

где g – стандартное отклонение искомой величины, c ; m – среднее значение искомой величины, c ; r – некоторая случайная величина, подчиняющаяся линейному закону распределения.

Если пользователь выбрал закон гамма-распределения, то искомый интервал t_{Π} будет вычисляться по формуле

$$t_{\Pi} = \frac{-\ln(r) \left(1 + \sqrt{\cos(6,283\alpha)}\right)}{\lambda}, \quad (4)$$

где r – некоторая случайная величина, подчиняющаяся линейному закону распределения; α – параметр формы, c ; λ – параметр масштаба, c .

Исходная величина времен стоянок подвижных единиц на остановках t_C также может быть описана одним из двух вероятностных законов распределения:

- логнормальным законом;
- законом распределения Вейбулла-Гнеденко.

В случае задания времени стоянки пользователю предоставляется возможность детерминированного определения величины t_C .

Распределение случайной величины для логнормального закона вычисляется по формуле (1). Закон распределения Вейбулла-Гнеденко имеет следующий вид:

$$t_C = e^{\frac{\ln\left(\frac{-\ln(r)}{\lambda}\right)}{\alpha}}, \quad (5)$$

где r – некоторая случайная величина, подчиняющаяся линейному закону распределения; α – параметр формы, c ; λ – параметр масштаба, c .

Использование данного математического аппарата позволяет существенно сократить затраты на натурные обследования транспортных сетей, непосредственно имитируя пассажиропотоки города. В дальнейшем, при накоплении дополнительных статистических данных, а также более глубоком их анализе, в имитационную модель будут введены новые законы распределения случайных величин.

УДК 621.311.4.001.57

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА С УЧЕТОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ СЛУЧАЙНЫХ ПОМЕХ ДВИЖЕНИЮ

Н. А. ОЛЕШКЕВИЧ, И. И. ХОМЕНКОВ

Белорусский государственный университет транспорта

Современный городской электрический транспорт (ГЭТ) работает совместно с другими видами подвижного состава (ПС). Также в условиях города нередки случайные помехи на проезжей части в виде пешеходов, животных, дорожных выбоин. Все вышеперечисленные факторы с точки зрения процесса движения ПС являются случайными. Регулируемые и нерегулируемые перекрестки, несмотря на кажущуюся предсказуемость светофорного регулирования, также являются случайной помехой. Несмотря на сложность поставленной задачи учета всех таких случайностей, имитация непредсказуемых элементов является ключевой в повышении точности и адекватности моделирования движения ГЭТ.

В данной статье предлагается имитационная модель работы ГЭТ с возможностью учета такого случайного фактора, как светофорное регулирование. Начальный выбор исследователями светофорного регулирования объясняется тем, что для имитации такого элемента не требуется использование каких-либо законов распределения и масштабных натуральных исследований. Чтобы математически описать такой объект, нужно знать только расстояние, на котором он расположен от условного начала профиля, и цикл работы сигналов светофора во времени. Однако при попытке программно описать данный элемент авторы столкнулись с некоторыми сложностями моделирования. Одна

из таких проблем заключается в возможности проезда подвижной единицей (ПЕ) на запрещающий сигнал светофора, если подряд идут несколько регулируемых перекрестков с недопустимо близким друг к другу взаимным расположением. Такая особенность имитации названа **светофорной ошибкой**.

Перед описанием алгоритма работы части программы нужно договориться о некоторых терминах и названиях, использованных авторами при пояснении. Тяговой кривой, шаг построения которой совпадает с направлением движения ПЕ (прямое построение), присвоено название **прямой тяги (ПТ)**, а кривой, шаг построения которой противоположен движению ПЕ (построение от обратного), – **обратного торможения (ОТ)**. Если кривая ОТ после некоторой заданной скорости начала торможения v_t переходит на режим выбега, то она называется кривой **мягкого обратного торможения (МОТ)**, а если в кривой ОТ присутствует только режим торможения, то такая кривая называется **жестким обратным торможением (ЖОТ)**. Все кривые представляют собой зависимости $v = f(S)$.

При достижении ПЕ очередного перекрестка со светофорным регулированием выясняется возможность проезда ПЕ в этом месте. Если проезд разрешен, то расчет продолжается далее до очередной остановки, перекрестка или конца профиля. Если проезд ПЕ запрещен на данном светофоре, то программой запоминается текущее модельное время t_{X1} и строится кривая МОТ из точки расположения перекрестка. Теперь в результате наличия торможения в тяговой кривой ПЕ подъезжает к прежнему перекрестку с другим модельным временем t_{X2} . Соответствующий модуль опять опрашивается на возможность проезда ПЕ теперь уже с новым модельным временем t_{X2} . Если проезд по прежнему запрещен и при этом за время торможения ПЕ не загорался разрешающий сигнал светофора (t_{X1} и t_{X2} находятся в одном временном сегменте), то программой утверждается полный останов ПС, вычисляется последующее время стоянки на заданном перекрестке и алгоритм переходит к следующему участку профиля. Если проезд запрещен, но за время торможения ПЕ появилась и исчезла возможность проезда, то строится кривая ЖОТ. Кривая ЖОТ строится и в случае возможности проезда ПЕ при модельном времени t_{X2} . Из-за отсутствия участка выбега в кривой ЖОТ ПЕ прибывает на тот же перекресток опять с другим модельным временем t_{X3} . Затем очередной раз задается вопрос соответствующему модулю о возможности проезда ПЕ текущего перекрестка с новым модельным временем t_{X3} . Ответы полностью идентичны предыдущим. В случае, если проезд невозможен и при этом за время торможения ПЕ не загорался разрешающий сигнал светофора, то программа принимает полный останов ПЕ с участием ЖОТ и переходит на следующий участок профиля. В случае же возможности проезда в любой форме модель запускает алгоритм подбора такой кривой ПТ, при которой ПЕ проезжает заданный светофор без полного останова. Данный прием весьма ресурсоемок и требует значительных вычислительных затрат.

