

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОЛКНОВЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ С ПЕШЕХОДОМ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЕМ

А.Н. Варнавский, Н.В. Чекан (РГРТУ)

Описываются имитационная модель движения автомобиля и выбежавшего перед ним на дорогу пешехода и определение вероятности столкновения автомобиля с пешеходом. Получено семейство кривых зависимости вероятности столкновения от скорости автомобиля при различных скоростях движения пешехода. Предложен способ снижения вероятности столкновения, основанный на использовании в управлении автомобилем контроллера, анализирующего окружающую обстановку на дороге. Получено семейство кривых зависимости вероятности столкновения от скорости автомобиля при использовании контроллера.

Ключевые слова: автомобиль, пешеход, столкновение, статистическое моделирование, имитационная модель, окружающая обстановка, контроллер.

Введение

Развитие экономики невозможно без использования транспортных средств. К 2020–2025 гг. общее их число в России по оценкам достигнет 45...50 млн. ед. Возрастающая интенсивность эксплуатации автотранспортных средств и существенный рост их числа сопровождается все большим масштабом негативных последствий. Постоянно возникают дорожно-транспортные происшествия (ДТП), сопровождающиеся травмированием и гибелью людей, значительными материальными потерями. В последние годы наблюдается тенденция увеличения числа ДТП (до 220 тыс. аварий ежегодно), числа погибших (до 45 тыс. человек ежегодно) и пострадавших (до 260 тыс. человек) на дорогах страны. Менее защищенными участниками дорожного движения являются пешеходы, составляющие значительную часть погибших при ДТП.

Основными причинами ДТП являются (<http://autourist.ru/info/prichini-dtp>):

- несоблюдение безопасной дистанции движения транспортных средств (3% ДТП);
- нарушение правил обгона в зоне ограниченной видимости (11% ДТП);
- управление автотранспортным средством в нетрезвом состоянии (25% ДТП);
- нарушение правил обгона (почти 15% ДТП);
- нарушение правил маневрирования, перестроение, поворот или разворот (9%, ДТП);
- резкое торможение, игнорирование запрещающих знаков, сон за рулем (20% ДТП);
- превышение установленной скорости движения (17% ДТП).

Вследствие этого снижение вероятности возникновения аварий транспортных средств является особенно актуальным. Данную проблему решают организационными, эксплуатационными и конструктивными методами. Среди конструктивных методов наиболее эффективными являются методы повышения активной безопасности – свойства транспортного средства, позволяющее водителю предотвращать ДТП [1].

Целью работы является имитационное моделирование движения автомобиля и выбежавшего перед ним на дорогу пешехода и определение вероятности столкновения автомобиля с пешеходом при различ-

ных способах управления транспортным средством: традиционном управлении водителем и использовании в управлении контроллера, осуществляющего анализ окружающей обстановки на дороге.

Имитационное моделирование столкновения автомобиля с пешеходом при традиционном управлении водителем транспортным средством

Для моделирования обозначенной проблемы рассматривалось движение автомобиля по дороге со скоростью V и выбегание пешехода со скоростью V_p на проезжую часть на некотором расстоянии l до транспортного средства. При этом учитывалось время t_0 реакции водителя и оценки возможности возникновения аварийной ситуации порядка 1...3 с, по результатам которой осуществлялось торможение автомобиля.

Для моделирования столкновения автомобиля с пешеходом были рассмотрены два критерия столкновения: критерий расстояния, пройденного автомобилем, и критерий расстояния, пройденного пешеходом. Если расстояние L , которое проехал автомобиль, меньше расстояния l до пешехода, то столкновение невозможно, в противном случае осуществляется проверка по критерию пройденного пешеходом расстояния, то есть если пешеход за время движения автомобиля оказался в опасной зоне, равной ширине автомобиля, то столкновение неизбежно.

