

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Институт прикладной математики и механики
Кафедра «Теоретическая механики»

Диссертация допущена к защите

Зав. кафедрой, д.ф.-м.н., проф.

А. М. Кривцов

«_____» _____

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание академической степени
МАГИСТРА

Тема:

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПРОДОЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ МОТОЦИКЛА

Направление: 01.04.03 – Механика и математическое моделирование

Выполнил: студент гр. 63604/2 Я. С. Суранов

Руководитель, ст. преподаватель _____ И.Е. Асонов И.Е.

Консультант по вопросам охраны труда: _____

Санкт-Петербург

2016

РЕФЕРАТ

Работа содержит 39 страниц, 12 рисунков, 1 таблицу.

Ключевые слова: двухколесное транспортное средство, мотоцикл, безопасность движения, вилли, стоппи, момент силы, продольная устойчивость мотоцикла.

В данной работе исследовано поведение двухколесного транспортного средства в различных режимах движения.

Разработана расчетная схема двухколесного транспортного средства, составлены уравнения динамики движения, уравнения связи между силы нормальной реакции опоры и вращающего момента на заднем колесе. Произведено аналитическое решение для режима движения на двух колесах. А так же методом численного интегрирования в программе MatLab получено решение для режима «Вилли» с включением системы продольной устойчивости.

С помощью программного пакета MSC Adams разработана математическая модель мотоцикла. Произведено моделирование движения в режиме «Вилли» с системой продольной устойчивости, а так же в режиме движения на двух колесах. По полученным результатам можно сделать вывод о соответствии математического моделирования и аналитического решения.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. Общие понятия о мотоцикле, его торможении и ускорении.....	6
1.1. Применение мотоциклов, основные размеры, вес и положение центра тяжести	6
1.3. Устойчивость мотоцикла и действующие динамические силы.	8
1.4. Распределение нагрузки при торможении и ускорении мотоцикла.	9
1.2. Существующие виды мотоциклов.....	11
1.5. Особенности управления мотоцикла при торможении и ускорении	13
2. Построение аналитической модели, описывающей движение двухколесного транспортного средства	15
2.1. Задача описывающая торможение мотоцикла	15
1.2.1 Постановка задачи.....	15
1.2.2 Аналитическая модель	15
2.2. Задача описывающая ускорение мотоцикла	17
2.2.1 Постановка задачи.....	17
2.2.2 Аналитическая модель	18
2.3. Включение в модель системы продольной устойчивости	20
2.3. Задача описывающая движение мотоцикла на двух колесах	21
3. Реализация математической модели мотоцикла в MSC Adams	25
3.1. Моделирование движения мотоцикла без системы продольной устойчивости	25
3.2. Моделирование движения мотоцикла с системой продольной устойчивости	27
3.3. Моделирование движения мотоцикла на двух колесах	28
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	31
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	31
Приложение. Охрана труда	32

ВВЕДЕНИЕ

Во всем мире эксплуатируется около 200 млн двухколесных транспортных средств, что делает их одним из наиболее распространенных видов транспорта. Будучи доступным и удобным видом транспорта, двухколесные транспортные средства являются предпочтительным видом транспорта в развивающихся странах, таких как Индия и Китай, где используется в общей сложности 6 млн. автомобилей по сравнению с 71 млн двухколесных транспортных средств. В то же время динамика движения и торможения двухколесных транспортных средств изучена недостаточно полно, а совершенствование тормозной системы и других механических характеристик двухколесных транспортных средств является актуальной задачей. Вопросами исследования движения двухколесных транспортных средств занимаются основные крупные компании мотоиндустрии такие как, Yamaha, Honda, Ducati, Bosh, а так же учёные В.Ф. Журавлев, Н.А Фуфаев, V. Cossalter, A Doris, T.Hayaski и многие другие.

В настоящее время в мире среди двухколесных транспортных средств существенную долю занимают мотоциклы с высокими скоростными характеристиками. Владельцами данного типа мотоциклов, являются люди предпочитающие экстремальный вид вождения. В России в 2014 году погибли 1146 и были ранены 9506 мотоциклистов. Немалый вклад в данную статистику вносят аварии с опрокидыванием мотоциклов при торможении и ускорении.

При торможении в определенных дорожных условиях, а зачастую по желанию самого водителя мотоцикла, происходит подъем заднего колеса. Для предотвращения опрокидывания необходимо ослабление переднего тормоза. В большинстве таких случаев водитель не в состоянии вовремя и достаточно четко среагировать в такой ситуации. При ускорении так же существует проблема опрокидывания по аналогичным причинам, что и с торможением. В этом случае для предотвращения опрокидывания необходимо обратное воздействие на заднее колесо, т.е. его торможение.

Цель работы: Произвести моделирование движения мотоцикла с системой, предотвращающей его продольное опрокидывание при торможении и ускорении.

Разработка математической модели описывающей движение двухколесного транспортного средства;

Моделирование движения мотоцикла во время торможения и ускорения (MSC Adams);

Разработка и моделирование алгоритмов управления тормозами и двигателем мотоцикла.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МОТОЦИКЛЕ, ЕГО ТОРМОЖЕНИИ И УСКОРЕНИИ

1.1. Назначение и применение мотоциклов, основные параметры.

Популярность мотоциклов значительно варьируется в разных странах. Во всем мире используют около 200 млн., что делает их одним из наиболее распространенных типов механических транспортных средств. Страны Азии доминируют в производстве мотоциклов, так как там производится 58% этих транспортных средств. Будучи доступным и удобным в городских районах видом транспорта, двухколесные транспортные средства являются предпочтительным видом транспорта в развивающихся странах, таких как Индия и Китай, где используется в общей сложности 6 млн. автомобилей по сравнению с 71 млн. двухколесных транспортных средств. Однако российские и зарубежные ученые еще могут внести свой вклад в научно-технический прогресс, в частности в такую его отрасль, как динамика движения и торможения, с помощью изучения и совершенствования тормозной системы, а также других механических и электронных систем управления мотоциклов. Кроме того, существуют различные формы двухколесных транспортных средств, каждая со своими уникальными динамическими характеристиками [3, 4].

Различная форма, характеристики двигателя, виды шин, центр масс, инерция, гибкость, аэродинамика и параметры водителя - все это оказывает значительное влияние на динамику транспортного средства. Таким образом, необходимо определить назначение двухколесного транспортного средства, а также его дизайн [5, 6].

Согласно Правилам дорожного движения (ПДД) мотоцикл - это двухколесное механическое транспортное средство с боковым прицепом или без него. Мотоцикл по сравнению с автомобилями обладают такими важными преимуществами, как малая масса и габаритные размеры, малая площадь, требуемая для гаражного хранения, меньшие эксплуатационные расходы.

ДТС обладают также повышенной маневренностью (в основном из-за малой габаритной ширины) и повышенными скоростными свойствами (в основном из-за высокой удельной мощности). Это обеспечивает увеличение средней скорости при движении по шоссейным дорогам и в городах с интенсивным движением, а также

хорошую проходимость по разбитым проселочным дорогам, тропинкам и бездорожью [7].

Двухколесное транспортное средство является индивидуальным транспортным средством для широких слоев населения, а также используется в народном хозяйстве как дешевый вид транспорта, например в сельском хозяйстве механиками, агрономами; милицией - как средство дорожного надзора; в торговле и системе связи - для мелких перевозок, а также в спорте.

Различают следующие группы основных размеров:

- 1) габаритные, определяющие общие размеры ДТС;
- 2) размеры, характеризующие конструктивные параметры;
- 3) размеры, определяющие посадку водителя;
- 4) размеры, определяющие проходимость и маневренность ДТС;
- 5) сухой, рабочий и ходовой вес ДТС;

Сухой вес - вес мотоцикла без топлива, масла, инструмента, запасных частей, дорожного снаряжения (запасного колеса), без водителя и пассажиров. Рабочий вес - вес мотоцикла, заправленного топливом, маслом, укомплектованного инструментом и возимым комплектом запасных частей и запасным колесом, без водителя и пассажиров [5]. Ходовой вес - сумма рабочего веса, дорожного снаряжения, а также веса водителя, пассажиров и груза.

Основные параметры ДТС

Высота седла тоже имеет значение с точки зрения управляемости, так как она влияет на расположение общего центра тяжести (водителя и мотоцикла).

Управляемость мотоцикла с боковым прицепом зависит от положения оси бокового колеса относительно оси заднего (рис. 1). У мотоцикла для бездорожья большое значение имеет дорожный просвет - расстояние от нижней части мотоцикла до дорожного полотна.

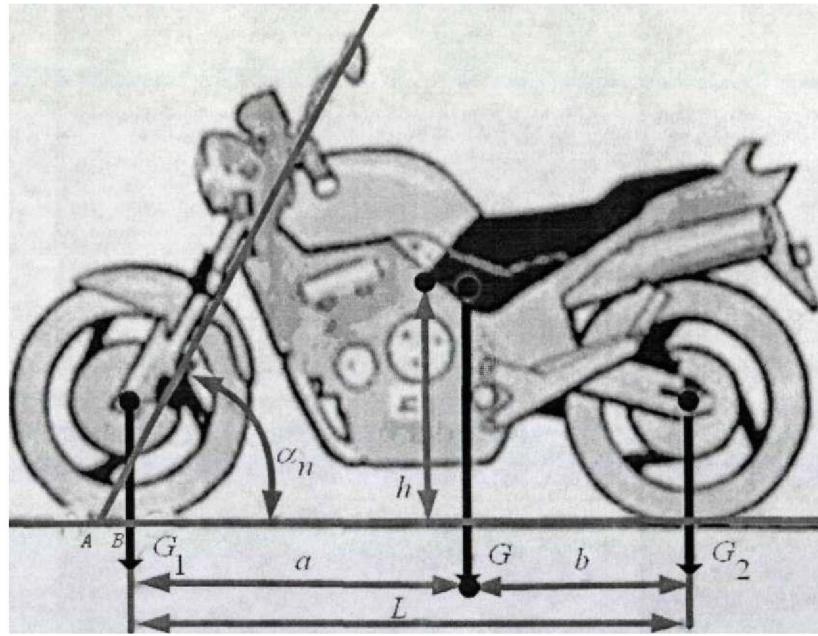


Рис. 1 – Основные параметры мотоцикла:

α_a - угол наклона оси рулевой колонки; AB - угол наклона оси рулевой колонки; L - база ДТС, G - вес ДТС; a,h,b - координаты центра тяжести; 1- ось рулевой колонки

Помимо придания мотоциклу качеств устойчивости и управляемости, разработчики закладывают в его конструкцию свойства активной и пассивной безопасности.