Светофорная ошибка возникает в случае, если точка пересечения кривой ПТ с кривой МОТ (очень редко с ЖОТ) лежит перед (левее) точки перекрестка по пути (S). Получается, что опрос о возможности проезда ПЕ перекрестка проводился при одной скорости v_1 , а, согласно результирующей кривой, ПЕ пересекает светофор при скорости v_2 , на v_1 км/ч меньшей, изменяя тем самым модельное время t . Это происходит из-за того, что модуль, строящий кривые ОТ, не может знать общее модельное время, вплоть до пересечения кривой ПТ. В силу этого для данного построения не существует светофоров, и кривые ОТ строятся вплоть до ближайшей остановки или начала профиля. Поэтому модуль построения тяговых расчетов пытается сначала «превратить» перекресток со светофорным регулированием в обычную остановку при помощи ЖОТ, тем самым снижая вероятность возникновения светофорных ошибок и снижая реальное время, затрачиваемое на процесс моделирования. В случае обнаружения такой ошибки программа пытается исправить ее путем принудительного построения кривой ЖОТ вместо МОТ, тем самым пытаясь перенести точку пересечения кривых за (правее) перекресток. Однако такой прием невозможно использовать, если причиной останова (точки по S , откуда строится кривая ОТ) явился регулируемый перекресток. В этом случае попытка исправить светофорную ошибку на одном перекрестке влечет за собой отмену полного останова ПЕ на другом.

В силу сказанного можно заключить, что *светофорная ошибка* – это наличие в результирующей кривой тяги несанкционированного проезда перекрестка на запрещающий сигнал светофора.

Моделирование с различными параметрами подвижного состава и профиля показало, что критическим расстоянием для возникновения неисправимых светофорных ошибок является 60 м, т.е. расположение перекрестков со светофорным регулированием менее 60 м при использовании данной программы не рекомендуется.

Основываясь на сказанном выше, можно перечислить достоинства и недостатки использования жесткого обратного торможения как составной части алгоритма движения:

достоинства:

- скорость вычислений;
- снижение вероятности возникновения неразрешимых светофорных ошибок;
- возможность моделирования других сложных дорожных ситуаций;

недостатки:

- снижение комфорта пассажиров;
- повышенный расход энергии.

Модель, предлагаемая авторами статьи, отличается от представленных ранее, возможностью имитировать светофорное регулирование в условиях городского электрического транспорта. В дальнейшем планируется учесть и другие случайные факторы, непосредственно влияющие на движение электрического подвижного состава городов.

УДК 656.2:002.6

УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

В. И. ПАВЛОВ, А. С. НЕВЕРОВ

Белорусский государственный университет транспорта

Учитывая значимость и актуальность вопросов экологической безопасности окружающей среды, в настоящее время большое значение приобретает такой аспект этой проблемы, как сбор и переработка техногенных соединений тяжелых металлов: никеля, хрома, цинка, кадмия, свинца, меди и других, очень широко применяемых в гальванопроизводстве.

Существует несколько источников образования и накопления соединений тяжелых металлов:

- 1 Накопление шлама, т.е. продуктов осаждения ионов тяжелых металлов в промывных щелочных растворах.
- 2 Накопление определенного количества высококонцентрированных электролитов и ванн, более не подлежащих коррекции.

Эти места образования и хранения соединений тяжелых металлов представляют собой потенциальную опасность отравления окружающей среды катионами никеля, хрома, цинка, меди, свинца и др. Это отравление может происходить в результате изменения значения рН сточных вод и, как следствие, растворения определенной массы гидроксидов тяжелых металлов с попаданием последних в коллекторы хозяйственной канализации, а также в результате умышленных сливов концентрированных электролитов.

Предложены электрохимические способы обработки как сточных вод гальванопроизводства, так и электролитов некорректируемых ванн, простые и экономные, с применением которых в качестве очистных факторов вода, подлежащая сливу, будет отвечать требованиям промышленной санитарии относительно содержания в воде катионов тяжелых металлов.

Электрохимическая обработка промывных вод (ванн улавливания) гальванопроизводства основана на абсорбирующей способности геля гидроксида алюминия в отношении катионов тяжелых металлов.

Лабораторная установка для реализации этого способа представляет собой стеклянную емкость — электролизер вместимостью 250 см³, по обеим сторонам которой диаметрально укреплены два алюминиевых электрода, достающие до дна электролизера. Они соединены с источником постоянного тока напряжением 15 В.

На этой установке была проведена электрохимическая обработка содержимого ванн улавливания гальванопроизводства ВРЗ. Данные анализа ВРЗ:

$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — 13,3 г/л (Ni^{+2} — 2,75 г/л),

ZnO — 4,9 г/л (Zn^{+2} — 3,93 г/л),

$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ — 3,7 г/л (Cu^{+2} — 0,95 г/л).