Учитывая, что на дороге могут появиться автомобили с различными параметрами, примем при моделировании ширину автомобиля B и коэффициент сцепления с дорогой K случайными величинами, подчиняющимися равномерному закону распределения с диапазонами изменения величин 1,5...2 м, 0,1...0,7 соответственно. При выборе такого закона распределения не отдается «предпочтение» появлению автомобиля с теми или иными параметрами. Выбранные диапазоны соответствуют наиболее распространенным моделям транспортных средств и условиям их движения. Аналогичное условие вводится и для появления пешехода: расстояние между пешеходом и автомобилем l , расстояние от пешехода до проезжей части в момент начала движения L_p , время t_0 , требуемое водителю для оценки ситуации, принимаются случайными равномерно распреде-

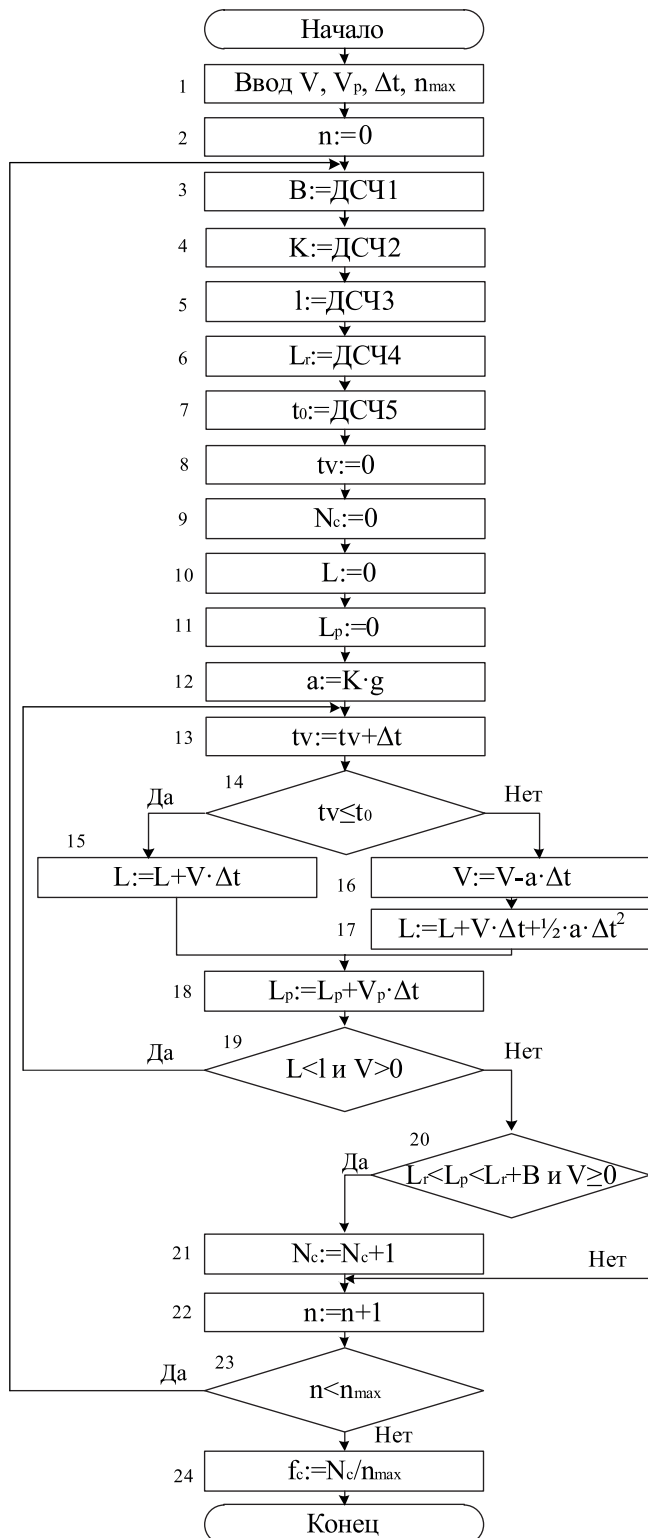


Рис. 1. Имитационная модель столкновения автомобиля с пешеходом

ленными величинами в диапазонах 30...100 м, 0...2 м и 1...3 с соответственно.

Скорости движения автомобиля V и пешехода V_p принимаются известными изменяемыми величинами, поступающими на вход имитационной модели. Введем следующие обозначения ДСЧ1, ДСЧ2, ДСЧ3, ДСЧ4, ДСЧ5 – датчики случайных чисел, t_v – теку-

щее время моделирования, n_{max} – число экспериментов, соответствующее числу появлений пешехода на проезжей части, n – номер эксперимента, Δt – шаг времени моделирования, N_c – счетчик числа столкновений, L – текущее расстояние, пройденное автомобилем, L_p – текущее расстояние, пройденное пешеходом, f_c – частота столкновений. В ходе экспериментов с моделью будем использовать статистическое моделирование. Имитационная модель возникновения аварий представлена на рис. 1.