1.3. Устойчивость мотоцикла и действующие динамические силы

Устойчивостью мотоцикла называется его свойство сохранять во время движения свое положение относительно дороги и направление, выбранное водителем [6, 8]. Так же необходимо разделять продольную и поперечную устойчивость.

В отношении поперечной устойчивости, мотоцикл находится всегда в состоянии неустойчивого равновесия, при этом движется устойчиво потому, что его равновесие восстанавливается путем непрерывного смещения центра тяжести. Поперечная устойчивость мотоцикла в большой степени зависит от скорости его передвижения. Находясь, например, в покое, опираясь только на шины, расположенные по одной колее, без дополнительной опоры, мотоцикл опрокинется [9]. Для мотоцикла при

движении с более высокой скоростью характерно состояние динамической устойчивости.

Продольная устойчивость является случаем, когда при относительно спокойном движении мотоцикл находится в состоянии устойчивого равновесия, а при сильном торможении или ускорении происходит опрокидывание в продольном направлении [11]. Скорость движения мотоцикла при этом в меньшей степени влияет на продольную устойчивость.

На движущееся мотоцикл действуют динамические силы [10], к которым относятся:

- 1) гироскопический эффект вращающихся масс;
- 2) центробежные силы;
- 3) реактивные силы катящихся шин;
- 4) инерционные силы распределенных масс.

1.4. Распределение нагрузки при торможении и ускорении мотоцикла

Во время торможения либо ускорения мотоцикла имеет место перераспределение нагрузок на колеса. При торможении происходит увеличение нагрузки переднего колеса и уменьшение нагрузки заднего колеса, а при ускорении соответственно наоборот. На рисунке 2 показан случай торможения мотоцикла [1]. Сплошной линией отражено увеличение нагрузки переднего колеса. Пунктирной линией показано уменьшение нагрузки на заднее колесо. Точка Р - время падения мотоцикла вперед за счет увеличения нагрузки на переднее колесо и уменьшения нагрузки на заднее колесо.

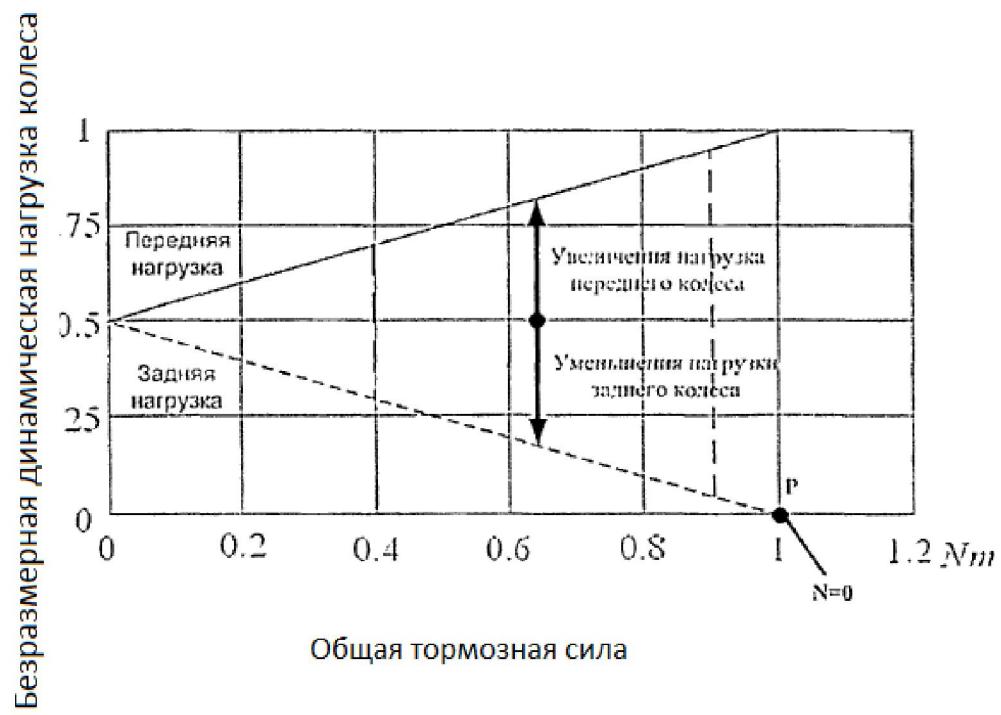


Рис. 2 – Распределение нагрузки на колеса во время торможения переднего колеса

Возможность передвигаться на мотоциклах с необходимой скоростью стало возможно благодаря улучшения характеристик подвесок. Подвеской ДТС считается комплекс деталей и механизмов, связывающих колеса с рамой мотоцикла.

На мотоциклах имеются две подвески: передняя и задняя. Во время торможения ДТС происходит изменение подвесок, т. е. происходит уменьшение передней подвески с одновременным увеличением задней. Этот процесс отображен на рисунке 3.

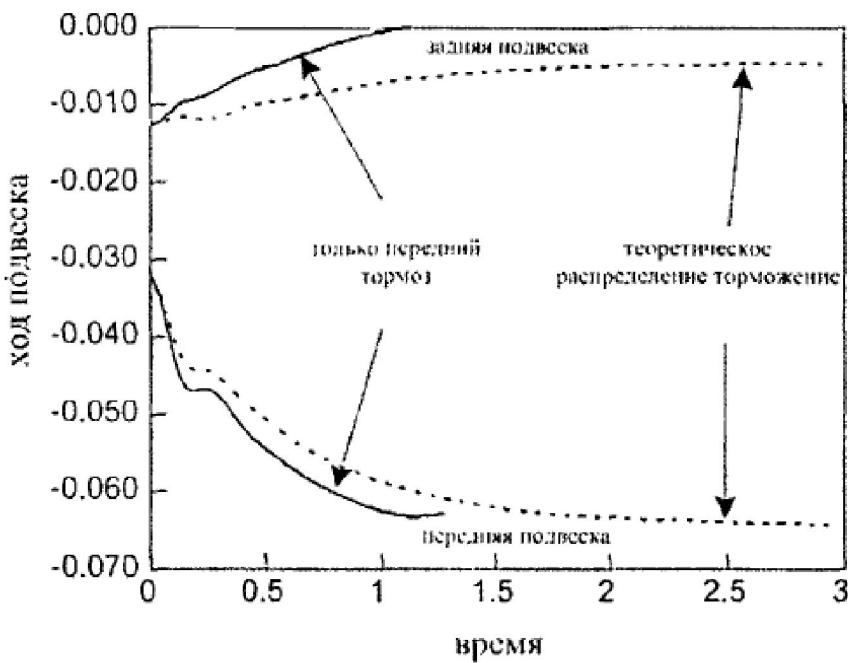


Рис. 3 – Влияние силы торможения на подвеску во время торможения переднего колеса

На данном рисунке пунктирной линией изображено теоретическое распределение тормозной силы, когда она является одинаковой для переднего и заднего колеса. Сплошной линией показано практическое распределение тормозной силы, которая для переднего колеса будет больше, чем для заднего. В случае, когда нам известна тормозная сила, мы сможем определить изменения, которые в этом случае произойдут с подвеской [12].

1.2. Существующие виды мотоциклов [13, 14]

В настоящее время существует большое разнообразие различных видов мотоциклов. Данные виды имеют самые разное назначение в следствии чего и самые разные технические характеристики.

1) Классические.

Это наиболее универсальный, утилитарный тип мотоциклов, предназначенный для езды преимущественно по асфальтированным дорогам. Мотоцикл классической компоновки как правило имеет телескопическую вилку, заднюю подвеску с двумя амортизаторами, круглую фару, прямую посадку пилота, неразвитую ветрозащиту. Двигатели классических мотоциклов обычно средне форсированные, что необходимо

для достижения максимального ресурса. Объем двигателя варьируется от 50 до 1500 см².

2) Спортбайки.

Это тип мотоциклов, конструкция которых направлена на достижение максимальной скорости. Большое внимание при этом уделяют аэродинамике, поэтому для спортбайков характерно развитое облицовки, закрывающей все основные агрегаты, и эффективный обтекатель. Для спортбайков также характерна посадка с сильным наклоном вперед, когда пилот почти лежит на боку, но руки при этом расслаблены. Эти мотоциклы отличаются острым, точным управлением, оборудованы эффективными тормозами и форсированными, высокооборотистыми двигателями. Особенности конструкции, которые способствуют достижению максимального результата на треке, в то же время создают некоторые сложности при повседневной езде, особенно для неопытных мотоциклистов.

3) Двойного назначения.

