

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Подвижной состав</i>	5
Взаимодействие материалов пары ось–колесо в зоне сопряжения при запрессовке <i>В.Г.Кондратенко</i>	5
Динамика остывания парафинов в железнодорожных цистернах с тепловыми аккумуляторами <i>В.И. Моисеев, Т.А. Комарова</i>	9
Метод расчета устойчивости тележек трамвайных вагонов к всползанию их на рельс <i>И.Н. Никерова</i>	16
<i>Регулирование движения поездов и связь</i>	22
Основы теории расчета времени истечения сыпучих грузов из бункерных устройств <i>В.М. Попков</i>	22
Автономные источники тока для датчиков системы обеспечения безопасности перевозок <i>В.Ю. Флоринский, Л.Е. Морозова, Н.А. Феоктистов</i>	26
<i>Реконструкция тяговых средств</i>	30
Моделирование светосбора в сцинтилляционных детекторах <i>Я.А. Бердников, В.И. Никитченко, А.М. Петухов</i>	30
Метод расчета параметров индуктора для нагрева деталей при ремонте подвижного состава <i>Ю.С. Боголюбов, С.А. Тюленев, К.А. Архипов</i>	41
Оценка качества охладителей типа ДТС электровозных полупроводниковых преобразователей <i>А.Б. Буянов, И.В. Митрофанова</i>	46
Контроль температуры электротехнических, электромеханических и механических элементов и узлов методами инфракрасной пирометрии <i>Е.К. Галанов, А.В. Корнух</i>	50
О движении материальной точки по шероховатой поверхности <i>В.С. Доев, Ф.А. Доронин</i>	54
<i>Путевые работы</i>	60
Обоснование причин и разработка способа ранней диагностики возможного излома рельса в зоне алюмотермитных стыков <i>Л.С. Блажко, Е.В. Ермолаев</i>	60
Кластерный анализ состояний системы мониторинга путевых и строительных машин <i>Я.С. Ватулин</i>	64

Расчет уплотняющего эффекта при комбинированном силовом воздействии на подшпальное балластное основание комплексом путевых машин <i>М.В. Попович, Б.Г. Волковойнов, А.В. Атаманюк</i>	70
<i>Искусственные сооружения</i>	74
Ионообменные свойства запесоченных глин <i>Абу-Хасан Махмуд</i>	74
Разделение сейсмического воздействия на бегущую волну и случайный некоррелированный процесс в задачах расчета многоопорных конструкций <i>Л.Н. Гиман</i>	79
Расчёт гидроимпульсного устья <i>А.Б. Пономарёв</i>	85
<i>Экология</i>	91
Повышение эффективности обучения работников железнодорожного транспорта вопросам безопасности труда путем использования мультимедийных технологий <i>Г.К. Зальцман, О.И. Тихомиров, С.А. Лебедев</i>	91
Использование программного комплекса «Шум» для исследования шумового воздействия на окружающую среду предприятий железнодорожного транспорта <i>А.В. Панин, А.М. Тинус, О.В. Григорьева</i>	95
Методика комплексной оценки экологичности и качества природозащитных технологий. Индекс IEQ <i>Т.С. Титова</i>	98
<i>Экономика и социальное управление</i>	106
О необходимости создания системы комплексных исследований на транспорте <i>В.В. Ильин, Н.М. Сидоров</i>	106
Минимизация транзакционных издержек как фактор создания вертикально интегрированных объединений в российской промышленности <i>А.Н. Спасскова</i>	109
Основы теории аксонометрии в рукописном наследии профессора Д.И. Каргина <i>Н.А. Елисеев</i>	114
<i>Авторы статей</i>	119
<i>Авторский указатель</i>	123

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Подвижной состав</i>	5
Взаимодействие материалов пары ось–колесо в зоне сопряжения при запрессовке <i>В.Г. Кондратенко</i>	5
Динамика остывания парафинов в железнодорожных цистернах с тепловыми <i>Известия Петербургского университета путей сообщения</i>	9
	2005/2

аккумуляторами

В.И. Моисеев, Т.А. Комарова

Метод расчета устойчивости тележек трамвайных вагонов к всползанию их на рельс

И.Н. Никерова 16

Регулирование движения поездов и связь 22

Основы теории расчета времени истечения сыпучих грузов из бункерных устройств

В.М. Попков 22

Автономные источники тока для датчиков системы обеспечения безопасности перевозок

В.Ю. Флоринский, Л.Е. Морозова, Н.А. Феоктистов 26

Реконструкция тяговых средств 30

Моделирование светосбора в сцинтилляционных детекторах

Я.А. Бердников, В.И. Никитченко, А.М. Петухов 30

Метод расчета параметров индуктора для нагрева деталей при ремонте подвижного состава

Ю.С. Боголюбов, С.А. Тюленев, К.А. Архипов 41

Оценка качества охладителей типа ДТС электровозных полупроводниковых преобразователей

А.Б. Буянов, И.В. Митрофанова 46

Контроль температуры электротехнических, электромеханических и механических элементов и узлов методами инфракрасной пирометрии

Е.К. Галанов, А.В. Корнух 50

О движении материальной точки по шероховатой поверхности

В.С. Доев, Ф.А. Доронин 54

Путевые работы 60

Обоснование причин и разработка способа ранней диагностики возможного излома рельса в зоне алюмотермитных стыков

Л.С. Блажко, Е.В. Ермолаев 60

Кластерный анализ состояний системы мониторинга путевых и строительных машин

Я.С. Ватулин 64

Обоснование ремонтных сроков выполнения путевых работ на стрелочных переводах

В.И. Неснов, Д.А. Басовский, В.И. Шулындин, В.А. Писарев 70

Искусственные сооружения 74

Ионообменные свойства запесоченных глин

Абу-Хасан Махмуд 74

Разделение сейсмического воздействия на бегущую волну и случайный 79

некоррелированный процесс в задачах расчета многоопорных конструкций <i>Л.Н. Гиман</i>	
Расчёт гидроимпульсного устья <i>А.Б. Пономарёв</i>	85
Экология	91
Повышение эффективности обучения работников железнодорожного транспорта вопросам безопасности труда путем использования мультимедийных технологий <i>Г.К. Зальцман, О.И. Тихомиров, С.А. Лебедев</i>	91
Использование программного комплекса «Шум» для исследования шумового воздействия на окружающую среду предприятий железнодорожного транспорта <i>А.В. Панин, А.М. Тинус, О.В. Григорьева</i>	95
Методика комплексной оценки экологичности и качества природозащитных технологий. Индекс IEQ <i>Т.С. Титова</i>	98
Экономика и социальное управление	106
О необходимости создания системы комплексных исследований на транспорте <i>В.В. Ильин, Н.М. Сидоров</i>	106
Минимизация транзакционных издержек как фактор создания вертикально интегрированных объединений в российской промышленности <i>А.Н. Спасскова</i>	109
Основы теории аксонометрии в рукописном наследии профессора Д.И. Каргина <i>Н.А. Елисеев</i>	114
<i>Авторы статей</i>	119
<i>Авторский указатель</i>	123