В блоке 1 осуществляется ввод известных величин – скоростей движения автомобиля V и пешехода V_p , шага времени моделирования Δt и максимального числа экспериментов n_{max} . Серия экспериментов с моделью начинается при: обнулении счетчика $n=0$ (блок 2), при генерации датчиками случайных чисел ДСЧ1-ДСЧ5 в блоках 3–7 значений ширины автомобиля B , коэффициента сцепления с дорогой K , расстояний l и L_r , времени t_0 , требуемого водителю для оценки ситуации, установке текущего времени моделирования t_v , счетчика числа столкновений N_c , значений расстояний L , L_p в 0 (блоки 8–11). Величина торможения a определяется в блоке 12.

Во время проведения каждого эксперимента текущее время t_v увеличивается на шаг моделирования Δt в блоке 13, при этом осуществляется расчет расстояния L , пройденного автомобилем, (в блоках 15–17) и пешеходом L_p (в блоке 18). Если осуществляется торможение, то расстояние, пройденное автомобилем, вычисляется в блоке 16, в противном случае – в блоке 15. Расчет расстояний L и L_p осуществляется путем суммирования расстояния, пройденного к моменту времени $(t_v-\Delta t)$, и расстояния, пройденного за время Δt . Отличие формул в блоках 15 и 16–17 в том, что в первом случае автомобиль движется равномерно, а во втором – с торможением. На каждом шаге моделирования осуществляется сравнение расстояния, пройденного автомобилем L с расстоянием между автомобилем и пешеходом l и скорости автомобиля с нулевым значением (блок 19), в результате чего эксперимент либо продолжается (переход к блоку 13 с увеличением на шаг времени моделирования), либо анализируется положение пешехода относительно автомобиля (блок 20). Если пешеход находится в области перед автомобилем, то столкновение произошло и в блоке 21 счетчик числа столкновений N_c увеличивается на единицу, в противном случае столкновения удалось избежать. В любом случае в блоке 22 номер эксперимента n увеличивается на единицу, а затем сравнивается с максимальным значением числа экспериментов n_{max} в блоке 23. В результате сравнения либо начинается новый эксперимент, и моделирование продолжается с блока 3, либо серия экспериментов заканчивается, и в блоке 24 рассчитывается частота столкновений f_c как отношение числа столкновений к общему числу экспериментов:

$$f_c = \frac{N_c}{n_{max}}.$$

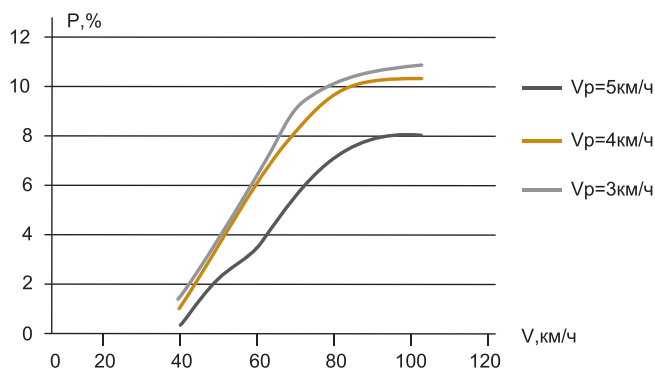


Рис. 2. Вероятность столкновения автомобиля с пешеходом

От частоты столкновений можно перейти к вероятности столкновения:

$$P = \lim_{N_c \rightarrow \infty} \frac{N_c}{n_{max}}$$

Поскольку бесконечное число экспериментов провести невозможно, необходимо задать погрешность ε и доверительную вероятность Q для результата моделирования и определить оптимальное число экспериментов N_{onm} по формуле:

$$N_{onm} = \frac{p_0(1-p_0)}{\varepsilon^2} (F^{-1}(Q))^2,$$

где p_0 – ориентировочное значение вероятности столкновения, определяемое при небольшом числе экспериментов (500...1000 ед.), $F^{-1}(Q)$ – обратное преобразование Лапласа.

Имитационная модель (рис. 1) была реализована в системе имитационного моделирования GPSS World [2]. Проведя $n_{max}=1000$ экспериментов с моделью при различных скоростях движений пешехода V_p и автомобиля V , было получено максимальное значение $p_0=0,12$, являющееся «худшим случаем». Задав $\varepsilon=0,005$ и $Q=0,95$, рассчитаем необходимое число экспериментов $N_{onm}=16227$.