Данный тип мотоциклов, предназначенный для передвижения как по асфальтовым дорогам, так и по пересеченной местности, и технически оснащенный в соответствии с требованиями безопасности дорожного движения. Мотоциклы двойного назначения имеют достаточно большой клиренс, позволяющий им легче преодолевать крупные дорожные неровности, не опасаясь за сохранность двигателя. За счет увеличенного дорожного просвета посадка также более высокая. На мотоциклах двойного назначения обычно применяется узкая рама, которая сделана из жесткого и прочного материала. Подвески мотоцикла имеют большие ходы, для того, чтобы более уверенно продвигаться по бездорожью.

4) Круизеры (чепперы).

Мотоциклы этого типа, выполненные в американском стиле. Отличительной особенностью чоппера является очень комфортабельная прямая и низкая посадка. Подножки вынесены далеко вперед, руль с высоко поднятыми ручками максимально приближен к водителю. Колесная база у чопперов существенно больше, чем у других классов мотоциклов, поскольку вилка переднего колеса у них, как правило, длиннее и имеет больший наклон. Заднее колесо мотоциклов данного класса обычно имеет заметно меньший диаметр, чем переднее. Двигатели чопперов, как правило,

низкофорсированные и не очень высокооборотистые. Максимум крутящего момента достигается в средней части рабочего диапазона оборотов двигателя.

5) Туристические.

К этому классу относятся самые комфортабельные машины, рассчитанные на длительную езду по дорогам высокого качества. Конструктивными особенностями туристических мотоциклов являются прямая посадка водителя, при которой он чувствует себя наиболее комфортно, большие обтекатели, которые практически полностью защищают водителя и пассажира от потока набегающего воздуха, а также вместительные багажные осеки.

6) Мопеды и скутеры.

Мопедами являются двухколесные транспортные средства, оснащенные мотором объемом до 50 см^3 . Корпус всех мопедов выполнен таким образом, что перед водителем образуется проем достаточно больших размеров. Двигатель подвешивается к раме снизу. Для запуска двигателя применяется кик-стартер либо электростартер. Для изменения передаточного отношения может использоваться, как обычная механическая коробка передач, так и автоматический бесступенчатый клиноременной вариатор.

1.5. Особенности управления мотоцикла при торможении и ускорении

В настоящее время использование двухколесных транспортных средств, носит разнообразный характер. Данная работа посвящена решению проблемы, которая имеет место для мотоциклов из класса спортивных, дорожных, а также эндуро. Причем, водители которых используют активное, возможно иногда экстремальное вождение. Данному стилю вождения присущи некоторые особенности, такие как, торможение и ускорение в предельных режимах. В таких режимах происходит перераспределение нагрузки на колесах и поднятие одного из них.

Элемент вождения при торможении с поднятием заднего колеса называется стоппи. При ускорении и соответственно поднятии переднего колеса, элемент вождения называется вилли. Нередко вилли и стоппи происходят не умышленно из-за не верной оценки ситуации водителем. Так же имеет место целенаправленное использование приемов вилли и стоппи. Вне зависимости от целей водителя, данные приемы вождения связаны с большим риском опрокидывания мотоцикла.

**2. ПОСТРОЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ, ОПИСЫВАЮЩЕЙ
ДВИЖЕНИЕ ДВУХКОЛЕСНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА**

2.1. Задача описывающая торможение мотоцикла

2.1.1. Постановка задачи

Постановка задачи для данной работы сводится к разработке двухмерной математической модели двухколесного транспортного средства с водителем (рис. 4). Данное ДТС состоит из трех частей: 1) Переднее колесо; 2) Заднее колесо; 3) Тело, представляющее корпус мотоцикла с водителем. Переднее колесо и заднее колесо имеют жесткое соединение с телом и могут вращаться вокруг своих центральных продольных осей. Движение ДТС происходит по горизонтальной ровной поверхности. Прокалывание колес отсутствует.

2.1.2. Аналитическая модель

Данная модель имеет две степени свободы, и положение в пространстве в любой момент времени каждого из составляющих его тел можно однозначно определить, используя две обобщенные координаты угол поворота колеса из начального положения (ψ) и угол отклонения тела от горизонтали (α).

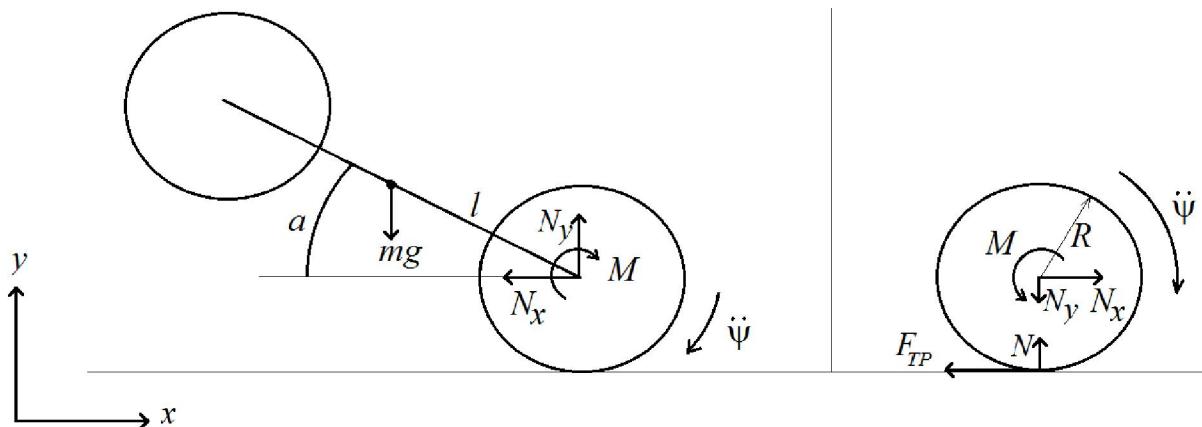


Рис. 4 – Расчетная схема двухколесного транспортного средства

Выражения, связывающие центр масс тела (x_t, y_t) и центр масс колеса (x_k, y_k) с декартовыми координатами имеют вид:

$$x_k = X_0 + R\psi \quad (2.1)$$

$$x_t = x_k - l \cos \alpha \quad (2.2)$$

$$y_k = \text{const} \quad (2.3)$$

$$y_t = y_k + l \sin \alpha \quad (2.4)$$

где X_0 значение координаты x_k в начальный момент времени, R радиус колеса, l расстояние от центра колеса до центра масс тела.

Для каждого элемента необходимо записать дифференциальные уравнения движения. Для тела:

$$m_t \ddot{x}_t = N_x \quad (2.5)$$

$$m_t \ddot{y}_t = N_y - m_t g \quad (2.6)$$

$$I_t \ddot{\alpha} = N_x l \sin \alpha - N_y l \cos \alpha + M \quad (2.7)$$

Для колеса:

$$m_k \ddot{x}_k = N_x - F_{tp} \quad (2.8)$$

$$I_k \ddot{\psi} = F_{tp} R - M \quad (2.9)$$

где m_t, m_k массы тела и колеса, I_t, I_k моменты инерции тела и колеса, N_y, N_x силы реакции опоры с проекциями на соответствующие оси, M вращающий момент, F_{tp} сила трения действующая на колесо.

Чтобы убрать из полученных выражений неизвестные силы F_{tp}, N_x, N_y , выразим эти силы и подставим в уравнения моментов. Получим:

$$I_k \ddot{\alpha} = -m_t \ddot{x}_t l \sin \alpha - (m_t \ddot{y}_t + m_t g) l \cos \alpha + M \quad (2.10)$$

$$I_k \ddot{\psi} = (N_x - m_k \ddot{x}_k) R - M \quad (2.11)$$

Продифференцировав (2.1-2.4) получим:

$$\ddot{x}_k = R \ddot{\psi} \quad (2.12)$$

$$\ddot{x}_t = R \ddot{\psi} + l \ddot{\alpha} \sin \alpha + l \dot{\alpha}^2 \cos \alpha \quad (2.13)$$

$$\ddot{y}_k = 0 \quad (2.14)$$

$$\ddot{y}_t = l \ddot{\alpha} \cos \alpha - l \dot{\alpha}^2 \sin \alpha \quad (2.15)$$

За тем подставив (2.12-2.15) в (2.10-2.11) и произведя необходимые подстановки, получим дифференциальные уравнения второго порядка:

$$\ddot{\alpha} (I_T + m_T l^2) + \ddot{\psi} m_T R l \sin \alpha = M - m_T g l \cos \alpha \quad (2.16)$$

$$\ddot{\alpha} m_T R l \sin \alpha + \ddot{\psi} (m_T R^2 + m_K R^2 + I_K) = -M - m_T R l \dot{\alpha}^2 \cos \alpha \quad (2.17)$$

Применив правило Крамера получим выражения угловых ускорений тела $\ddot{\alpha}$ и колеса $\ddot{\psi}$:

$$\ddot{\alpha} = \frac{I_K M + M m_T R^2 + M m_K R^2 - I_K m_T g l \cos \alpha - m_T^2 R^2 g l \cos \alpha}{I_K I_T + I_T m_T R^2 + I_T m_K R^2 + I_K m_T l^2 + m_T^2 R^2 l^2 + m_K m_T R^2 l^2} \frac{-m_K m_T g R^2 l \cos \alpha + M m_T R l \sin \alpha + m_T^2 R^2 l^2 \dot{\alpha}^2 \sin \alpha \cos \alpha}{-m_T^2 R^2 l^2 \sin^2 \alpha} \quad (2.18)$$

$$\ddot{\psi} = \frac{-I_T M - I_T m_T R^2 \dot{\alpha}^2 \cos \alpha - M m_T l^2 - M m_T R l \sin \alpha}{I_K I_T + I_T m_T R^2 + I_T m_K R^2 + I_K m_T l^2 + m_T^2 R^2 l^2 + m_K m_T R^2 l^2} \frac{-m_T^2 R l^3 \cos \alpha + m_T^2 R g l^2 \sin \alpha \cos \alpha}{-m_T^2 R^2 l^2 \sin^2 \alpha} \quad (2.19)$$

2.2. Задача описывающая ускорение мотоцикла

2.2.1. Постановка задачи

Постановка задачи для данной работы сводится к разработке двухмерной математической модели двухколесного транспортного средства с водителем (рис. 5). Данное ДТС состоит из двух частей: 1) Заднее колесо; 2) Тело, представляющее корпус мотоцикла с водителем. Переднее колесо и заднее колесо имеют жесткое соединение с телом и могут вращаться вокруг своих центральных продольных осей. Движение ДТС происходит по горизонтальной ровной поверхности. Прокалывание колес отсутствует.

