

И.Н. Егорова, К.Д. Антипенко

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

## О ПРИМЕНЕНИИ КРИВЫХ БЕЗЬЕ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ CSS АНИМАЦИИ

*Проведено исследование возможности использования кривых Безье для улучшения CSS анимации. Рассмотрены методы создания веб-анимации на основе кривых Безье с использованием языков CSS3, SVG или элемента Canvas. Разработаны рекомендации по эффективному использованию кубических кривых для анимирования объектов веб-интерфейса. В работе проведен эксперимент, в котором анимация реализована как с применением кривых Безье, так и без них. Анализ полученных данных показал, что плавность движения значительно улучшает восприятие веб-интерфейса пользователем и выделяет веб-ресурс среди аналогов. Использование кубической кривой Безье в CSS анимации позволяет создавать уникальные комбинации движений объектов во времени.*

**Ключевые слова:** анимация, кривая Безье, UI элемент, пользовательский интерфейс.

### Введение

**Постановка проблемы.** С развитием веб-технологий возрастают требования пользователя к удобству взаимодействия с интерфейсом, иными словами – юзабилити. Одним из главных инструментов для достижения этой цели стала веб-анимация, пришедшая из мультипликации и кинематографа. Основой для веб-анимации также являются кадры, смена которых делает любой элемент интерфейса динамичным. Интерактивность ориентирована на движение в пространстве, а также смену статических состояний объекта. Пользователь формирует определенное ожидание во время взаимодействия с веб-интерфейсом.

Воссоздать иллюзию взаимодействия с объектом реального мира стало возможным с приходом таких технологий как CSS3, JavaScript и элемента Canvas. Анимация реализуется заданием значений свойств объекта в определенных точках пространства с привязкой ко времени. Траектория движения объекта между точками анимируется браузером.

Выбор технологии создания анимации зависит от конечной цели, сложности сценария, сферы применения и навыков разработчика. Следует учитывать, что технология CSS3 имеет некоторое преимущество перед другими технологиями, если необходимо оптимизировать размер файла. В этом случае обработка файла происходит отдельно от основного потока браузера, в котором выполняется стилизация, перерасчет макета, перерисовка и обработка JavaScript. Правило выполняется только при использовании нересурсоемких свойств, иначе будет использован основной поток для обработки всех изменений макета.

Анимация призвана улучшить качество использования веб-ресурса, предоставить необходимые подсказки пользователю, направить его внима-

ние в нужное разработчику русло. Адаптация свойств объектов к свойствам реального мира осложняется использованием тайминг-функций.

Объект должен двигаться с некоторым ускорением или замедлением, подражая поведению объектов реального мира. Один из основных принципов анимации, описанных О. Джонстоном и Ф. Томасом [1], свидетельствует о том, что смягчение движения приближает веб-анимацию к естественным ожиданиям пользователя. Достичь подобного эффекта возможно посредством применения кривой Безье, которую еще именуют кривой усиления или ослабления (или стандартной кривой).

Консорциум W3C активно работает над спецификацией под названием “Web Animations” (веб-анимации) [2], целью которой является устранение ряда недостатков в CSS анимации, усовершенствование функции трансформации, обеспечении лучшего контроля исполнения и создании дополнительных функций. Стандарт CSS3 позволяет создавать анимацию без применения JavaScript, что значительно упрощает работу разработчиков. Основными разделами, предусмотренными стандартом для создания анимации, являются: Transitions, Animations и Motion Path Module CSS. Названные функции предполагают использование кривых Безье, что значительно расширяет существующие возможности каскадных таблиц стилей.