Подвижной состав

УДК 629.4.027.44

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МАТЕРИАЛОВ ПАРЫ ОСЬ–КОЛЕСО В ЗОНЕ СОПРЯЖЕНИЯ ПРИ ЗАПРЕССОВКЕ

В.Г. Кондратенко

Аннотация

Рассмотрены взаимодействие материалов колеса и оси в зоне сопряжения с позиции молекулярно-механической теории трения, зависимость величины коэффициента трения между ступицей колеса и осью от характера деформации их

материала в зоне контакта. Оценена средняя величина коэффициента трения в паре ось–колесо при запрессовке.

Ключевые слова: ось, колесо, запрессовка, коэффициент трения, молекулярно-механическая теория.

Введение

Прочность прессового соединения колеса с осью определяется конечным усилием запрессовки $P_{зк}$, величина которого зависит от ряда факторов: диаметра подступичной части оси, длины сопряжения, среднего значения коэффициента трения в зоне сопряжения колеса с осью, среднего значения контактных давлений на посадочных поверхностях (величина которых оценивается в пределах 50...100 МН/м²). Для оценки прочности прессового соединения представляет интерес средняя величина коэффициента трения в зоне сопряжения пары ось–колесо.

1 Основные положения молекулярно-механической теории трения применительно к паре ось–колесо

В последнее время наибольшее распространение для объяснения силового взаимодействия твердых тел при внешнем трении получила молекулярно-механическая теория трения, впервые предложенная в 1939 г. русским ученым И.В. Крагельским [1], предполагавшая следующее.

1. Внедрение более жестких микронеровностей в поверхность менее жесткого контртела в зонах фактического контакта связано с различием в механических свойствах тел и их неоднородностью на отдельных участках и с различием в геометрических очертаниях контактирующих участков. Поэтому при скольжении колеса относительно оси будет происходить деформирование внедренными поверхностями более жесткого тела менее жесткого поверхностного слоя.

Сопrotивление деформированию поверхностных слоев называют деформационной составляющей силы трения (T_d). Ее можно вычислить, зная механические характеристики поверхностных слоев (модуль нормальной упругости и твердость), геометрические очертания микронеровностей, напряженное состояние в зоне контакта и используя основные положения механики сплошных сред.

2. На участках, находящихся на достаточно близком расстоянии друг от друга (порядка 10^{-9} м), отмечаются заметные межмолекулярные взаимодействия. В результате этих взаимодействий возникает сопротивление относительному скольжению – молекулярная составляющая силы трения (T_m).

Общая сила внешнего трения T составит:

$$T = T_m + T_d. \quad (1)$$

Теоретически вычислить молекулярную составляющую силы трения не представляется возможным из-за наличия на поверхностях твердых тел пленок, толщина и структура которых зависят от окружающей среды. Величину T_m определяют экспериментально.

Наибольшее распространение при расчетах взаимодействия твердых тел при трении получила сферическая модель шероховатой поверхности. Шероховатость моделируется набором шаровых сегментов одинакового радиуса, расположенных по высоте таким образом, что распределение в слое модели и реальной поверхности описывается одинаковой опорной кривой. Применение этой модели дает погрешность при вычислении силы трения до 7% [1].

Учитывая, что при контактировании оси и колеса происходит внедрение более жестких участков в менее жесткие и при этом деформация более жестких участков незначительна, можно при рассмотрении взаимодействия тел одно из них (ось) считать абсолютно жестким. Контакт шероховатой поверхности с полупространством будет дискретным.

2 Характер взаимодействия материалов колеса и оси в зоне контакта

Силовое взаимодействие колеса и оси при внешнем трении будет зависеть от вида деформации в зонах контакта и от степени насыщенности контакта.

В зонах фактического контакта оси и колеса могут иметь место упругие, упругопластические и пластические деформации. Наиболее широко распространены упругопластические деформации. Взаимодействие пары ось–колесо при упругопластических деформациях изучено мало. В ряде случаев при расчетах можно полагать, что в зонах касания происходят только упругие деформации (контурные давления $p_c \leq 9,81 \cdot 10^6$ Н/м² для поверхностей, обработанных с Ra от 0,160 до 0,080 мкм и выше) или пластические деформации ($p_c > 9,81 \cdot 10^6$ Н/м² для поверхностей, обработанных с Ra от 0,63 до 0,32 мкм) [1].

При взаимодействии выступов контактирующих поверхностей ступицы колеса и оси по мере увеличения нагрузки в контакт будут вступать все новые пары противостоящих выступов, обладающие все меньшей суммой высот. Вступившие в контакт выступы деформируются вначале упруго, а затем, когда нагрузка превысит некоторую критическую величину, – пластически, точнее – упругопластически, поскольку основа материала, на которой расположен пластически деформируемый выступ, будет упруго проседать.

С возрастанием нагрузки на сопрягаемых поверхностях колеса и оси происходит упругая деформация волн, на которых расположены микронеровности. Если контактируют поверхности тел с разной твердостью, то выступы более твердой поверхности внедряются в выступы сопряженной поверхности. Выступы более мягкой поверхности при этом

расплющиваются и изменяют свою форму. В этом случае на свойства контакта будут влиять микрогеометрия поверхности твердого тела и механические свойства более мягкого (колеса).

2.1 Условия упругого контакта материала ось–колесо

При запрессовке колеса на ось имеет место упругопластический контакт.

Коэффициент внешнего трения покоя f , равный отношению силы трения T к нормальной нагрузке, в общем виде определяется по формуле [3]:

$$f = f_m + f_d, \quad (2)$$

где f_m и f_d – соответственно молекулярная и деформационная составляющие коэффициента трения.