2.2.2. Аналитическая модель

Данная модель имеет две степени свободы, и положение в пространстве в любой момент времени каждого из составляющих его тел можно однозначно определить, используя две обобщенные координаты угол поворота колеса из начального положения (ψ) и угол отклонения тела от горизонтали (α).

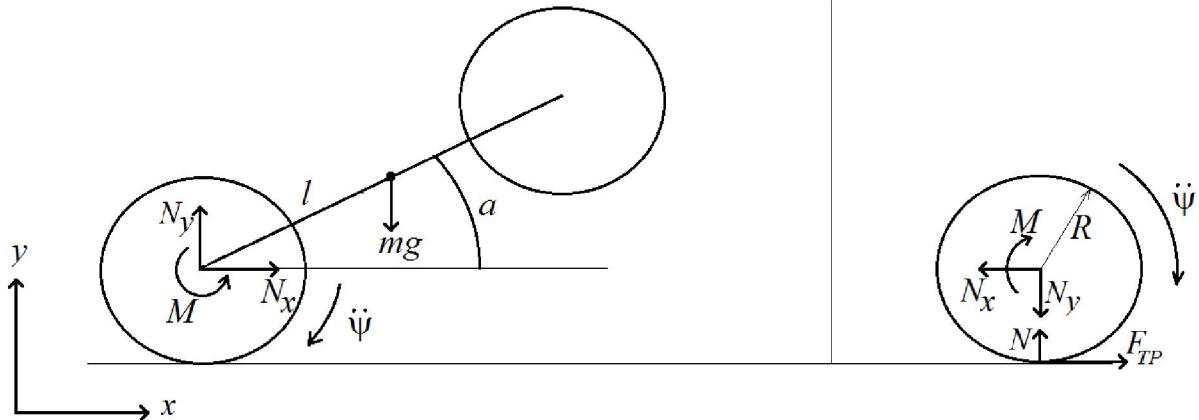


Рис. 5 – Расчетная схема двухколесного транспортного средства

Выражения, связывающие центр масс тела ($x_{\text{т}}, y_{\text{т}}$) и центр масс колеса ($x_{\text{k}}, y_{\text{k}}$) с декартовыми координатами имеют вид:

$$x_{\text{k}} = X_0 + R\psi \quad (2.20)$$

$$x_{\text{т}} = x_{\text{k}} + l \cos \alpha \quad (2.21)$$

$$y_{\text{k}} = \text{const} \quad (2.22)$$

$$y_{\text{т}} = y_{\text{k}} + l \sin \alpha \quad (2.23)$$

где X_0 – значение координаты x_{k} в начальный момент времени, R – радиус колеса, l – расстояние от центра колеса до центра масс тела.

Для каждого элемента необходимо записать дифференциальные уравнения движения. Для тела:

$$m_{\text{т}} \ddot{x}_{\text{т}} = N_x \quad (2.24)$$

$$m_{\text{т}} \ddot{y}_{\text{т}} = N_y - m_{\text{т}} g \quad (2.25)$$

$$I_{\text{т}} \ddot{\alpha} = N_x l \sin \alpha - N_y l \cos \alpha + M \quad (2.26)$$

Для колеса:

$$m_k \ddot{x}_k = F_{tp} - N_x \quad (2.27)$$

$$I_k \ddot{\psi} = M - F_{tp}R \quad (2.28)$$

где m_t, m_k массы тела и колеса, I_t, I_k моменты инерции тела и колеса, N_y, N_x силы реакции опоры с проекциями на соответствующие оси, M вращающий момент, F_{tp} сила трения действующая на колесо.

Чтобы убрать из полученных выражений неизвестные силы F_{tp}, N_x, N_y , выразим эти силы и подставим в уравнения моментов. Получим:

$$I_k \ddot{\alpha} = m_t \ddot{x}_t l \sin \alpha - (m_t \ddot{y}_t + m_t g) l \cos \alpha + M \quad (2.29)$$

$$I_k \ddot{\psi} = M - (m_k \ddot{x}_k + N_x) R \quad (2.30)$$

Продифференцировав (2.20-2.23) получим:

$$\ddot{x}_k = R \ddot{\psi} \quad (2.31)$$

$$\ddot{x}_t = R \ddot{\psi} - l \ddot{\alpha} \sin \alpha - l \dot{\alpha}^2 \cos \alpha \quad (2.32)$$

$$\ddot{y}_k = 0 \quad (2.33)$$

$$\ddot{y}_t = l \ddot{\alpha} \cos \alpha - l \dot{\alpha}^2 \sin \alpha \quad (2.34)$$

Затем подставив (2.31-2.34) в (2.29-2.30) и произведя необходимые подстановки, получим дифференциальные уравнения второго порядка:

$$\ddot{\alpha} (I_t + m_t l^2) - \ddot{\psi} m_t R l \sin \alpha = m_t g l \cos \alpha + M \quad (2.35)$$

$$\ddot{\alpha} m_t R l \sin \alpha - \ddot{\psi} (m_t R^2 + m_k R^2 + I_k) = - m_t R l \dot{\alpha}^2 \cos \alpha - M \quad (2.36)$$

Применив правило Крамера получим выражения угловых ускорений тела $\ddot{\alpha}$ и колеса $\ddot{\psi}$:

$$\ddot{\alpha} = \frac{-I_K M - M m_T R^2 - M m_K R^2 - I_K m_T g l \cos \alpha - m_T^2 R^2 g l \cos \alpha}{-I_K I_T - I_T m_T R^2 - I_T m_K R^2 - I_K m_T l^2 - m_T^2 R^2 l^2 - m_K m_T R^2 l^2} \\ \frac{-m_K m_T g R^2 l \cos \alpha - M m_T R l \sin \alpha - m_T^2 R^2 l^2 \dot{\alpha}^2 \sin \alpha \cos \alpha}{m_T^2 R^2 l^2 \sin^2 \alpha} \quad (2.37)$$

$$\ddot{\psi} = \frac{-I_T M - I_T m_T R^2 \dot{\alpha}^2 \cos \alpha - M m_T l^2 - M m_T R l \sin \alpha}{-I_K I_T - I_T m_T R^2 - I_T m_K R^2 - I_K m_T l^2 - m_T^2 R^2 l^2 - m_K m_T R^2 l^2} \\ \frac{-m_T^2 R l^3 \cos \alpha - m_T^2 R g l^2 \sin \alpha \cos \alpha}{m_T^2 R^2 l^2 \sin^2 \alpha} \quad (2.38)$$

2.3. Включение в модель системы продольной устойчивости

В дальнейшем было произведено численное решение полученных уравнений движения методом численного интегрирования. В качестве программы для численного решения была выбран пакет прикладных программ MatLab.

В качестве моделирования системы продольной устойчивости в численное решение внесено условие при котором момент на колесе, в случае достижения предельного угла, приравнивается нулю.

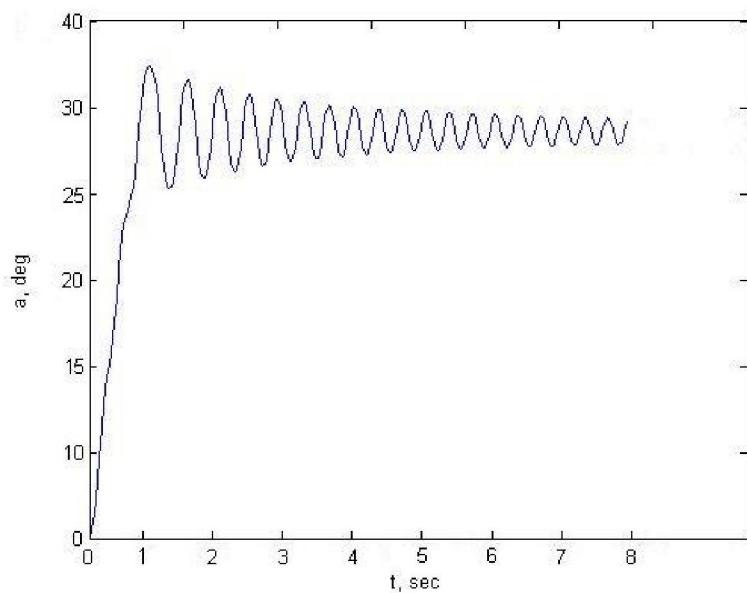


Рис. 6 – Зависимость продольного угла мотоцикла от времени

2.3 Задача описывающая движение мотоцикла на двух колесах

Для движения мотоцикла на двух колесах постановка задачи сводится к разработке двухмерной математической модели двухколесного транспортного средства (рис. 2.4). Данное ДТС состоит из трех частей: 1) Переднее колесо; 2) Заднее колесо; 3) Тело, представляющее корпус мотоцикла с водителем. Переднее колесо и заднее колесо имеют жесткое соединение с телом и могут вращаться вокруг своих центральных продольных осей. Движение ДТС происходит по горизонтальной ровной поверхности. Проскальзывание колес отсутствует.