Таким образом, постоянно растущие требования пользователей к реалистичности взаимодействия и анимации, с одной стороны, и увеличивающиеся возможности, и простота использования CSS-анимации, с другой, делают проблему совершенствования такого вида анимации все более актуальной и востребованной.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Математическое описание кривой Безье, или дуги плоской кривой третьего порядка

$Bz(t) = (Bx(t), By(t))$ ,  $0 \leq t \leq 1$ , задается в параметрическом виде:

$$Bx(t) = \sum_{j=0}^3 Ber_j(t) \cdot x(Q_j),$$

$$By(t) = \sum_{j=0}^3 Ber_j(t) \cdot y(Q_j),$$

где  $Ber_j(t)$  – базовые скалярные полиномы Бернштейна третьей степени;  $Q_j = (x(Q_j), y(Q_j))$  – коэффициенты кривой, а параметр  $t$  изменяется в единичном интервале  $[1,0]$ . В общем случае, геометрические контуры не могут быть описаны в виде однозначной функции  $y = f(x)$ , поскольку контур может иметь вертикальные касательные или описываться обратной функцией  $x = f(y)$ . В этом состоит одна из трудностей непосредственного применения классических численных методов полиномиальной аппроксимации [3–4]. Геометрический смысл кривой Безье наглядно демонстрирует график, на котором коэффициенты  $P_0$  и  $P_3$  определяют крайние точки, а  $P_1$  и  $P_2$  определяют величины касательных (рис. 1).

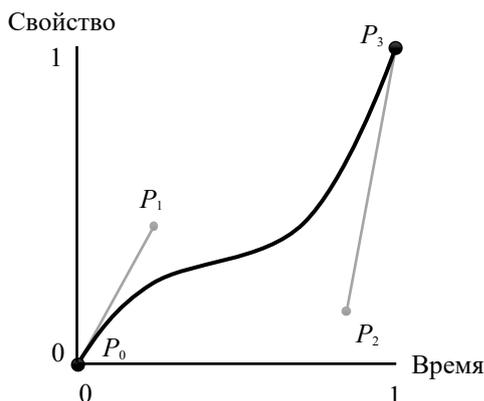


Рис. 1. Граф кубической кривой Безье

Геометрическая интерпретация кривых Безье позволяет использовать их как в 3D-моделировании, так и в веб-анимации.

Создание веб-анимации на основе кривых Безье осуществляется, как правило, с использованием языков CSS3, SVG или элемента Canvas. По аналогии с математической функцией, используется четыре параметра – начальная точка, две контрольные и одна конечная точка.

Так, элемент Canvas задействует метод `bezierCurveTo (x1, y1, x2, y2, x3, y3)` с координатами контрольных и конечной точек, а также метод `“moveTo ()”` [5], в котором задана начальная точка – со значением (0,0) по умолчанию.

Применение SVG отличается лишь написанием. В этом случае используется метод `“path”` и команды, используемые для создания кривых Безье:

для создания кубической кривой – команда `“C”`, для квадратичной кривой – команда `“Q”`, и для соединения нескольких квадратичных кривых Безье – команда `“T”` [6]. Данный метод часто реализует сложную анимацию постепенной отрисовки контурного изображения.

Что касается CSS3, то следует отметить, что стандарт не имеет методов для непосредственного рисования кривых Безье, а кривые существуют в виде контуров – свойство `“border”`. Тем не менее, наличие функции `“cubic-bezier”` [7–8] предоставляет разработчику возможность реализовать перемещение элементов интерфейса. Таким образом, CSS3 позволяет имитировать кубическую кривую в процессе анимирования, но при этом следует учитывать совместимость с браузерами.

**Цель статьи** – исследование возможности использования кривых Безье для улучшения CSS анимации с учетом физических свойств объектов реального мира.

## Изложение основного материала

### Применение кривой Безье

Основная область применения кривых Безье в каскадных таблицах стилей – это переходы и анимация, где требуется вычисление промежуточных состояний. `Transition timing function` – представляет собой математическую функцию, показывающую, как быстро во времени меняется указанное через `transition-property` значение конкретного свойства [9]. Функция посредством задания различных значений параметра предоставляет множество вариантов реализации анимации – от простейшей линейной до сложной нелинейной с ускорением и/или замедлением в заданных участках.

