

**Spiral and railways**  
**Popov N.<sup>1</sup>, Usol'cev A.<sup>2</sup>, Glebov V.<sup>3</sup> (Russian Federation)**  
**Клотоида и железные дороги**  
**Попов Н. П.<sup>1</sup>, Усольцев А. О.<sup>2</sup>, Глебов В. В.<sup>3</sup> (Российская Федерация)**

<sup>1</sup>Попов Никита Павлович / Popov Nikita – студент;

<sup>2</sup>Усольцев Александр Олегович / Usol'cev Aleksandr – студент;

<sup>3</sup>Глебов Владимир Владимирович / Glebov Vladimir - преподаватель математики,  
колледж железнодорожного транспорта,  
Уральский государственный университет путей сообщения, г. Екатеринбург

**Аннотация:** в статье рассматривается способ повышения безопасности движения поездов путем введение переходных кривых по клотоиде.

**Abstract:** The article considers the way to improve traffic safety by the introduction of transition curves for spiral.

**Ключевые слова:** клотоида, радиус кривизны, центробежная сила, железная дорога.

**Keywords:** spiral, radius of curvature, the centrifugal force, the railroad.

Современные железные дороги имеют сложную геометрическую форму в отличие от первых, которые состояли из прямолинейных участков, соединенных дугами окружностей. Время шло, техника развивалась, скорость движения поездов росла, и на поворотах появлялась опасность схода с рельс.

Для того чтобы повысить безопасность движения, улучшить условия работы, нужно, чтобы железнодорожный путь был зрительно плавным и с ясным направлением на большом протяжении, план и профиль пути гармонично сочетался с окружающим ландшафтом.

Для решения поставленных задач следует обратиться к физике, в частности к центробежной силе,

$$F = m \cdot \frac{v^2}{r},$$

формула которой записывается следующим образом: где  $m$ — масса,  $v$ — скорость,  $r$ — радиус кривизны.

Из формулы видно, что чем больше масса поезда или его скорость, тем больше сама центробежная сила. Соответственно для того, чтобы уменьшить эту силу нужно либо уменьшить массу поезда (что невозможно сделать при современных перевозках) или уменьшить скорость (что тоже не может рассматриваться как вариант решения данной проблемы).

С другой стороны, имеется радиус кривизны, который стоит в знаменателе представленной формулы. Значит, если увеличить радиус, то можно уменьшить центробежную силу. Это понятно: радиус кривизны прямой бесконечен, так что при движении по прямой центробежная сила равна нулю. Увеличение радиуса кривизны представляется единственным возможным вариантом решения проблемы, но и этот способ не идеален, имеет свои недостатки. При таком планировании железнодорожного пути прямые участки станут короче, и поезда будут переходить из одного поворота в другой [1].

Необходимо введение переходной кривой между прямой и окружностью, при этом нужно, чтобы радиус кривизны плавно уменьшался от бесконечности для прямой до радиуса  $R$  окружности. Согласно формуле, при таком переходе центробежная сила станет меняться плавно, а не резко.

В результате исследований, наиболее удачным вариантом движения был признан: по прямой — клотоиде — окружности — клотоиде — прямой. При такой схеме движения центробежная сила изменяется постепенно, поворот происходит плавно, без рывков и опасности схода с рельс. Главной особенностью клотоиды является то, что ее кривизна прямо пропорциональна длине пройденного по ней пути. Трассу дороги, железнодорожного пути, где наряду с прямой и круговой кривой в качестве элемента плана используется клотоида, называют клотоидной.

Первым изучением клотоиды занялся 1694 году швейцарский математик Якоб Бернулли в контексте задачи теории упругости. В 1744 году эта задача была решена математиком и физиком Леонардом Эйлером, который дал характеристику этой кривой. Примерно в 1818 г. французский физик Огюстен Жан Френель заново открыл клотоиду, когда изучал дифракцию света, и с помощью интегралов получил параметризацию этой кривой, эквивалентную параметризации Эйлера. В 1874 году французский физик Мари Альфред Корню использовал данное выражение, чтобы точно построить кривую. А позже, в 1890 году, американский инженер Артур Талбот еще раз открыл клотоиду, когда искал кривую перехода для железных дорог. Также клотоида известна как спираль Корню или спираль Эйлера. Клотоида применяется и на гоночных трассах, и на американских горках. Согласно современным требованиям Международной федерации по прыжкам с трамплина на лыжах, линия приземления трамплинов должна описываться такой кривой, как клотоида.

Введение переходных кривых по клотоиде вместе с максимальной плавностью железнодорожного пути дает ряд преимуществ, таких как улучшение условий движения поездов, особенно в темное время суток; повышение безопасности в связи с увеличением расстояния видимости; уменьшение объемов земляных работ за счет лучшего вписывания железнодорожного пути в рельеф; комфорт пассажиров в поездке [2].

#### *Литература*

1. *Бабков В.Ф.* Современные автомагистрали. М: Автотрансиздат,1961.
2. *Трескинский С.А., Худякова И.Г.* Физические основы клотоидного трассирования. М: Журнал «Автомобильные дороги», №5, 1963.