Данная модель имеет две степени свободы, и положение в пространстве в любой момент времени каждого из составляющих его тел можно однозначно определить, используя обобщенную координату - угол поворота колеса из начального положения (ψ).

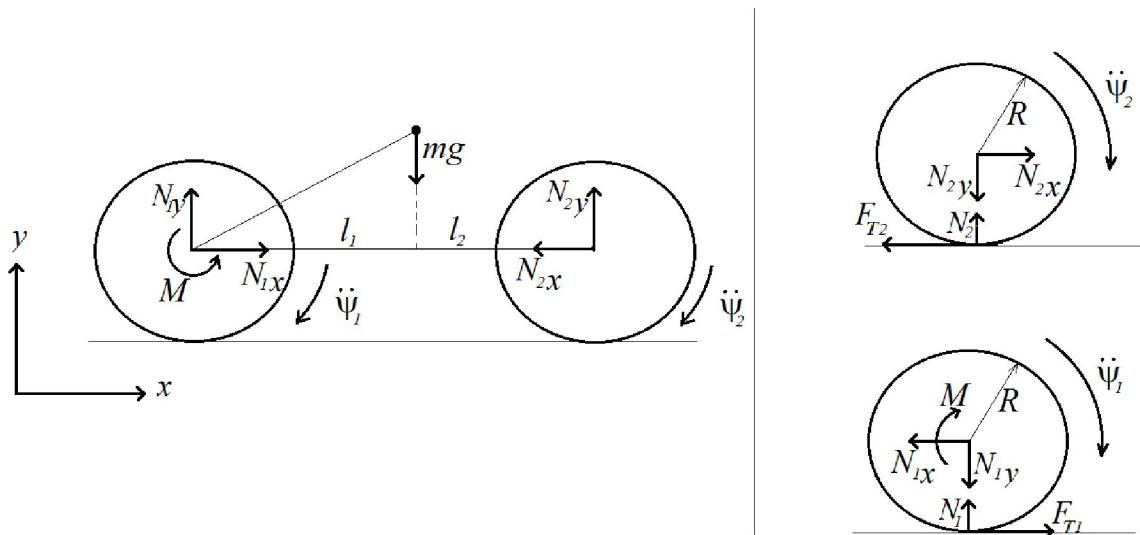


Рис. 7 – Расчетная схема двухколесного транспортного средства

Выражения, связывающие центр масс тела (x_t, y_t) и центр масс колес $(x_{k1}, x_{k2}, y_{k1}, y_{k2})$ с декартовыми координатами имеют вид:

$$x_t = x_{k1} + l_1 \quad (2.39)$$

$$y_t = const \quad (2.39)$$

$$x_{k1} = X_0 + R\psi \quad (2.40)$$

$$y_{k1} = const \quad (2.41)$$

$$x_{k2} = X_0 + l_1 + l_2 + R\psi \quad (2.42)$$

$$y_{k2} = const \quad (2.43)$$

где X_0 значение координаты x_{k1} в начальный момент времени, R радиус колеса, l_1 расстояние от центра заднего колеса до проекции центра масс тела на прямую проходящую через центры колес, l_2 расстояние от центра переднего колеса до проекции центра масс тела на прямую проходящую через центры колес.

Для каждого элемента необходимо записать дифференциальные уравнения движения. Для тела:

$$m_T \ddot{x}_T = N_{1x} - N_{2x} \quad (2.44)$$

$$m_T \ddot{y}_T = N_{1y} + N_{2y} - m_T g \quad (2.45)$$

$$I_T \ddot{\alpha} = M + N_{2y}l_2 + N_{1x}h - N_{1y}l_1 - N_{2x}h \quad (2.46)$$

Для заднего колеса:

$$m_k \ddot{x}_{k1} = -N_{1x} + F_{T1} \quad (2.47)$$

$$m_k \ddot{y}_{k1} = -N_{1y} - N_{1y} - m_k g \quad (2.48)$$

$$I_k \ddot{\psi}_{k1} = M - F_{T1}R \quad (2.49)$$

Для переднего колеса:

$$m_k \ddot{x}_{k2} = N_{2x} - F_{T2} \quad (2.50)$$

$$m_k \ddot{y}_{k2} = N_{2y} - N_{2y} - m_k g \quad (2.51)$$

$$I_k \ddot{\psi}_{k2} = F_{T2}R \quad (2.52)$$

где m_T, m_k массы тела и колеса, I_T, I_k моменты инерции тела и колеса, N_y, N_x силы реакции опоры с проекциями на соответствующие оси, M вращающий момент, F_{Tp} сила трения действующая на колесо.

Получим зависимость силы нормальной реакции опоры от вращающего момента на заднем колесе:

$$N_2(l_1 + l_2) = -M - hM \frac{2hI_k M}{2RI_k + (2m_k + m_T)R^3} + \frac{2hm_k M}{2I_k + (2m_k + m_T)R} + \\ + l_2 m_k g + l_1 m_T g + l_1 m_k g \quad (2.52)$$

Численное решение данного уравнения (Рис. 8) производилось в пакете MatLab. При вращающем моменте на заднем колесе $M=651$ Нм сила нормальной реакции на переднем колесе $N_2 = 0$, что определяет поднятие переднего колеса.

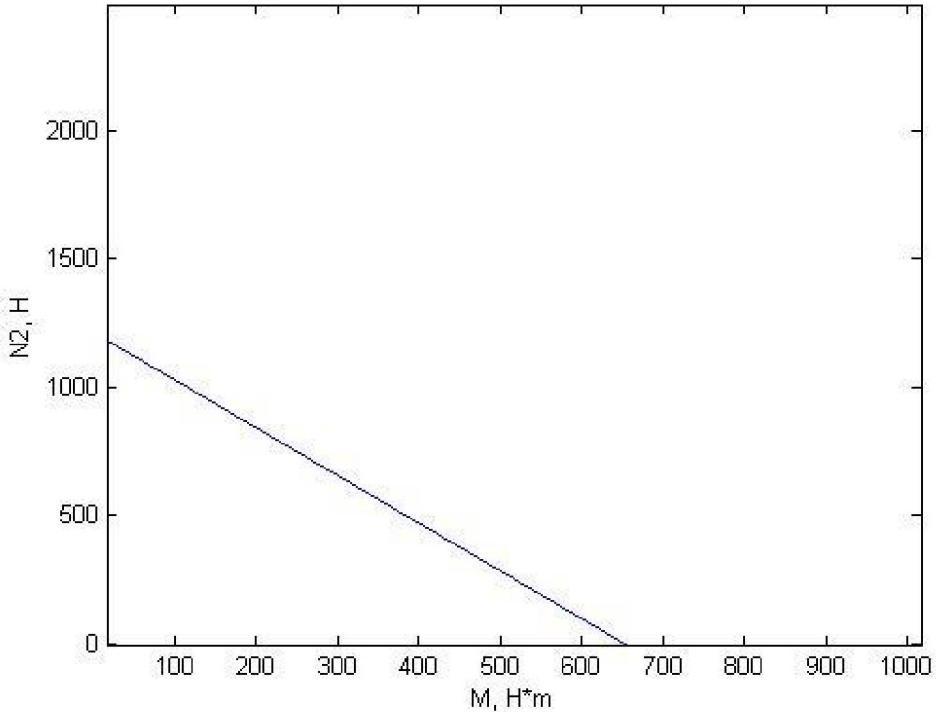


Рис. 8 – Зависимость силы нормальной реакции от вращающего момента на заднем колесе

Уравнение движения будет иметь вид:

$$\ddot{\psi} = \frac{M}{2I_k + (2m_k + m_T)R^2} \quad (2.53)$$

График полученный в ходе решения данного уравнения представлен на рисунке 9. На данном рисунке показан процесс ускорения двухколесного транспортного средства, при вращающем моменте на заднем колесе $M=500 \text{ Нм}$, что согласно рис. 8 соответствует режиму движения на двух колесах.

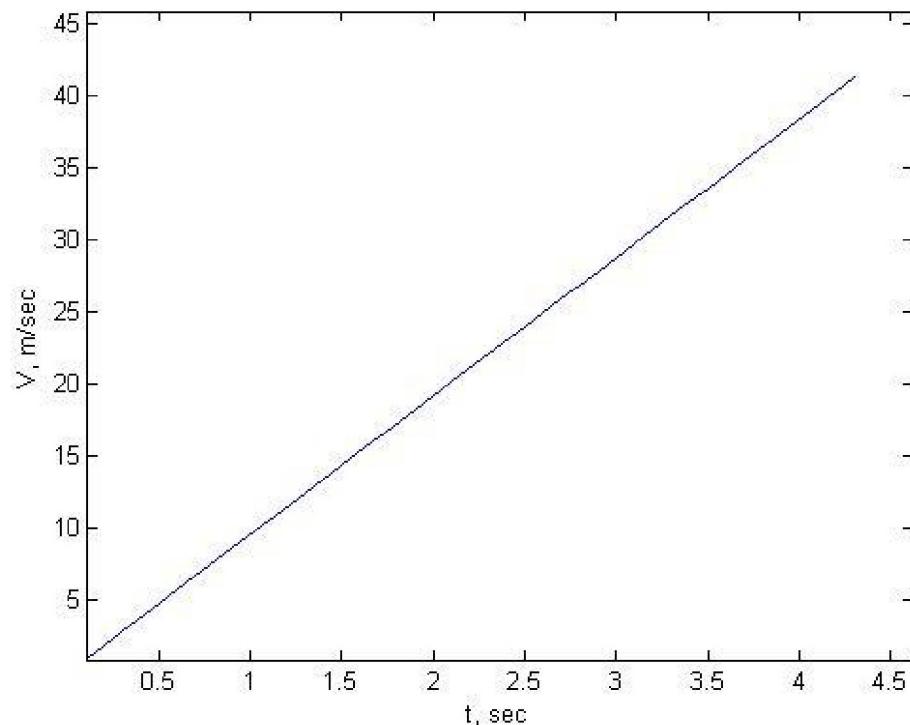


Рис. 9 – Ускорение мотоцикла при $M=500 \text{ Нм}$

3. РЕАЛИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ В MSC ADAMS

3.1 Моделирование движения мотоцикла без системы продольной устойчивости.