На практике кривая Безье задается координатами `cubic-bezier(x1, y1, x2, y2)`, которые соответствуют контрольным (управляющим) точкам.

Для улучшения CSS-анимации необходимо учитывать физические свойства объектов реального мира, законы их движения и силы, которые могут на них влиять. Для решения разного рода анимационных задач необходимо рассмотреть несколько видов кубической кривой [10].

Так, линейное движение применимо к тем объектам, которые не поддаются воздействию внешних сил, а в случае веб-анимации – изменяют статическое свойство (например, цвет или прозрачность).

Кривая усиления, или ускорения наиболее применима к выпадающим объектам, которые не используются повторно. Манипулируя параметрами кривой, можно достичь максимальной реалистичности и естественности движения.

Кривую ослабления, или замедления, как правило, используют для быстрого появления объекта

на экране с последующим замедлением до полной остановки.

Считается, что стандартная кривая усиления и ослабления является оптимальной в большинстве случаев. Обычно она используется для выпадающего меню и для открытия модального окна.

При создании анимации помимо задания функции изменения различных свойств объектов, необходимо определить временной интервал этих изменений. Согласно проведенным исследованиям [11–12] установлено, что оптимальная продолжительность анимации составляет 200–300 мс. Причем, это время может быть незначительно увеличено или сокращено в зависимости от разрешения экрана.

Области применения анимации при проектировании интерфейса самые разнообразные – от реализации навигации и специальных эффектов до анимации последовательности событий или визуализации обратной связи.

В целом, анимация играет важную роль в передаче информации пользователю. С одной стороны, необходимо удовлетворить ожидания пользователя и обеспечить интерактивность веб-ресурса, а с другой – не нарушить целостность дизайна и не допустить перегруженности интерфейса. Поэтому каждое анимированное движение должно нести определенную смысловую нагрузку и быть тщательно выверенным.

### Результаты эксперимента

В работе проведен эксперимент, в котором анимация реализована как с применением кривых Безье, так и без них. Основной целью эксперимента является проверка возможности улучшить CSS анимацию за счет использования кривых Безье. При этом учитываются все вышеперечисленные рекомендации.

Проанализирована ситуация с интернет-магазином. С целью удобства пользования сайтом, предоставлена возможность предварительного просмотра ассортимента товаров. Такая функция позволяет существенно сэкономить время потенциального клиента, поскольку для просмотра полной информации уже нет необходимости переходить на новую страницу. Предварительный просмотр товаров является одним из основных действий пользователя на сайте, и роль анимации в данном случае трудно переоценить.

Создана анимация, которая, в случае нажатия пользователем на изображении конкретного товара, обеспечивает открытие модального окна с полной информацией о соответствующем товаре. Длительность такой анимации составляет 250 мс. Начальное состояние задано свойством `transform: scale(0)`. При нажатии на кнопку “quick view” плавно появляется модальное окно в течение четверти секунды (рис. 2),

применяется свойство `transition: all 0.25s ease-in`. Аналогично `cubic-bezier(0.42,0,1,1)`.

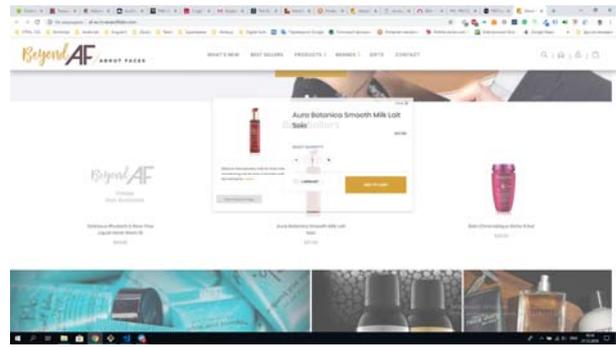


Рис. 2. Открытие модального окна

Конечное состояние задано свойством `transform: scale(1)`. При закрытии модального окна используется аналогичная анимация (рис. 3), а модальное окно принимает свое первоначальное состояние посредством задания свойства `transform: scale(0)`.

