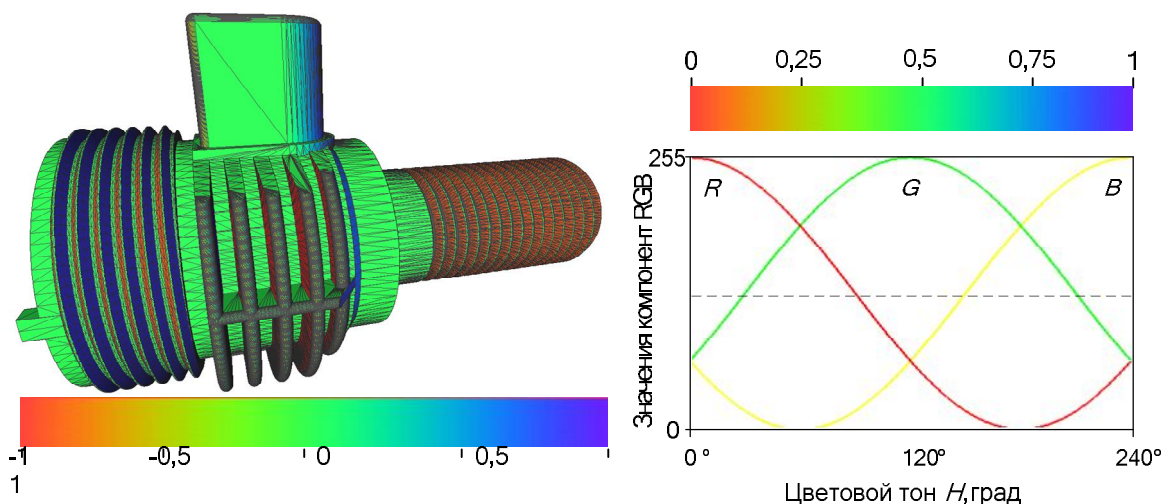


Рисунок 9 – Цветовая визуализация и схема образования цветовой шкалы по значениям направляющих косинусов нормалей треугольников относительно оси Z (направления построения)

Специальные цветовые шкалы для рассмотренных вариантов визуализации триангуляционных моделей позволяют представить исследуемые характеристики множества элементов модели (вершин, граней или ребер) в наглядном виде. Правильно подобранная цветовая шкала повышает восприятие исследуемого признака.

Так как в процессе морфологического анализа характеристики исследуемой STL-модели хранятся в DBF-образе (база данных топологических элементов) [8], то для применения визуализации необходимо произвести экспорт из DBF-образа в формат, поддерживающий многоцветность элементов модели. После выбора топологического элемента и признака, по которому необходимо произвести визуализацию, выполняется запись цветов в DBF-образ, затем осуществляется переход экранной форме экспорта DBF-образа в PLY, OBJ или OFF форматы. В

отличие от PLY в OBJ и OFF форматах возможна визуализация лишь вершин.

Просмотр моделей с цветовой визуализацией целесообразно выполнять в системе MeshLab, бесплатной и широко используемой в различных технических областях связанных с конструированием и обработкой полигональных моделей [9].

ВЫВОДЫ. Проведенные исследования показали, что предложенная полигармоническая цветовая модель HSVP существенно расширяет возможности конструирования цветовых шкал и создает предпосылки для более эффективного решения задач визуализации в предметной области технологии машиностроения.