Для реализации математической модели мотоцикла был использован программный пакет MSC Adams.

Параметры модели заданы в соответствии с реальными параметрами мотоцикла Yamaha YZF R1 [15]:

Таблица 1

Параметр	Значение
m_t	253кг
m_k	7кг
R	0,3м
l	0,74м
I_t	227,3кг · м ²
I_k	0,47кг · м ²

Модель двухколесного транспортного средства (рис. 10) представляет собой твердое тело состоящее из нескольких элементов:

- 1) Корпус соответствующий размерам и форме мотоцикла;
- 2) Задний маятник жестко закрепленный к корпусу;
- 3) Заднее колесо жестко закрепленное к маятнику;
- 4) Переднее колесо жестко закрепленное к корпусу.

Данная модель находится на поверхности тела длиной 200м. Коэффициент трения задан равным 100, что обуславливает отсутствие проскальзывания колес. На модель действует сила тяжести.

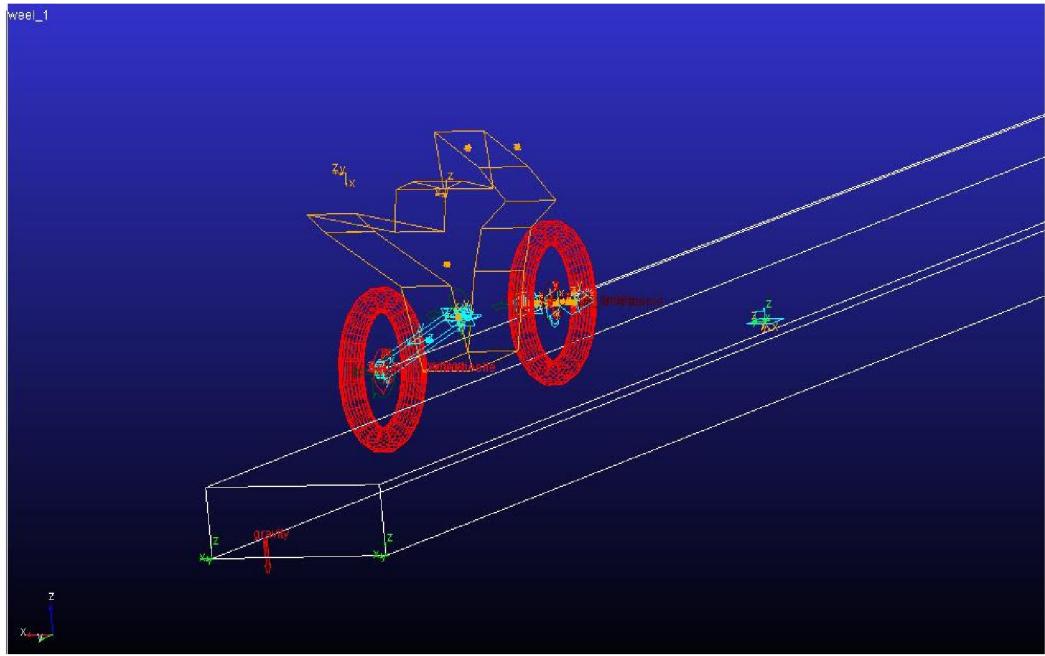


Рис. 10 – Модель двухколесного транспортного средства

Моделирование движения производилось при заданном вращающем моменте на заднем колесе $M=1100 \text{ Нм}$, который подается с 0,2 секунды. Данное значение момента является максимальным для данного мотоцикла на первой передаче. Шаг по времени задан 10 миллисекунд. На корпусе мотоцикла установлен датчик угла наклона. На рисунке 11 показано отклонение корпуса мотоцикла при ускорении.

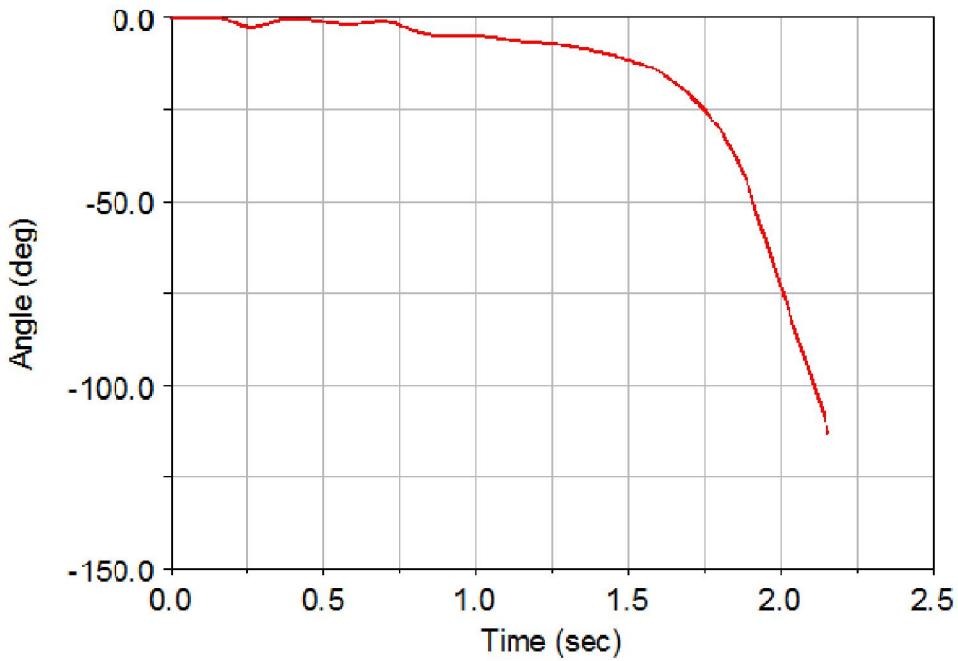


Рис. 11 – Продольный угол корпуса мотоцикла при ускорении и заданном вращающем моменте $M=1100 \text{ Нм}$.

3.2 Моделирование движения мотоцикла с системой продольной устойчивости.

В качестве системы продольной устойчивости в модель было внесено условие – при достижение критического угла, обнулять вращающий момент на заднем колесе, который подается с 0,2 до 3 секунд, заданный по умолчанию 1100 Нм . Шаг по времени задан 10 миллисекунд. На корпусе мотоцикла установлен датчик угла наклона. Из графика на рисунке 12 видно, что по достижении 3 секунд происходит стабилизация угла наклона, после чего мотоцикл переходит в режим движения на двух колесах.

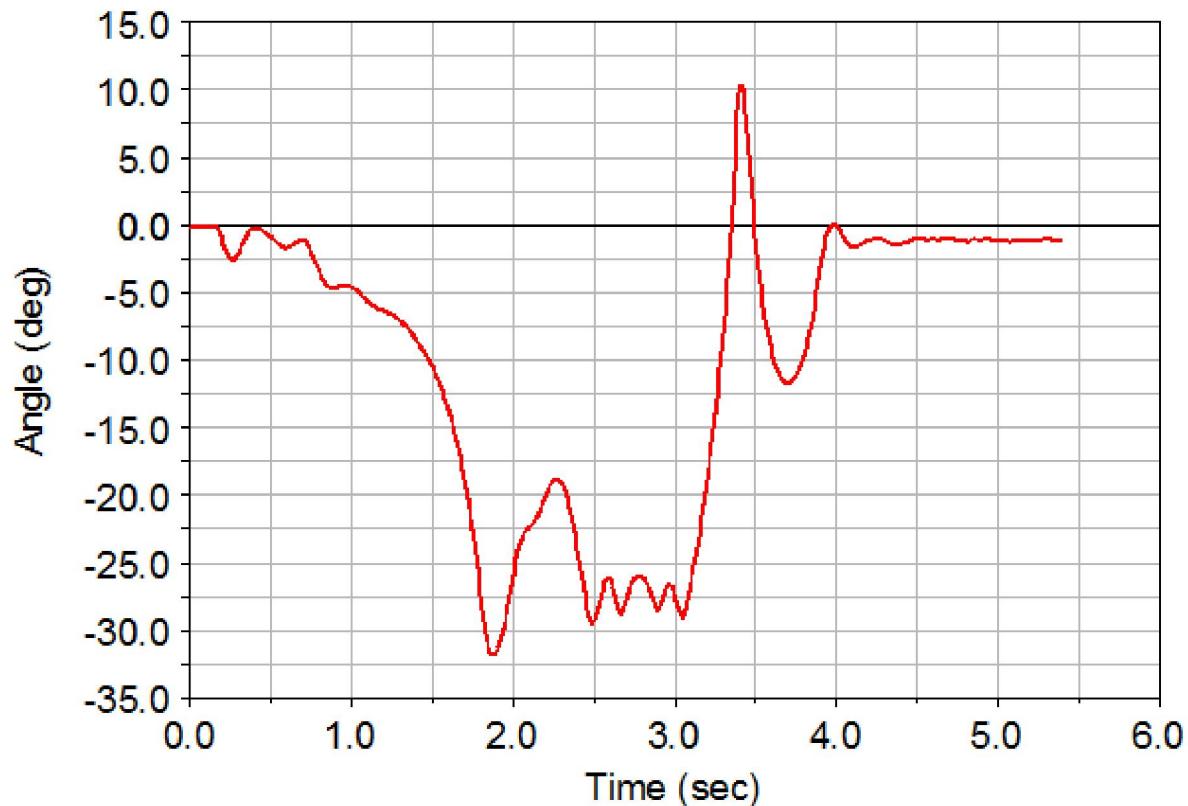


Рис. 12 – Продольный угол корпуса мотоцикла при ускорении и заданном вращающем моменте $M=1100 \text{ Нм}$.