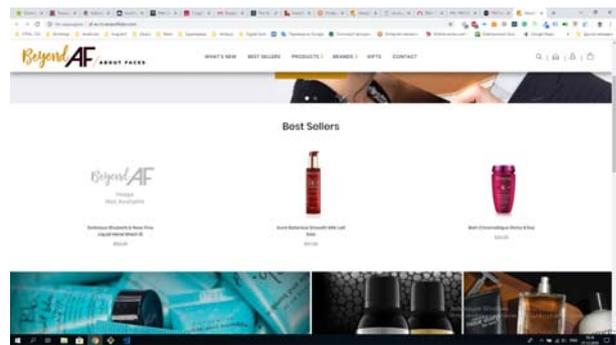


Рис. 3. Закрытие модального окна

Координаты кривой рассчитаны в работе по контрольным точкам  $P_1$  и  $P_2$  во временном диапазоне  $t \in [0,1]$ . Для каждой из точек определены значения координат  $x$  и  $y$  в зависимости от времени. Таким образом, получаем плавное изменение состояния объекта во времени.

В случае использования анимации без применения кубической кривой получаем мгновенное увеличение изображения. Такое изменение выходит за пределы восприятия человеческого зрения. Поскольку рассмотренное действие является основным, используемым пользователем на сайте, то частое изменение состояний объекта без плавной анимации будет негативно сказываться как на внимании пользователя, так и на его зрении.

Таким образом, использование кривой Безье для реализации CSS анимации позволяет усовершенствовать интерфейс и сделать работу пользователя более удобной и комфортной.

## Выводы

В результате проведенного исследования доказана целесообразность использования кривых Безье для улучшения CSS анимации.

Сформулированы рекомендации, в соответствии с которыми проведен эксперимент. Анализ полученных данных показал, что плавность движения

значительно улучшает концентрацию внимания пользователя, положительно влияет на восприятие и выделяет веб-ресурс среди аналогов.

Использование кубической кривой Безье дает возможность полностью контролировать анимацию средствами CSS3, создавая уникальные комбинации движений с произвольной траекторией и временной функцией.

## Список литературы

1. Johnston O. The Illusion of Life: Disney Animation / O. Johnston, F. Thomas. – New York, 1995. – 576 p.
2. Официальный сайт w3.org. Web Animations [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.w3.org/TR/web-animations-1/](http://www.w3.org/TR/web-animations-1/).
3. Основні поняття та властивості кривих Безье [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.mathros.net.ua/kryvi-bezje.html](http://www.mathros.net.ua/kryvi-bezje.html).
4. Хемминг Р.В. Численные методы / Р.В. Хемминг. – М.: Наука, 1972. – 400 с.
5. Официальный сайт w3schools.com. Метод HTML Canvas bezierCurveTo() [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.w3schools.com/tags/canvas\\_beziercurveto.asp](http://www.w3schools.com/tags/canvas_beziercurveto.asp).
6. Официальный сайт developer.mozilla.org. Пути (paths) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [developer.mozilla.org/ru/docs/Web/SVG/Tutorial/Paths/](http://developer.mozilla.org/ru/docs/Web/SVG/Tutorial/Paths/).
7. Официальный сайт w3schools.com. Функция CSS cubic-bezier() [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.w3schools.com/cssref/func\\_cubic-bezier.asp](http://www.w3schools.com/cssref/func_cubic-bezier.asp).
8. Ситник А. Функция плавности (easing) [Электронный ресурс] / А. Ситник, И. Соловьев. – 2018. – Режим доступа: [easings.net/ru](http://easings.net/ru).
9. Официальный сайт htmlbook.ru. Справочник CSS, transition-timing-function [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [htmlbook.ru/css/transition-timing-function](http://htmlbook.ru/css/transition-timing-function).
10. Скитский Т. Полное руководство по правильному использованию анимации в UX [Электронный ресурс] / Т. Скитский. – 2018. – Режим доступа: [uxdesign.cc/the-ultimate-guide-to-proper-use-of-animation-in-ux-10bd98614fa9](http://uxdesign.cc/the-ultimate-guide-to-proper-use-of-animation-in-ux-10bd98614fa9).
11. Нильсен Дж. Сила десяти: временные рамки в пользовательском опыте [Электронный ресурс] / Дж. Нильсен. – 2009. – Режим доступа: [www.nngroup.com/articles/powers-of-10-time-scales-in-ux/](http://www.nngroup.com/articles/powers-of-10-time-scales-in-ux/).
12. Нильсен Дж. Время отклика: три важных ограничения [Электронный ресурс] / Дж. Нильсен. – 1993. – Режим доступа: [www.nngroup.com/articles/response-times-3-important-limits/](http://www.nngroup.com/articles/response-times-3-important-limits/).