Упругий контакт имеет место, когда максимальные напряжения на наиболее внедренной неровности меньше НВ менее жесткого элемента пары трения. Коэффициент трения при упругом контакте для наиболее распространенных видов обработки поверхностей ($\gamma = 2$, $b = 2$ – параметры опорной кривой) рассчитывается по формуле:

$$f = \frac{3\tau_0(1-\mu^2)r^{1/2}}{Eh^{1/2}} + \beta + 0,17\alpha_{\text{эф}} \left(\frac{h}{r}\right)^{1/2}, \quad (3)$$

где $\alpha_{\text{эф}}$ – эффективный коэффициент гистерезисных потерь при сложном напряженном состоянии, $\alpha_{\text{эф}} = 2,5\alpha_T$;

α_T – коэффициент гистерезисных потерь при простом растяжении–сжатии;

τ_0 – фрикционная константа;

β – константа при постоянной температуре;

E – модуль нормальной упругости менее жесткого материала;

h – величина сближения материалов;

μ – коэффициент Пуассона;

r – средний радиус вершины микронеровности.

Для металла оси и колеса деформационной составляющей коэффициента трения f_d при упругих деформациях можно пренебречь. По мере сближения материалов и увеличения контурного давления p_c величина коэффициента трения f при упругом контакте уменьшается.

2.2 Условия пластического контакта в зоне сопряжения ось–колесо

Пластический контакт имеет место, когда средние нормальные напряжения в зонах касания неровностей достигают значений твердости по Бринеллю деформируемого материала [3].

Контурное давление p_c , приводящее к пластическому контакту, для наиболее распространенных шероховатостей, используемых в машиностроении, составляет:

$$p_c = 14,5 \left(\frac{1}{\Delta^2} \right) \frac{HB^5 (1 - \mu^2)^4}{E^4}, \quad (4)$$

где Δ – комплексная характеристика шероховатости поверхности, учитывающая остроту выступов и их распределение по высоте.

При пластических деформациях в зонах касания колеса и оси могут иметь место ненасыщенный и насыщенный пластические контакты.

Коэффициент внешнего трения покоя при пластических деформациях в зонах контакта:

$$f = \frac{\tau_0}{HB} + \beta + 0,55\gamma(\gamma - 1)k_1 \left(\frac{h}{r} \right)^{1/2}. \quad (5)$$

При пластических деформациях в зонах контакта молекулярная составляющая коэффициента внешнего трения не зависит от сближения между поверхностями колеса и оси. Деформационная составляющая коэффициента трения с увеличением внедрения возрастает. Поэтому общий коэффициент внешнего трения покоя с увеличением внедрения при пластических деформациях в зонах контакта увеличивается [2].

Идеального пластического контакта при контактировании материалов колеса и оси не наблюдается. Пластический контакт может иметь место при сравнительно небольших величинах контурного давления p_c для поверхностей, обработанных с параметрами шероховатости Ra от 0,63 до 0,32 мкм.

В зоне насыщенного пластического контакта коэффициент внешнего трения покоя определяется по формуле:

$$f = \frac{\tau_0}{HB} + \beta + \frac{0,54}{\gamma^{1/2}} \left(\frac{h}{r} \right)^{1/2} \left[\gamma - \gamma - 1 \frac{h_H}{h} \right]^{1/2}, \quad (6)$$

где h_H – сближение, соответствующее переходу от ненасыщенного к насыщенному контакту.

3 Заключение

На основании рассмотренной методики была произведена теоретическая оценка среднего значения коэффициента трения при

запрессовке колеса на ось, величина которого составила 0,08. Для конкретных условий был выполнен расчет конечных усилий запрессовки $P_{зк}$ с применением найденного коэффициента трения и осуществлено сравнение с экспериментальными данными этих же запрессовок. Расхождение между теоретическими и экспериментальными значениями не превысило 10%.

Библиографический список

1. **Крагельский И.В.** Трение, изнашивание и смазка: Справочник в 2-х томах.– М.: Машиностроение, 1978.
2. **Кондратенко В.Г.** Совершенствование технологии запрессовки цельнокатаных колес на оси // Исследования и разработки ресурсосберегающих технологий на железнодорожном транспорте: Межвуз. сб. науч. трудов. Вып. 21. – Самара: СамИИТ, 2001. – С. 53–55.
3. **Алисин В.В., Михин Н.М.** Исследование зависимости коэффициента трения покоя от нагрузки // Известия высших учебных заведений: Машиностроение. – 1974. – № 2. – С. 65–69.

УДК 629.02.024

ДИНАМИКА ОСТЫВАНИЯ ПАРАФИНОВ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЦИСТЕРНАХ С ТЕПЛОВЫМИ АККУМУЛЯТОРАМИ

В.И. Моисеев, Т.А. Комарова

Аннотация

Рассматривается динамика охлаждения теплоаккумулирующего материала (парафина) в цилиндрическом сосуде (тепловом аккумуляторе), установленном в железнодорожной цистерне для перевозки вязких нефтепродуктов с целью снижения скорости их остывания при транспортировании.

Ключевые слова: цистерна, вязкий нефтепродукт, мазут, парафин, тепловой аккумулятор, температурное поле, энтальпия, затвердевание.

Введение

Отличительной особенностью горячих вязких нефтепродуктов (мазатов, масел) является большое значение коэффициента объемного теплового расширения ($\gamma = 1 \cdot 10^{-3} 1/^\circ\text{C}$) и низкая молекулярная теплопроводность ($\lambda = 0,12 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$). В цистерне, заполненной горячим продуктом, возникает естественная конвекция жидкости, в огромной степени способствующая быстрому ее остыванию. Подавление конвекции осуществляется установкой у внутренней стенки цистерны тепловых аккумуляторов (ТА) – цилиндрических сосудов, заполненных теплоаккумулирующим материалом (ТМ) – веществом с большой эффективной теплоемкостью, обеспечиваемой фазовыми переходами (плавлением и затвердеванием). В качестве ТМ рассматривался парафин, у которого плотности твердой и жидкой фракций практически одинаковы ($\rho_{\text{ТВ}} = \rho_{\text{Ж}} = 790 \text{ кг/м}^3$), а удельная теплота плавления велика ($\zeta = 225 \text{ кДж/кг}$).