3.3 . Моделирование движения мотоцикла на двух колесах.

Для моделирования движения мотоцикла на двух колесах задан вращающий момент $M=500 \text{ Нм}$, который начинает действовать с 0,2 секунды. Полученный график качественно совпадает с аналитическим решением, а так же с заявленными техническими характеристиками мотоцикла Yamaha YZF R1.

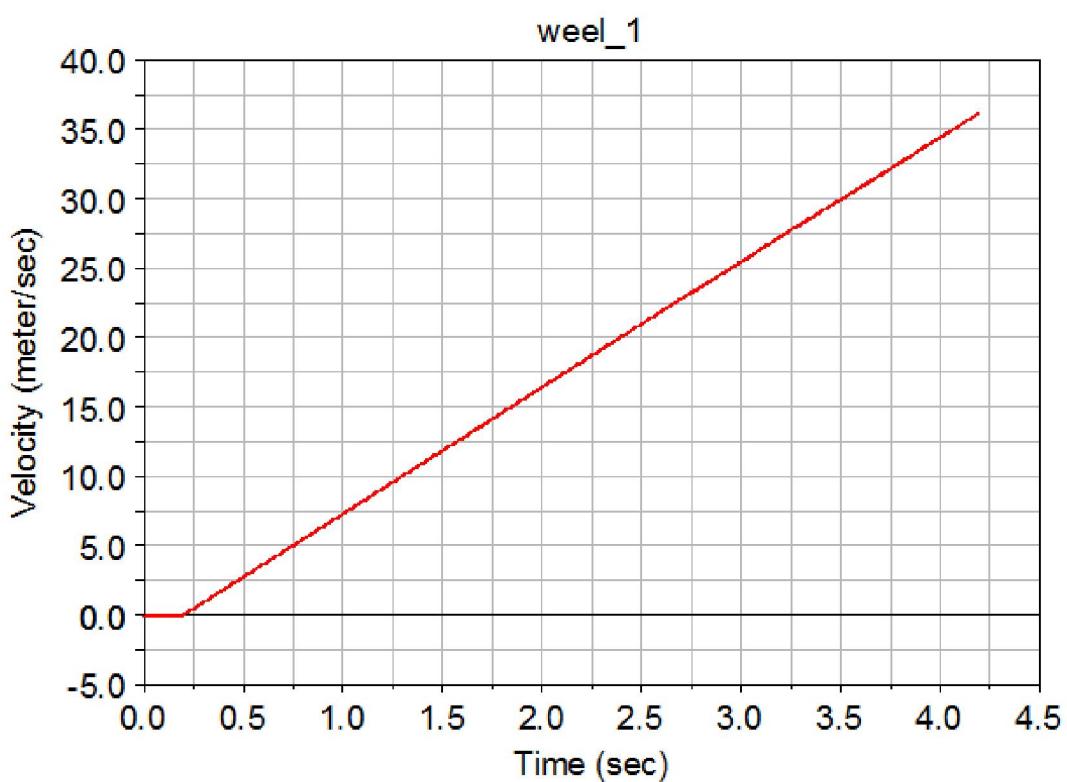


Рис. 12 – Ускорение мотоцикла при $M=500 \text{ Нм}$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе исследовано поведение двухколесного транспортного средства в различных режимах движения.

Разработана расчетная схема двухколесного транспортного средства, составлены уравнения динамики движения, уравнения связи между силы нормальной реакции опоры и вращающего момента на заднем колесе. Произведено аналитическое решение для режима движения на двух колесах. А так же методом численного интегрирования в программе MatLab получено решение для режима «Вилли» с включением системы продольной устойчивости.

С помощью программного пакета MSC Adams разработана математическая модель мотоцикла. Произведено моделирование движения в режиме «Вилли» с системой продольной устойчивости, а так же в режиме движения на двух колесах. По полученным результатам можно сделать вывод о соответствии математического моделирования и аналитического решения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Туладхар Даниел: Динамика процесса торможения двухколесного транспортного средства , оснащенного антиблокировочной системой // Диссерт. канд. техн. наук. Юго-Зап. гос. ун-т.- Курск, 2011.- 140 с.
2. Брылев И. С. Реконструкция ДТП по параметрам торможения двухколесных механических транспортных средств // Диссерт. канд. техн. наук. СПбГАСУ.- Санкт-Петербург, 2015.- 159 с.
3. Вайсман А.И. Здоровье водителя и безопасность движения // Транспорт, 1979,- 208 с.
4. Singh K. Automobile engineering // Standard Publishers- Delhi: 2006.-Vol.2.
5. Волков А. Т. Проектирование мотоцикла // Машиностроение, 1978. - 159 с.
6. Кумбс М. Мотоциклы. Устройство и принцип действия // СПб.: Алфамер, 2002. - 150 с.
7. Тверсов Б.М. Теория мотоцикла // Курган : Изд-во Курган, гос. ун-та, 2004. -111с.
8. Ксенофонтов, И.В. Основы управления мотоциклом и безопасность движения // И.В. Ксенофонтов-М: Академия, 2004.- 80с. :ил.
9. Нарбут А.Н. Мотоциклы // А. Н. Нарбут. - М: Academia, 2008. — 176с.
10. Singh, K. Automobile engineering Set 9th ed // K. Singh- Standard Publishers- Delhi: 2006.-Vol.2.
11. Cossalter V The Modal Analysis of a Motorcycle in Straight Running and on a Curve, // V. Cossalter, R. Lot and F. Maggio // Meccanica, Kluwered, 2003.
12. Webster, J. Automotive suspension, steering & brakes // J. Webster. New York, Delmar Publications, 1987.
13. Браун Роланд. Мотоциклы. Энциклопедия. Перевод: с англ. Гальперштейна Л.Я // Издательство: Росмэн-Пресс.- 2003
14. Роджер Хикс. Мотоциклы. Мировая энциклопедия. Перевод: с англ. Измельцева М.В., Юльева Ю. И. // Издательство: ACT Москва, 2005.- 544с.
15. Yamaha YZFR1W Service manual // Yamaha Motor Co., Ltd, 2006

Приложение. Охрана труда

Основные нагрузки при выполнении данной работы: интеллектуальные, эмоциональные, зрительные, и, в меньшей степени, слуховые. Вся работа проводилась за персональным компьютером и за письменным столом, натурные эксперименты отсутствовали. Организация работы должна проводиться в этом случае согласно СниП 2.2.2/2.41340-03. По природе действия вредные и опасные факторы подразделяются на следующие группы:

- физические факторы: температура, влажность и подвижность воздуха, неионизирующие электромагнитные излучения (ультрафиолетовое, видимое, инфракрасное, лазерное, микроволновое, радиочастотное, низкочастотное), статическое, электрические и магнитные поля, ионизирующие излучения, производственный шум, вибрация (локальная, общая), ультразвук, аэрозоли преимущественно фиброгенного действия (пыли), освещенность (отсутствие естественного освещения, недостаточная освещенность, повышенная ультрафиолетовая радиация);

- химические факторы, в том числе некоторые вещества биологической природы (антибиотики, витамины, гормоны, ферменты);

- биологические факторы: патогенные микроорганизмы, микроорганизмы продуценты, препараты, содержащие живые клетки и споры микроорганизмов, белковые препараты;

- факторы трудового процесса, характеризующие тяжесть физического труда: физическая динамическая нагрузка, масса поднимаемого и перемещаемого груза, стереотипные рабочие движения, статическая нагрузка, рабочая поза, наклоны корпуса, перемещение в пространстве;

- факторы трудового процесса, характеризующие напряженность труда: интеллектуальные, сенсорные, эмоциональные нагрузки, монотонность нагрузок, режим работы,

В помещении лаборатории или кафедры на сотрудника, работающего с вычислительной техникой, могут негативно действовать следующие факторы:

- повышенная и пониженная температура воздуха;
- чрезмерная запыленность и загазованность воздуха;
- повышенная и пониженная влажность воздуха;

- недостаточная освещенность рабочего места;
- превышающий допустимые нормы шум;
- повышенный уровень ионизирующего излучения;
- повышенный уровень электромагнитных полей;
- повышенный уровень статического электричества;
- опасность поражения электрическим током;
- блеклость экрана дисплея;
- длительное пребывание в сидячем положении;
- гиподинамия;
- повышенные интеллектуальные и психоэмоциональные нагрузки;
- ненормированный рабочий день,

Требования к вентиляции, отоплению и кондиционированию воздуха

Микроклимат производственных помещений — это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха. Допустимые микроклиматические условия — это такие сочетания параметров микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека могут вызвать напряжение реакций терморегуляции и которые не выходят за пределы физиологических приспособительных возможностей. При этом не возникает нарушений в состоянии здоровья, не наблюдаются дискомфортные теплоощущения, ухудшающие самочувствие и понижение работоспособности. Оптимальные параметры микроклимата в производственных помещениях обеспечиваются системами кондиционирования воздуха, а допустимые параметры — обычными системами вентиляции и отопления. Помещение кафедры является помещением категории 1а. Для создания и автоматического поддержания в лаборатории независимо от наружных условий оптимальных значений температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, в холодное время года используется водяное отопление, в теплое время года применяется кондиционирование воздуха. Кондиционер представляет собой вентиляционную установку, которая с помощью приборов автоматического регулирования поддерживает в помещении заданные параметры воздушной среды.