## References

1. Johnston, O. and Thomas, F. (1995), *The Illusion of Life: Disney Animation*, New York, 576 p.
2. The official site of w3.org (2018), “*Web Animations*”, available at: [www.w3.org/TR/web-animations-1/](http://www.w3.org/TR/web-animations-1/) (accessed 20 October 2018).
3. “*Osnovni ponyattya ta vlastyosti kryvykh Bez'ye*” [Basic concepts and properties of Bezier curves], available at: [www.mathros.net.ua/kryvi-bezje.html](http://www.mathros.net.ua/kryvi-bezje.html) (accessed 22 October 2018).
4. Hemming, R.V. (1972), “*Chislennyye metody*” [Numerical methods], Moscow, 400 p.
5. The official site of w3schools.com (2018), *HTML canvas bezierCurveTo() Method*, available at: [www.w3schools.com/tags/canvas\\_beziercurveto.asp](http://www.w3schools.com/tags/canvas_beziercurveto.asp) (accessed 23 October 2018).
6. The official site of developer.mozilla.org (2018), *Path*, available at: [developer.mozilla.org/ru/docs/Web/SVG/Tutorial/Paths/](http://developer.mozilla.org/ru/docs/Web/SVG/Tutorial/Paths/) (accessed 23 October 2018).
7. The official site of w3schools.com (2018), *CSS cubic-bezier() Function*, available at: [www.w3schools.com/cssref/func\\_cubic-bezier.asp](http://www.w3schools.com/cssref/func_cubic-bezier.asp) (accessed 25 October 2018).
8. Sytnyk, A. and Solovev, I. (2018), “*Funkciya plavnosti (easing)*” [Smoothing function (easing)], available at: [www.w3schools.com/cssref/css3\\_pr\\_transition-timing-function.asp](http://www.w3schools.com/cssref/css3_pr_transition-timing-function.asp) (accessed 25 October 2018).
9. The official site of htmlbook.ru (2014), “*Spravochnik CSS, transition-timing-function*” [CSS catalog, transition-timing-function], available at: [htmlbook.ru/css/transition-timing-function](http://htmlbook.ru/css/transition-timing-function) (accessed 26 October 2018).
10. Skytskyi, T. (2018), “*Polnoe rukovodstvo po pravilnomu ispolzovaniyu animacii v UX*” [A complete guide to the proper use of animation in the UX], available at: [uxdesign.cc/the-ultimate-guide-to-proper-use-of-animation-in-ux-10bd98614fa9](http://uxdesign.cc/the-ultimate-guide-to-proper-use-of-animation-in-ux-10bd98614fa9) (accessed 26 October 2018).
11. Nielsen, J. (2009), *Powers of 10: Time Scales in User Experience*, available at: [www.nngroup.com/articles/powers-of-10-time-scales-in-ux/](http://www.nngroup.com/articles/powers-of-10-time-scales-in-ux/) (accessed 27 October 2018).
12. Nielsen, J. (1993), *Response Times: The 3 Important Limits*, available at: [www.nngroup.com/articles/response-times-3-important-limits/](http://www.nngroup.com/articles/response-times-3-important-limits/) (accessed 27 October 2018).