В статье исследуется скорость охлаждения ТМ и изменение теплового потока от стенки ТА к охлаждаемому нефтепродукту.

1 Математическая постановка задачи

Исходным уравнением является известное термодинамическое соотношение¹, связывающее удельные внутреннюю энергию среды u , Дж/кг, энтальпию i , Дж/м³, и давление p , Па:

$$\rho u = \rho i - p, \quad (1)$$

где ρ – плотность среды, кг/м³.

В равновесном состоянии скорость изменения внутренней энергии ТМ в объеме V теплового аккумулятора равна потоку тепла в этот объем за счет теплопроводности через его поверхность S :

$$\frac{d}{d\tau} \int_V \rho u dV = \int_S \lambda \cdot \text{grad} T ds. \quad (2)$$

Условием постоянства давления является:

$$\frac{d}{d\tau} \int_V p dV = 0. \quad (3)$$

¹ Пехович А.И., Жидких В.М. Расчеты теплового режима твердых тел. – Л.: Энергия, 1976.

Из (1), (2) и (3) следует уравнение сохранения энергии, которое называется *уравнением энтальпии*:

$$\frac{d}{d\tau} \int_V \rho i dV = \int_S \lambda \cdot \text{grad} T \cdot \hat{n} ds. \quad (4)$$

Для веществ с фазовым переходом оно используется в сочетании с зависимостью i от T .

При получении конечно-разностного представления уравнения (4) в полярных координатах исследуемая область разбивалась на малые плоские элементы с площадью $d\delta = r dr d\beta$, чтобы каждый вырезанный слой имел одинаковое теплосодержание.

Описание конечно-разностной схемы производилось для цилиндрического ТА радиусом R , содержащего ТМ (парафин), первоначально находящийся в жидком состоянии при температуре плавления $T_{\text{пл}}$. При $\tau > 0$ возникает охлаждение поверхности ТА за счет конвективной теплоотдачи к жидкому нефтепродукту с температурой $T_{\text{ж}}$ ниже температуры плавления ТМ ($T_{\text{ж}} < T_{\text{пл}}$). Интенсивность процесса характеризуется коэффициентом теплоотдачи $\alpha_{\text{ТА}}$.

При решении задачи рассчитывался тепловой процесс вплоть до затвердевания всей массы ТМ, у которого все свойства, за исключением энтальпии, считались не зависящими от температуры. Симметрия позволяла провести расчеты только для одного сектора ТА, показанного на рисунке 1 с обозначениями, используемыми в конечно-разностной схеме.

Линии симметрии соответствуют адиабатным поверхностям и характеризуются граничным условием равенства нулю плотности теплового потока ($q = 0$). Внешняя граница подвергается конвективному охлаждению с плотностью теплового потока

$$q = \alpha_{\text{ТА}} (T_{\text{ст}} - T_{\text{ж}}),$$

где $T_{\text{ст}}$ – температура стенки ТА, является искомой функцией времени.

Для применения конечно-разностного метода уравнение (4) приводилось к безразмерному виду. В качестве безразмерных координат пространства и времени выбраны соответственно r/R , число Фурье (Fo), параметрами задачи были критерии Био (Bi) и Стефана (Ste):

$$\text{Fo} = a\tau/R^2; \quad (5)$$

$$\text{Bi} = \alpha R/\lambda; \quad (6)$$

$$\text{Ste} = \frac{C T_{\text{пл}} - T_{\text{ж}}}{\zeta}, \quad (7)$$

где a – температуропроводность ТМ, $\text{м}^2/\text{с}$; C – теплоемкость затвердевшего ТМ, $\text{Дж}/(\text{кг}^\circ\text{С})$.

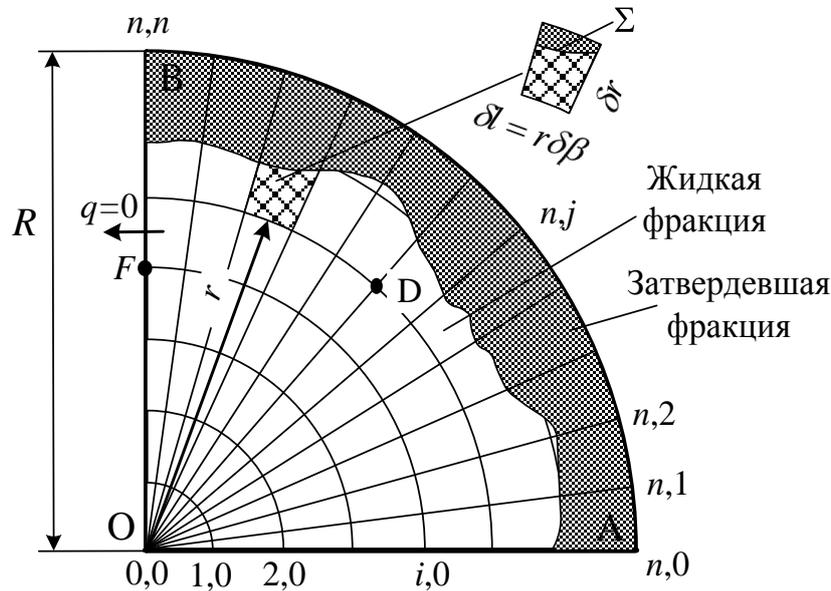


Рис. 1 Часть поперечного сечения теплового аккумулятора и обозначения, используемые в методе конечных разностей

В рассматриваемой задаче вводились две переменные – безразмерная энтальпия \hat{I} и безразмерная температура θ , определяемые выражениями:

$$\hat{I} = \frac{1}{\rho S} \int \frac{i - i^*}{\zeta} ds; \quad (8)$$

$$\theta = \frac{C}{\zeta} \frac{T - T_{\text{пл}}}{\zeta}. \quad (9)$$

В твердой фазе переменные $\hat{I} < 0$ и $\theta < 0$, в жидкой фазе $\hat{I} = 1$ (так как жидкость имеет температуру $T_{\text{пл}}$ и энтальпию i), а $\theta = 0$. Таким образом,

$$\theta = 0 \text{ при } \hat{I} < 0 \text{ и } \theta > 0 \text{ при } 0 \leq \hat{I} \leq 1.$$