Для получения результата с заданными ε и Q проведем основное моделирование с $n_{max}=N_{onm}$ при скоростях движения пешехода 3, 4, 5 км/ч и изменяющихся скоростях движения автомобиля 40...100 км/ч с шагом 5 км/ч. В результате моделирования было получено семейство кривых зависимости вероятности столкновения от скорости движения автомобиля при различных скоростях движения пешехода (рис. 2).

Результаты моделирования показали, что на высоких скоростях движения автомобиля вероятность наезда на пешехода достаточно высока и зависит, в том числе от времени оценки водителем текущей ситуации на дороге. Уменьшая это время, можно снизить вероятность столкновения с появившимся пе-

шеходом. Поэтому разработка активных технических средств снижения вероятности столкновения за счет уменьшения времени реакции водителя актуальна и целесообразна.

Использование в управлении автомобилем контроллера, осуществляющего анализ окружающей обстановки на дороге

На кафедре «Автоматизация информационных и технологических процессов» Рязанского государственного радиотехнического университета разрабатывается бортовая система для контроля и изменения параметров движения транспортных средств. Данная система анализирует окружающую обстановку на дороге, прогнозирует возможность столкновения и выдает управляющие воздействия на изменение параметров движения автомобиля.

При анализе окружающей обстановки используется следующая информация:

- наличие объектов вокруг данного транспортного средства,
- места расположения этих объектов,
- скорость и расстояния до них,
- вид объекта (человек или другое транспортное средство).

Для сбора такой информации используются расположенные по периметру автомобиля ультразвуковые датчики и видеокамеры, расположенные с лобовой стороны (рис. 3).

Расстояние S до объекта, определяемое с помощью ультразвуковых датчиков, может быть вычислено по следующей формуле:

$$S = V_{\text{звука}} \frac{t_u + t_o}{2},$$

где t_u , t_o – время излучения и отражения сигнала соответственно.

Расстояние l до объекта может быть определено при использовании видеокамер, расположенных на переднем бампере:

$$l = \frac{d}{2 \operatorname{tg}\left(\frac{\varphi}{2}\right)},$$

где d – расстояние между соседними камерами, φ – угол обзора соседних камер.

Для определения вида объекта в систему должен быть заложен контур-шаблон человека. После расчета расстояния l до объекта определяется коэффициент масштабирования для контура-шаблона, затем отмасштабированный контур-шаблон устанавливает в верхний угол изображения и вычисляется модуль разности параметров изображения m и шаблона h по формуле:

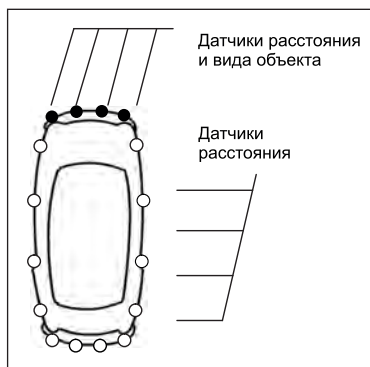


Рис. 3. Расположение датчиков анализа окружающей обстановки

$$y_k = \sum |m((i-a), (j-b)) - h(i, j)|,$$

где a и b – ширина и длина контура-шаблона человека.

Если эта разность не превышает заданной ошибки Δ , то человек распознан, в противном случае происходит смещение окна шаблона на шаг и процедура поиска повторяется до тех пор, пока не будет распознан человек или не будет достигнут конец изображения.

Определяя изменения расстояний S или l за интервал времени Δt , можно вычислить скорость движения пешехода V_p или объекта $V_{об}$ относительно скорости автомобиля [3].

Для формирования управляющих воздействий на изменение параметров движения автомобиля предлагается ввести коэффициенты K_i , где $i=1..4$ и характеризует направление движения транспортного средства вперед, влево, вправо, назад соответственно. При использовании таких коэффициентов скорость движения V_i в том или ином направлении будет формироваться следующим образом:

$$V_i = V_{0i} \cdot K_i,$$

где V_{0i} – скорость (вектор скорости) в i -ом направлении, задаваемая водителем.

Для снижения риска столкновения можно задавать значения коэффициентов равные 0 – если движение в этом направлении необходимо запретить, 1 – если движение не должно измениться, 0...1 – если необходимо замедлить движение и >1 – если необходимо ускорить движение.