Для более полной реализации рассмотренных подходов необходимо разработать научно обоснованную методологию конструирования цветовых шкал на основе HSVP модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Джадд Д., Вышецки Г. Цвет в науке и технике: Пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 592 с.
2. Kurowski P.M. Engineering Analysis with COSMOSWorks Professional. – Schroff Development Corporation, 2005. – 236 p.
3. Levkowitz H., Herman G.T. (1992), "The Design and Evaluation of Color Scales for Image Data", *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 12, pp. 72–80.
4. Бернст Р., Бемер Й., Дитрих Г. и др. Технология термической обработки стали / Пер. с нем. – М.: Металлургия, 1981. – 608 с.
5. Брянский Л.Н., Дойников А.С., Крупин Б.Н. Метрология. Шкалы, эталоны, практика. – М.: ВНИИФТРИ, 2004. – 222 с.
6. Вейнерт Д. Philips Color Kinetics. – 2010. – 156 с.
7. Кузнецов Ю.В. Введение в проблемы цветовой коммуникации. – СПб.: СЗИП, 2011. – 67 с.
8. Доброскок В.Л., Фадеев В.А. Гарашенко Я.Н., Чернышов С.И. Морфологический анализ триангуляционных моделей промышленных изделий // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2011. – Вып. 79. – С. 52–63.
9. Cignoni P., Callieri M., Corsini M. and other (2008), "MeshLab: an Open-Source Mesh Processing Tool" Proceedings of Eurographics Italian Chapter Conference, Salerno, Italy, Devember 2008, Visual Computing Lab, ISTI – CNR, pp. 129–136. – ISBN 978-3-905673-68-5.

IMPROVEMENT OF THE HSV COLOR MODEL TO SOLVE TECHNOLOGICAL TASKS

V. Dobroskok, A. Pogarsky

National technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

vul. Frunze 21, Kharkiv, 61002, Ukraine. E-mail: vldob@narod.ru; avpog.box@ya.ru

In the paper the problems of using color scales are reviewed and the basic characteristics of the HSV color model are presented. The necessity of expanding the technological capabilities of the HSV model in color scales designing is justified. It is proposed the polyharmonic color model HSVP, which R/G/B main colors are presented as cosine waves. The HSVP model is based on the advanced HSV model, but has the independent regulation of brightness, saturation, and phase angle of three primary colors – R/G/B. An algorithm for the transition from HSVP to RGB color model is presented, for hardware implementation of the proposed model. Feasibility of the HSVP model was tested at special color scales designing, such as oxidation and glow of metals. Practical use of the proposed approaches showed that the HSVP color model significantly expanded the designing capacities of color scales to solve technological tasks.

Key words: visualization, engineering, HSV, HSVP.

REFERENCES

1. Dzhadd, D., Vyshecki, G. (1978), *Tsvet v nauke i texnike* [Color is science and technique], translated, Mir, Moscow, Russia.
2. Kurowski, P.M. (2005), *Engineering Analysis with COSMOSWorks Prfessional*, Schroff Development Corporation, ISBN: 1-58503-249-2.
3. H. Levkowitz, G.T. Herman. (1992), "The Design and Ecvaluation of Color Scales for Image Data", *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 12, pp. 72–80.
4. Bernst, R., Bemmer, J., Ditrih, G. *et al.* (1981), *Tehnologiya termiceskoj robrabotki stali* [Technology of heat treatment of steel], translated, Metallurgia, Moscow, Russia.
5. Bryanskij, L.N., Dojnikov, A.S., Krupin, B.N. (2004), *Metrologiya. Shkaly, e'talony, praktika* [Metrology. Scale, standards, practice], VNIIFTRI, Moscow, Russia.
6. Vainert, D. (2010), *Philips Color Kinetics*, Philips Solid-State Lighting Solutions, Inc., ISBN: 978-0-615-36061-4.
7. Kuznetsov, Yu.V. (2011), *Vvedenie v problemy tsvetovoy kommunikatsii* [Introduction to color communication problem], SZIP, St.-Petersburg, Russia.
8. Dobroskok, V.L., Fadeev, V.A., Garashhenko, Ja.N., Chernyshov, S.I. (2011), "Morphological analysis of triangulation models of industrial articles", *Rezanie i instrument v tehnologicheskikh sistemah*, NTU «KhPI», Kharkov, vol. 79, pp. 52–63.
9. Cignoni, P., Callieri, M., Corsini, M. *et al.* (2008), "MeshLab: an Open-Source Mesh Processing Tool", Proceedings of Eurographics Italian Chapter Conference, Salerno, Italy, Devember 2008, *Visual Computing Lab*, ISTI – CNR, pp. 129–136, ISBN 978-3-905673-68-5.

Стаття надійшла 20.01.2014.