С использованием новых переменных уравнение энтальпии (4) принимает вид:

$$\frac{a}{R^2} \frac{\partial \hat{I}}{\partial \text{Fo}} = \int_P \text{grad} \theta \cdot \hat{n} dl, \quad (10)$$

где P – периметр рассматриваемого элемента в конечно-разностной схеме. Считая, что в первоначальный момент ТМ находится в жидком состоянии при температуре затвердевания, имеем граничное условие:

$$\hat{I} = 1 \quad \text{при } Fo = 0. \quad (11)$$

Если грани расчетного элемента лежат на границе сосуда или на линии симметрии, то уравнение (10) принимает вид:

$$\frac{a}{R^2} \frac{\partial \hat{I}}{\partial Fo} = \int_{P_i} \text{grad} \theta \cdot \hat{n} dl - \text{Ste} \cdot \text{Bi} \int_{P_0} \hat{q} dl, \quad (12)$$

где \hat{q} – безразмерная плотность теплового потока,

$$\hat{q} = \frac{q}{\lambda T_{\text{пл}} - T_{\text{ж}}}; \quad (13)$$

P_i – часть периметра P , находящаяся внутри исследуемого вещества; P_0 – часть P , совпадающая с границей сосуда или линией симметрии. На линиях симметрии OA и OB (см. рис. 1) выполняется условие $\hat{q} = 0$.

2 Конечно-разностный вид уравнения энтальпии

Уравнения (10)–(12) заменяются соответствующими конечно-разностными соотношениями. Для этого каждая из сторон OA и AB разбивается на n частей, по которым строится сетка, показанная на рисунке 1. Узлы решетки, являющиеся пересечениями линий этой сетки, обозначены парами индексов, изменяющих свои значения от $(0, 0)$ до (n, n) от начала координат (см. рис. 1). Обозначая нижними индексами пространственные координаты, а верхними – шаг по времени, можно записать следующее конечно-разностное соотношение для такого внутреннего узла, как D на рисунке 1:

$$\frac{\hat{I}_{i,j}^m - \hat{I}_{i,j}^{m-1}}{\Delta Fo} = \frac{\theta_{i+1,j}^m + \theta_{i-1,j}^m + \theta_{i,j+1}^m + \theta_{i,j-1}^m - 4\theta_{i,j}^m}{\delta \hat{r} \cdot \delta \hat{l}}, \quad (14)$$

где ΔFo – безразмерный шаг по времени; $\delta \hat{r} = \delta r / R$, $\delta \hat{l} = rd\beta / R$ – безразмерные шаги по пространственным координатам, направленным по радиусу и по дуге j -й окружности соответственно.

В точке, лежащей на наружной границе OB , разностное уравнение имеет вид:

$$\frac{\Phi_{i,0}^m - \Phi_{i,0}^{m-1}}{\Delta Fo} = \frac{\theta_{i+1,0}^m + \theta_{i-1,0}^m + 2\theta_{i,1}^m - 4\theta_{i,0}^m}{\delta \hat{r} \cdot \delta \hat{l}} - \frac{2Bi \theta_{i,0}^m + Ste}{\delta \hat{r}}. \quad (15)$$

Для точки F , лежащей на адиабатической границе OB , разностное уравнение аналогично выражению (15), но в нем отсутствует последнее слагаемое с числом Bi .

Совместно с граничным условием $\hat{I}_{i,j}^0 = 1$ (при любых i и j) и соотношением (9) представленные разностные уравнения образуют замкнутую систему нелинейных совместных алгебраических уравнений для неизвестных значений температуры и энтальпии в момент m -го шага по времени. В качестве исходной информации эти уравнения содержат известные значения энтальпии на шаге по времени $m - 1$.

При решении уравнений (14) и (15) применялся итеративный метод Гаусса–Зейделя.

3 Результаты расчетов

На рис. 2 представлены результаты расчетов, характеризующих безразмерную температуру $\hat{\theta} = \frac{T_{ст} - T_{ж}}{T_{пл} - T_{ж}}$ по радиусу ТА со временем охлаждения ТМ.

Безразмерным параметром времени является модифицированный критерий $Ste \cdot Fo$, который исключает необходимость учета теплоемкости ТМ. Зависимость от Ste дает небольшой разброс результатов, который увеличивается по мере приближения к концу процесса затвердевания. Из приведенных на рисунке 2 кривых видно, что в начале процесса затвердевания (верхние кривые) кривая проходит горизонтально и всем значениям r/R соответствует одна ордината. По мере затвердевания происходит уменьшение плотности теплового потока. Это объясняется возрастанием термического сопротивления слоя твердой фазы в ТМ. С течением времени горизонтальные участки кривых постепенно сокращаются и исчезают.

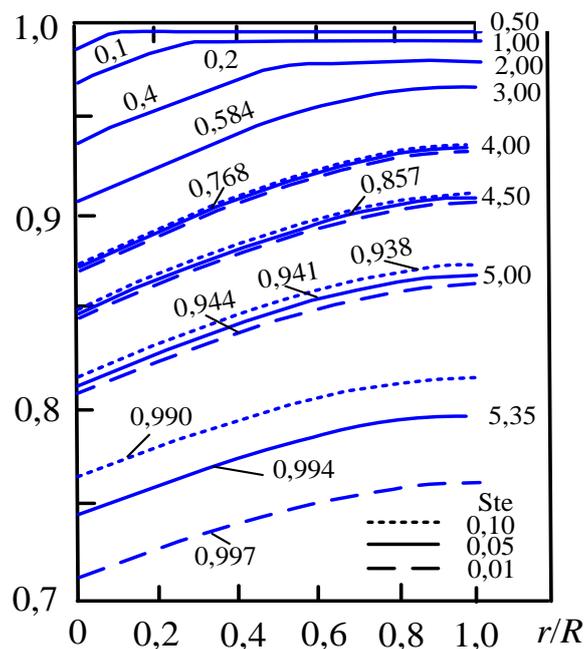


Рис. 2 Распределение температуры по радиусу ТА с течением времени (цифрами у кривых показана доля твердой фазы)

На рисунке 3 показано изменение теплового потока с поверхности ТА (кривая 1) и доли твердой фазы (кривая 2) от времени, выражаемого через критерий $Ste \cdot Fo$.