Формирование коэффициентов K_i может быть осуществлено путем задания зон, расположенных на некотором расстоянии от транспортного средства и зависящих от его скорости и скоростей объектов. Для каждой зоны должны использоваться свои правила формирования величин соответствующих коэффициентов. Можно выделить следующие граничные расстояния: l_{min1} и l_{max1} – граничные значения расстояний максимального и минимального риска столкновений при движении вперед, l_{mini} – граничные значения расстояний риска столкновений в i -ом направлении при $i=2, 3, 4$.

При движении автомобиля вперед время движения пешехода, за которое он преодолеет расстояние равное ширине автомобиля, вычисляется по формуле

$$t_p = \frac{B}{V_p}.$$

Минимальный риск столкновения будет иметь место, если за время t_p автомобиль со скоростью V_{01} проедет расстояние меньше чем l . При этом необходимо учитывать t_r – время реакции, распознавания пешехода. В этом случае

$$l_{max1} = V_{01} \left(t_r + \frac{B}{V_p} \right)$$

и при $l \geq l_{max1}$ нет необходимости менять параметры движения транспортного средства: $K_1=1$, $K_2=1$, $K_3=1$, $K_4=1$.

За время t_p автомобиль в зоне максимального риска проедет расстояние, состоящее из двух составляющих: $V_{01} t_p'$ – расстояние за время t_p' реакции, распознавания пешехода, срабатывания тормозной системы и $V_{01} \frac{B}{V_p} - Kg \frac{B^2}{2V_p^2}$ – тормозной путь. Поэтому граничное значение

$$l_{min1} = V_{01} t_p' + V_{01} \frac{B}{V_p} - Kg \frac{B^2}{2V_p^2}$$

и чтобы избежать столкновения при $l \leq l_{min1}$ необходимо не только осуществить торможение транспортного средства ($K_f=0$), но и изменить вектор его движения: влево или вправо в зависимости от направления движения пешехода ($V_{02} \neq 0$, $K_2 = 2$ или $V_{03} \neq 0$, $K_3 = 2$), $K_4 = 1$. В диапазоне $l_{min1} < l < l_{max1}$ значение K_i можно формировать по формуле

$$K_i = \frac{l - l_{min1}}{l_{max1} - l_{min1}}.$$

При этом следует учесть наличие объектов вокруг автомобиля и их скорости. Если с какой-либо стороны присутствует объект, должна быть определена граница безопасной зоны для этой стороны

$$l_{mini} = t_p' |V_{об} - V_{0i}| \text{ при } i = 2, 3, 4.$$

Если расстояние до объектов $S < l_{mini}$, то возможно столкновение с такими объектами и движение в этом направлении должно быть запрещено установкой соответствующего коэффициента в нулевое значение $K_i=0$.

Имитационное моделирование столкновения автомобиля с пешеходом при использовании контроллера в управлении транспортным средством

Проведем имитационное моделирование столкновения при использовании в управлении автомобилем контроллера, формирующего коэффициенты K_i . Для моделирования может быть использован алгоритм рис. 1 с изменением диапазона генерации датчика случайных чисел ДСЧ5. Значения данного диапазона устанавливаются, исходя из того, что время реакции системы включает распознавание пешехода видеокамерами с частотой кадров 24 кадра/с, обработку информации и формирование коэффициентов контроллером, срабатывание автоматики и тормозов и принимается случайной равномерно распределенной величиной в диапазоне 0,1...0,3 с. В результате моделирования было получено семейство кривых зависимости вероятности столкновений от скорости движения автомобиля при различных скоростях движения пешехода (рис. 4).

Моделирование показало, что при использовании в управлении автомобилем контроллера произошло снижение вероятности столкновения с пешеходом в среднем в 5...10 раз в зависимости от скорости движения автомобиля и пешехода. Таким образом,

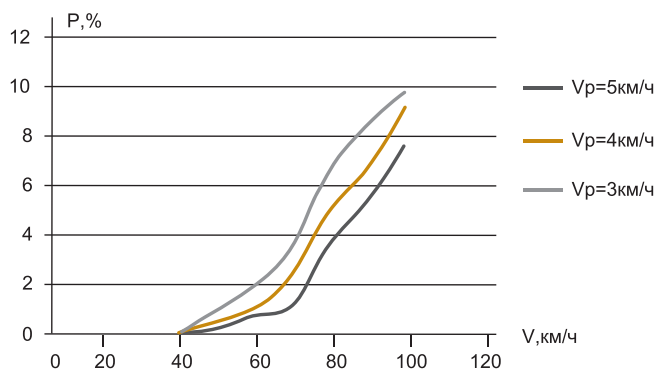


Рис. 4. Вероятность столкновения автомобиля с пешеходом при использовании контроллера в управлении

дальнейшая разработка и использование контроллера для поддержки процесса управления транспортных средств целесообразна и оправдана, поскольку позволит уменьшить риски наезда на пешехода, столкновений с другими транспортными средствами, то есть снизит вероятность возникновения дорожно-транспортных происшествий.