Также одежда персонала должна соответствовать температурному режиму в помещении. Отопление, вентиляция и кондиционирование должны осуществляться согласно СНиП 2,04,05-91:

1. В холодные периоды года температура воздуха, скорость его движения и относительная влажность воздуха должны составлять: 22 - 24°C; 0.1м/с; 40-60%; температура воздуха может колебаться в пределах от 21 до 25°C.
2. То же в теплые периоды года: 23 — 25°C; 0.1-0.2 м/с; 40-60%; температура воздуха может колебаться в пределах от 22 до 26°C.
3. Воздух, поступающий в помещения с ЭВМ, должен быть отчищен от загрязнений, в том числе от пыли и микроорганизмов. Запыленность воздуха не должна превышать требований 12.1.005-91.

Требования к уровням шума

Шум — беспорядочное сочетание различных по силе и частоте звуков. Эквивалентный (по энергии) уровень звука (дБА) непостоянного шума - уровень звука постоянного широкополосного шума, который имеет такое же среднеквадратичное звуковое давление, что и данный непостоянный шум в течение определенного интервала времени. Предельно допустимый уровень (ПДУ) шума — это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц, В нашем помещении источником шумовых помех могут стать вентиляционные установки, кондиционеры и др. Длительное воздействие этих шумов отрицательно сказываются на эмоциональном состоянии персонала. Шум ухудшает условия труда оказывая вредное действие на организм человека. Работающие в условиях длительного шумового воздействия испытывают раздражительность, головные боли, головокружение, снижение памяти, повышенную утомляемость, понижение аппетита, боли в ушах и т. д. Такие нарушения в работе ряда органов и систем организма человека могут вызвать негативные изменения в эмоциональном состоянии человека вплоть до стрессовых. Под воздействием шума

снижается концентрация внимания, нарушаются физиологические функции, появляется усталость в связи с повышенными энергетическими затратами и нервно-психическим напряжением, ухудшается речевая коммутация. Все это снижает работоспособность человека и его производительность, качество и безопасность труда. Длительное воздействие интенсивного шума (выше 80 дБА) на слух человека приводит к его частичной или полной потере. Для того, чтобы добиться допустимого уровня шума рекомендуется применять звукопоглощающее покрытие стен. Защиту от шума следует выполнять в соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.562-96.

Требования к естественному и искусственноому освещению для помещений вычислительных комнат

Освещённость — плотность светового потока по поверхности, на которую он падает. Правильно спроектированное и выполненное производственное освещение улучшает условия зрительной работы, снижает утомляемость, способствует повышению производительности труда, благотворно влияет на производственную среду, оказывая положительное психологическое воздействие на работающего, повышает безопасность труда и снижает травматизм. Недостаточность освещения приводит к напряжению зрения, ослабляет внимание, приводит к наступлению преждевременной утомленности. Чрезмерно яркое освещение вызывает ослепление, раздражение и резь в глазах. Неправильное направление света на рабочем месте может создавать резкие тени, блики, дезориентировать работающего. Существует три вида освещения: естественное, искусственное и совмещенное (естественное и искусственное вместе). Естественное освещение — освещение помещений дневным светом, проникающим через световые проемы в наружных ограждающих конструкциях помещений. Естественное освещение характеризуется тем, что меняется в широких пределах в зависимости от времени дня, времени года, характера области и ряда других факторов. Искусственное освещение применяется при работе в темное время суток и днем, когда не удается обеспечить нормированные значения коэффициента естественного освещения (пасмурная погода, короткий световой день). Освещение, при котором недостаточное по нормам естественное освещение дополняется искусственным, называется совмещенным освещением. Искусственное освещение подразделяется на рабочее, аварийное, эвакуационное, охранное. Рабочее

освещение, в свою очередь, может быть общим или комбинированным, Общее — освещение, при котором светильники размещаются в верхней зоне помещения равномерно или применительно к расположению оборудования. Комбинированное — освещение, при котором к общему добавляется местное освещение, Работа, выполняемая с использованием вычислительной техники, имеют следующие недостатки: вероятность появления прямой блесткости, ухудшенная контрастность между изображением и фоном, отражение экрана. Недостаточность освещения приводит к напряжению зрения, ослабляет внимание, приводит к наступлению преждевременной утомленности. Чрезмерно яркое освещение вызывает ослепление, раздражение и резь в глазах. Неправильное направление света на рабочем месте может создавать резкие тени, блики, дезориентировать работающего. Согласно СНиП 23-05-95 освещение в помещениях, где располагается вычислительная техника, должно быть смешанным: естественным и искусственным. При выполнении зрительной работы категории средней точности к. е. о. должен быть не ниже 4 %. Искусственное освещение в помещениях следует осуществлять в виде комбинированной системы освещения с использованием люминесцентных источников света в светильниках общего назначения. В качестве источников должны использоваться люминесцентные лампы типа ЛБ и ДРЛ с индексом цветопередачи ($R > 70$), В качестве светильников должны использоваться установки с преимущественно отраженным или рассеянным светораспределением (тип УСП-5-2x40, УСП-35-2x40, ЛВ003-2x40-002). Величина освещенности при искусственном освещении люминесцентными лампами должна быть в горизонтальной плоскости не ниже 300лк — для системы общего освещения и не ниже 750лк — для системы комбинированного освещения, причем с учетом работы категории высокой зрительной точности может быть увеличена до 1000лк. Для исключения бликов отражения на экранах от светильников общего назначения необходимо применять антибликерные сетки, специальные фильтры для экранов, защитные козырьки и т.п.

Пожарная безопасность при работе с вычислительной техникой

Пожарная безопасность — это состояние защищенности личности, имущества, общества и государства от пожаров. Пожар — это неконтролируемое горение, причиняющее материальный ущерб, вред жизни и здоровью граждан, интересам

общества и государства. Определение категорий помещений осуществляется на стадии проектирования путем последовательной проверки принадлежности к категориям, установленным нормативными документами (НПБ 105-95), Причинами взрывов и пожаров часто являются электрооборудование и электрические сети. Опасность загорания в ЭВМ связана со значительным количеством плотно расположенных на монтажных платах и блоках: электронных узлов и схем, электрических и коммутационных кабелей, резисторов, конденсаторов, полупроводниковых диодов и транзисторов. Высокая плотность элементов в электронных схемах приводит к значительному повышению температуры отдельных узлов (80 — 200°C), что может служить причиной воспламенения изоляционных материалов, В связи с этим в помещениях вычислительного центра должны быть предусмотрены возможные пути эвакуации персонала.

Требования электробезопасности

Для питания ЭВМ служит трехфазная электросеть с напряжением 380/220В и частотой 50Гц. Помещение, в котором располагался вычислительный центр, относится к помещениям без повышенной опасности (ГОСТ 12.1.013), поэтому защитное заземление не применялось (ГОСТ 12.1.030). При этом обслуживающий персонал должен допускаться до работы только после инструкции по технике безопасности. Изолирующие корпуса терминалов обеспечивают недоступность токоведущих частей, находящихся под напряжением.

Эргономические требования

Настоящий стандарт ГОСТ Р ИСО 9241-5-2009 устанавливает руководящие принципы, применяемые при формировании требований пользователей, а также при разработке проекта и установке оборудования рабочих станций, предназначенных для проведения офисных работ с применением видеодисплейных терминалов. Общие принципы и требования, установленные в настоящем стандарте, следует учитывать при разработке стандартов, устанавливающих требования к конструкции офисной мебели и оборудования рабочего места оператора. Под рабочим местом понимается зона, оснащенная необходимыми техническими средствами, в которой совершается трудовая деятельность исполнителя или группы исполнителей, совместно

выполняющих одну работу или операцию. Конструкция рабочего места должна обеспечивать быстроту, безопасность, простоту и экономичность технического обслуживания в нормальных и аварийных условиях; полностью отвечать функциональным требованиям и предполагаемым условиям эксплуатации. Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы. Высота рабочей поверхности стола для взрослых пользователей должна регулироваться в пределах 680-800 мм; при отсутствии такой возможности высота рабочей поверхности стола должна составлять 725 мм. Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Тип рабочего стула (кресла) должен выбираться в зависимости от характера и продолжительности работы с учетом роста пользователя. Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула (кресла) должна быть полумягкой, с нескользящим, неэлектризующимся и воздухонепроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений. Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края, обращенного к пользователю, или на специальной, регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделенной от основной столешницы,

Напряженность трудового процесса

Тяжесть трудового процесса в ходе работы над диссертацией можно отнести к оптимальному классу условий труда (легкая физическая нагрузка), основная нагрузка интеллектуальная, присутствует возможность гибкого графика работы, изменения рабочей позы. Классифицировать по степени напряженности выполняемую работу можно следующим образом: интеллектуальные нагрузки предполагают решение сложных задач с выбором по известным алгоритмам (напряженный труд 1-ой степени); а также эвристическую, творческую деятельность, требующую решения сложных задач при отсутствии алгоритма (напряженный труд 2-ой степени); большую часть времени работа проходит установленному графику с возможной его коррекцией по ходу деятельности (напряженный труд 1-ой степени); часто присутствует работа в

условиях дефицита времени (напряженный труд 2- ой степени); сенсорные нагрузки (работа за экраном компьютера) присутствуют более четырех часов за рабочий день (напряженный труд 2-ой степени); фактическая продолжительность рабочего дня 8-9 часов (напряженность труда средней степени).