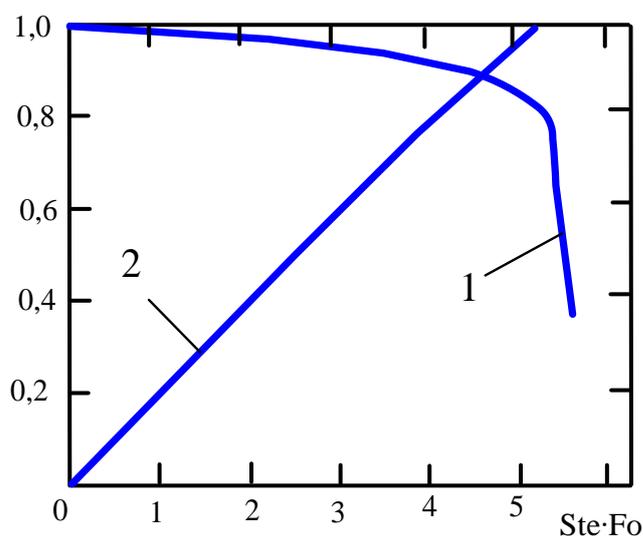


Рис. 3 Зависимость теплового потока с поверхности теплового аккумулятора и доли твердой фазы от времени $Ste \cdot Fo$ при $Bi = 0,1$ и $Ste = 0,05$

Рисунок 3 позволяет установить, что внешнее термическое сопротивление, обусловленное конвективной теплоотдачей, преобладает над внутренним термическим сопротивлением, обусловленным теплопроводностью твердой фазы ТМ. Так как значение внешнего

термического сопротивления не зависит от времени, то тепловой поток с поверхности ТА меняется в процессе затвердевания сравнительно мало и при полном затвердевании вещества уменьшается до 0,8. В момент окончания застывания кривые убывают очень быстро.

4 Заключение

При перевозках вязких нефтепродуктов в железнодорожных цистернах, снабженных ТА радиусом $R = 13$ мм, такие ТМ, как парафин, будут охлаждаться до температуры $T_{ж} = 35^{\circ}\text{C}$ в течение $\tau \sim 30$ часов при начальной температуре мазута $+70^{\circ}\text{C}$.

МЕТОД РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ТЕЛЕЖЕК ТРАМВАЙНЫХ ВАГОНОВ К ВСПОЛЗАНИЮ ИХ НА РЕЛЬС

И.Н. Никерова

Аннотация

Разработан метод расчета устойчивости тележек трамвайных вагонов к всползанию их на рельс. Принципиальным отличием их от тележек вагонов магистрального железнодорожного транспорта является внутреннее расположение буксовых узлов по отношению к колесам колесной пары и иные геометрические и весовые характеристики ходовых частей. Метод апробирован при расчете устойчивости вагонов в кривых радиусом от 20 до 150 м при скоростях движения от 15 до 30 км/ч.

Ключевые слова: тележки трамвайных вагонов; всползание колеса на рельс; условие равновесия; активные и реактивные силы.

Введение

Теоретические исследования устойчивости трамвайных вагонов к сходу их с рельсов в кривых участках пути требуют разработки специальных методов расчета. Известные методы расчета, принятые на магистральном железнодорожном транспорте, являются неприемлемыми в связи с имеющимися существенными различиями в конструкции тележек трамвайных и железнодорожных вагонов и в условиях их эксплуатации.

1 Метод расчета

Известны оценки устойчивости к всползанию колеса на рельс исходя из равновесия сил, действующих на колесную пару [1]. В нашем случае должна быть рассмотрена устойчивость колесной пары тележек трамвайных вагонов. Принципиальным отличием для этих тележек является иное расположение буксовых узлов и передача нагрузок от вагона на колесную пару между колесами (внутреннее расположение буксовых узлов по отношению к колесам колесной пары).

Рассмотрим процесс накатывания колеса на рельс по плоскости $V-V$ для условия предельного равновесия (рис. 1, a). Будем считать, что условие устойчивости колеса на рельсе обеспечивается, если сумма сил, способствующих соскальзыванию колеса вниз, превышает сумму сил, препятствующих этому соскальзыванию.

В соответствии с принятой расчетной схемой выделим активные и реактивные силы.

В качестве внешних активных сил можно рассматривать:

полную динамическую вертикальную нагрузку P_1 , передаваемую от левого колеса на рельс A в точке O ;

полную вертикальную динамическую нагрузку P_2 , передаваемую от правого колеса на рельс B ;

часть вертикальной динамической нагрузки, передаваемой на колесную пару от неподрессорной части вагона в левом буксовом узле P_1^P ;

часть вертикальной динамической нагрузки, передаваемой на колесную пару от неподрессорной части вагона в правом буксовом узле P_2^P ;

рамное усилие Y_p , действующее на расстоянии

$$e = r_{ш} + r_{к} \quad (1)$$

от точки O ($r_{ш}$ – радиус шейки, $r_{к}$ – радиус колеса).