Поступила в редколлегию 4.02.2019

Одобрена к печати 23.04.2019

**Відомості про авторів:****Єгорова Ірина Миколаївна**

кандидат технічних наук доцент  
професор Харківського національного  
університету радіоелектроніки,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-5242-0096>

**Антіпенко Кароліна Дмитрівна**

магістр Харківського національного  
університету радіоелектроніки,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-4286-5008>

**Information about the authors:****Irina Iegorova**

Candidate of Technical Sciences Associate Professor  
Professor of Kharkiv National University  
of Radio Electronics,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-5242-0096>

**Karolina Antipenko**

Master of Kharkiv National University  
of Radio Electronics,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-4286-5008>

**ПРО ЗАСТОСУВАННЯ КРИВИХ БЕЗЬЄ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ CSS АНІМАЦІЇ**

І.М. Єгорова, К.Д. Антіпенко

*Проведено дослідження можливості використання кривих Безьє для покращення CSS анімації. Розглянуто методи створення веб-анімації на основі кривих Безьє із використанням мов CSS3, SVG чи елементу Canvas. Розроблено рекомендації щодо ефективного використання кубічних кривих для анімації об'єктів веб-інтерфейсу. В роботі проведено експеримент, у якому анімація реалізована як із застосуванням кривих Безьє, так і без них. Аналіз отриманих даних показав, що плавність руху значно покращує сприйняття веб-інтерфейсу користувачем та вирізняє веб-ресурс серед аналогів. Використання кубічної кривої Безьє в CSS анімації дозволяє створювати унікальні комбінації рухів об'єктів за часом.*

**Ключові слова:** анімація, крива Безьє, UI елемент, інтерфейс користувача.

**USING BEZIER CURVES FOR IMPROVING CSS ANIMATIONS**

I. Iegorova, K. Antipenko

*Bezier curves usage possibilities for improvement of CSS animations taking physical properties of real-world objects into account have been studied. Methods for creation of web animation based on Bezier curves with CSS3, SVG and Canvas have been analyzed in this paper. The main application area of Bezier curves in cascading stylesheets are transitions and animation where interim conditions calculation are required. Several kinds of cubical curves were considered for solving different animation tasks. Standard gain and attenuation curve considered optimum in most of cases. Usually it is used for popup menus and for modal window opening. Besides objects different properties change function time interval of such changes is also defined during animation. Application areas during interface designing are diverse - from navigation implementation and special effects to the events sequence animation or feedback visualization. This paper contains conducted experiment, which has animation implemented with Bezier curves and without them. The main purpose of the experiment lies in evaluation of possibility to improve CSS animation by Bezier curves usage. Online store cased has been analyzed. Created animation in case of specific product image is pressed by user opens modal window with complete information regarding the good. The same animation closes modal window. It is determined that animation without cubical curve leads to immediate image enlargement which falls out of human sight perception. Frequent change of object states without smooth animation will have negative impact as on users attention so on the sight. Therefore, Bezier curve usage for implementation of CSS animation allows to improve the UI and to make the user experience more comfortable and convenient. As a result of conducted research expedience of Bezier curves usage for CSS animation improvement has been proven. Experiment conducted according to formulated recommendations. Analysis of obtained data showed that smoothness of movements significantly improves concentration of users attention, has positive effect on perception and distinguishes the web resource among analogues.*

**Keywords:** animation, Bezier curve, UI element, user interface.