Заключение

В работе рассмотрена задача имитационного моделирования движения автомобиля и выбежавшего перед ним на дорогу пешехода при различных способах управления транспортным средством: традиционном управлении водителем и использовании в управлении контроллера, осуществляющего анализ окружающей обстановки на дороге. На основе алгоритма поведе-

ния автомобиля и пешехода на дороге была разработана имитационная модель в GPSS World, результаты экспериментов с которой показали, что вероятность столкновения автомобиля с пешеходом при традиционном способе управления при скоростях движения пешехода 3...5 км/ч и автомобиля 40...100 км/ч принимает значения 0,002...0,11. Для уменьшения этой вероятности была предложена бортовая система, анализирующая информацию об окружающей обстановке на дороге и формирующая четыре коэффициента изменения параметров движения автомобиля. Имитационное моделирование использования такой системы в управлении автомобилем показало снижение вероятности столкновения автомобиля с пешеходом в среднем в 5...10 раз в зависимости от скорости движения автомобиля и пешехода. В дальнейшем предполагается использовать нейронные сети для анализа окружающей обстановки на дороге и прогноза возможности возникновения аварийных ситуаций и ДТП.

Список литературы

1. Гудков В.А., Комаров Ю.Я., Рябчинский А.И., Федотов В. Н. Безопасность транспортных средств (автомобили). Уч. пособие для вузов. М.: Горячая линия-Телеком. 2010.
2. Томашевский В., Жданова Е. Имитационное моделирование в среде GPSS. М.: Бестселлер. 2003.
3. Варнавский А.Н., Чекан Н.В. Автоматизированная система снижения рисков аварий на транспорте//Материалы всероссийской конференции «Биомедсистемы — 2011». Рязань. 2012.

Варнавский Александр Николаевич — канд. техн. наук, доцент,

Чекан Надежда Васильевна — студент кафедры АИТП Рязанского государственного радиотехнического университета.

Контактный телефон (4912) 46-03-43.

E-mail: varnavsky_alex@rambler.ru

Компанией "Галэкс" реализован электронный читальный зал АлтГУ на базе оборудования Cisco

В Алтайском государственном университете состоялось открытие электронного читального зала с удаленным доступом к ресурсам Президентской библиотеки им. Б. Н. Ельцина. Информационная инфраструктура зала спроектирована и реализована "Научно-техническим центром Галэкс" на базе оборудования компании Cisco.

Для обеспечения работы электронного читального зала специалистами компании "Галэкс" реализованы проводная и беспроводная локальная вычислительная сеть, конгресс-система и система видеоконференцсвязи. Помимо этого, выполнены общестроительные работы, в том числе заменены системы отопления, электроснабжения и освещения, построена система вентиляции.

Развернутая сетевая инфраструктура библиотеки объединила высокопроизводительную локальную и беспроводную сеть, позволяющую посетителям подключать личные устройства. Решение, реализованное на базе коммутаторов Cisco Catalyst и беспроводных точек доступа Cisco Aironet, отличается простотой использования и высокой отказоустойчивостью, обеспечивает высокую степень безопасности подключения пользователей к ло-

кальной сети ВУЗа, ресурсам Президентской библиотеки и сети Internet.

Новый зал позволит студентам и преподавателям проводить видеоконференции, транслировать защиты диссертаций в Интернет и организовывать видеомосты, благодаря установленной системе видеоконференцсвязи на базе оборудования Cisco Telepresence C20. Помимо обеспечения высокой четкости изображения (HD) решение Cisco отличается богатым функционалом, простотой внедрения, управления и эксплуатации.

Кроме того, компанией "Галэкс" разработаны решения по дальнейшему развитию библиотеки, что позволит создать полнотекстовый электронный библиотечный фонд, обеспечить доступ к нему через информационный портал, реализовать возможность оперативного тиражирования изданий университета.

Проект воплощен в жизнь в сжатые сроки: менее чем за 2 мес. были выполнены все работы в соответствии с международными стандартами и высокими требованиями, предъявляемыми Президентской библиотекой к организации залов и обслуживанию пользователей.

[Http://www.galex.ru](http://www.galex.ru)