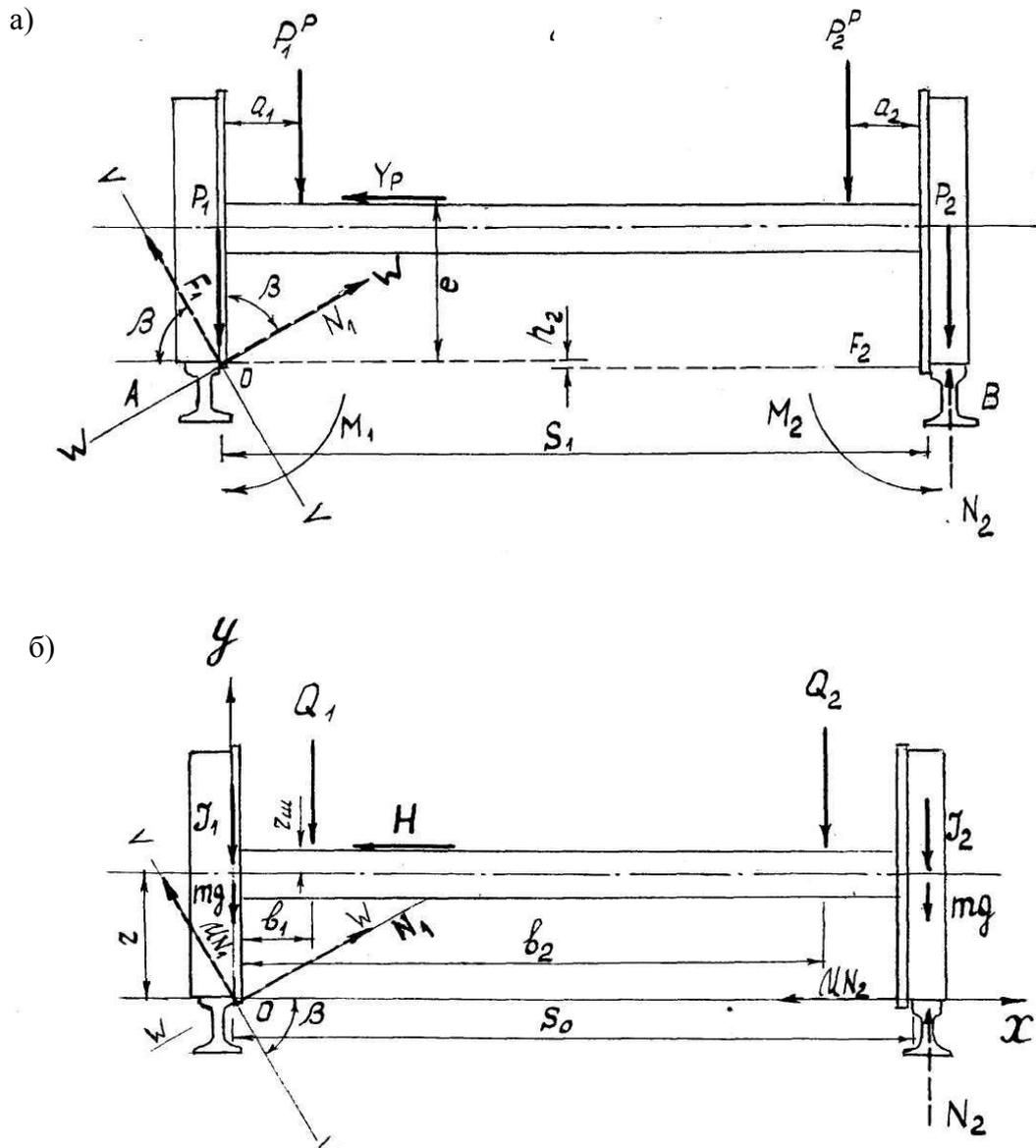


Рис. 1 Расчетные схемы накатывания трамвайного колеса на рельс:

a – без учета вертикальных сил инерции колесной пары; b – с учетом вертикальных сил инерции колесной пары

Реактивными силами являются:

нормальная составляющая реакции со стороны левого рельса N_1 ;

реакция со стороны правого рельса N_2 ;

тангенциальная составляющая реакции со стороны левого рельса

$F_1 = N_1 \cdot f_1$ (f_1 – коэффициент трения скольжения гребня колеса по рельсу A);

сила трения между правым колесом и рельсом B

$$F_2 = N_2 \cdot f_2, \quad (2)$$

где f_2 – коэффициент трения бандажа правого колеса по поверхности катания рельса B).

На данном этапе исследований считаем, что силы F_1 и F_2 действуют в плоскости чертежа.

Составим систему уравнений, описывающих условие равновесия колесной пары, проектируя силы на ось $V-V$, на ось $W-W$, и уравнения моментов сил относительно точки O :

$$\left. \begin{aligned} (P_1 + P_2 - N_2) \cdot \sin \beta &= F_1 + (Y_p + F_2) \cdot \cos \beta \\ (P_1 + P_2 - N_2) \cdot \cos \beta_1 + (Y_p + F_2) \cdot \sin \beta &= N_1 \\ -P_1^p a_1 + Y_p e - (P_2 - N_2) S_1 + P_2^p a_2 - F_2 h_T &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Первое уравнение системы (3) характеризует проекцию всех сил на ось $V-V$, второе – на ось $W-W$, третье – сумму моментов всех сил относительно точки O .

Нетрудно заметить, что изложенное ранее требование обеспечения устойчивости колеса на рельсе выражается неравенством:

$$(P_1 + P_2 - N_2) \cdot \sin \beta \geq F_1 + (Y_p + F_2) \cdot \cos \beta. \quad (4)$$

Сопоставление результатов по выражению (4) может быть реализовано после нахождения величин N_1 и N_2 .

Найдем величины N_1 и N_2 из системы уравнений (3).

Величина N_1 представлена вторым уравнением системы (3).

Величина N_2 может быть найдена из третьего уравнения непосредственно. Для этой цели запишем это уравнение в развернутом виде:

$$P_1^p a_1 + Y_p (r_{ш} + r_{к}) - (P_2 - N_2) S_1 + P_2^p a_2 - f_2 N_2 h_T = 0. \quad (5)$$

Выполним преобразование уравнения (5), оставив в правой части величины, связанные с N_2 :

$$-P_1^p a_1 + Y_p(r_{ш} + r_k) - P_2 S_1 + P_2^p a_2 = N_2(f_2 h_T - S_1). \quad (6)$$

Таким образом, величина

$$N_2 = \frac{-P_1^p a_1 + Y_p(r_{ш} + r_k) - P_2 S_1 + P_2^p a_2}{f_2 h_T - S_1}. \quad (7)$$

При этом рамное усилие при известных значениях величины направляющего усилия и поперечных составляющих сил трения колеса по рельсу H для первой оси тележки определится по формуле [1]:

$$Y_p = Y - 2H. \quad (8)$$

Численные значения сил Y и H определены расчетами по вписыванию тележек в кривые участки пути.

Для определения численных значений N_1 и N_2 выполним расчет применительно к трамвайным путям в кривой радиусом 20 м и скорости движения 15 км/ч ($S_1 = 1,6$ м, $a_1 = 0,161$ м, $a_2 = 0,181$ м, $\beta = 72^\circ$, $h_T = 0,07$ м) при тележках с диаметром колес 710 мм ($r_k = 0,355$ м) и диаметром шейки 100 мм ($r_{ш} = 0,05$ м).

Коэффициент трения скольжения колеса по рельсу примем

$$f_1 = f_2 = 0,25.$$

Для области малых скоростей движения и незначительной величины возвышения принимаем

$$P_1 = P_2 = 45,6 \text{ кН};$$

$$P_1^p = P_2^p = 0,75P_1 = 34,2 \text{ кН}.$$

Значение Y_p принимаем по результатам ранее выполненных расчетов:

$$Y_p = Y - 2H = 34,65 - 2 \cdot 9,38 = 15,89 \text{ кН}.$$

Для принятых исходных данных

$$N_2 = \frac{-34,2 \cdot 0,161 + 15,89 \cdot 0,405 - 45,6 \cdot 1,6 + 34,2 \cdot 0,181}{0,25 \cdot 0,07 - 1,6} = 41,62 \text{ кН}.$$

Величину N_1 находим из второго уравнения системы (3):

$$N_1 = (45,6 + 45,6 - 41,62) \cdot 0,3090 + (15,89 + 0,25 \cdot 41,62) \cdot 0,9511 = 40,33 \text{ кН}.$$

Выполним проверку условия обеспечения устойчивости колеса на рельсе по неравенству (4):

$$(45,6 + 45,6 - 41,6) \cdot 0,9511 \geq 0,25 \cdot 40,33 + (15,89 + 0,25 \cdot 41,62) \cdot 0,3090 = 47,16 > 18,21.$$

Условие устойчивости при $\beta = 72^\circ$ выполняется.

Коэффициент устойчивости

$$K = \frac{(P_1 + P_2 - N_2) \sin \beta}{F_1 + (Y_p + F_2) \cos \beta} = \frac{47,16}{18,21} = 2,59.$$

В такой же последовательности выполним расчеты для кривых радиусом 100 м и 150 м. Результаты расчета по всем трем кривым сведены в таблицу.

ТАБЛИЦА. Результаты расчета устойчивости колесной пары к всползанию колеса на рельс

Характеристики	$R = 20$ м	$R = 100$ м	$R = 150$ м
V , км/ч	15	25	30
H , м	0,07	0,07	0,05
Y , кН	34,65	34,49	34,43
H_1 , кН	9,38	10,60	10,83
Y_p , кН	15,89	13,29	12,67
N_2 , кН	41,62	42,28	42,31
N_1 , кН	40,33	37,98	37,22
F_2 , кН	10,40	10,57	10,58
F_1 , кН	10,08	9,49	9,30
K	2,59	2,76	2,82

Некоторые исследователи процесс всползания колеса на рельс рассматривают с учетом сил инерции колесной пары [2]. В соответствии с принятой расчетной схемой (рис. 1, б), учитывающей особенности колесной пары трамвайного вагона, выделим активные силы, действующие на колесную пару:

Q_1 – сила, передаваемая на левое колесо колесной пары от наддресорного строения вагона;

Q_2 – сила, передаваемая на правое колесо колесной пары от наддресорного строения вагона;

I_1 и I_2 – вертикальные силы инерции колесной пары соответственно для левого и для правого колеса;

H – рамная сила.

Реактивными силами на момент соскальзывания колеса с рельса вниз являются:

N_1 и N_2 – соответственно реакции левого и правого рельсов;

μN_1 – сила трения между гребнем левого колеса и левым рельсом;

μN_2 – сила трения между гребнем правого колеса и правым рельсом.

Устойчивость набегающего на рельс колеса считается обеспеченной в случае, когда сумма сил, сдвигающих колесо вниз, будет больше суммы сил, поднимающих колесо вверх, включая силы трения, препятствующие опусканию колеса.

Это условие может быть записано в виде неравенства:

$$N_1 \sin \beta \geq H + \mu N_1 \cos \beta + \mu N_2. \quad (9)$$

Расчетная схема, представленная на рис. 1, б, может быть упрощена. Так, в условиях малых скоростей движения (до 30 км/ч) силы инерции I_1 и I_2 невелики и их влиянием можно пренебречь. С этой же целью перенесем силу Q_1 в зону контакта левого колеса с левым рельсом, а силу Q_2 – в зону контакта правого колеса с правым рельсом, заменив их действие силой $Q_i = Q_1 = Q_2$ и моментом $M_i = Q_i b_i$. В этом случае в зоне контакта колес с рельсами будет действовать полная динамическая нагрузка от колес на рельс P_i , учитывающая также вес колесной пары. При этих допущениях уравнения равновесия сил на ось $W-W$ и моментов сил относительно левого рельса будут иметь вид:

$$\left. \begin{aligned} (P_1 + P_2 - N_2) \cos \beta + (H + \mu N_2) \sin \beta &= N_1 \\ -H(r_k + r_{ш}) + Q_1 b_1 - Q_2 b_2 + P_2 S_0 - N_2 S_0 & \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Из второго уравнения системы (10) величина

$$N_2 = \frac{-H(r_k + r_{ш}) + Q_1 b_1 - Q_2 b_2 + P_2 S_0}{S_0} = 41,15 \text{ кН.}$$

Из первого уравнения системы (10) при известной величине N_2

$$N_1 = (P_1 + P_2 - N_2) \cos \beta + (H + \mu N_2) \sin \beta = 40,25 \text{ кН.}$$

Полученные результаты соответствуют кривой радиусом 20 м и скорости движения вагона 15 км/ч. Сравнительный анализ (см. таблицу) показывает, что эти результаты при принятых ранее допущениях практически совпадают с данными, полученными по расчетной схеме рис. 1, а.

2 Заключение

Разработанный метод расчета устойчивости трамвайных вагонов к сходу их с рельсов в кривых участках пути апробирован при расчете устойчивости перспективных типов трамвайных вагонов в кривых радиусом от 20 до 150 м и принципиально отличается от известных методов, принятых на магистральном железнодорожном транспорте.

Библиографический список

1. Шахуняц Г.М. Железнодорожный путь. – М.: Транспорт, 1987.

2. **Вериго М.Ф., Коган А.Я.** Взаимодействие пути и подвижного состава. – М.: Транспорт, 1988.

Регулирование движения поездов и связь

УДК 621.316.72

ОСНОВЫ ТЕОРИИ РАСЧЕТА ВРЕМЕНИ ИСТЕЧЕНИЯ СЫПУЧИХ ГРУЗОВ ИЗ БУНКЕРНЫХ УСТРОЙСТВ

В.М. Попков

Аннотация

Предложены новые значения составляющих элементов расчетных формул для определения времени истечения сыпучих грузов из бункерных устройств, что обеспечивает получение более реальных результатов.

Ключевые слова: сыпучие грузы, скорость истечения, гидравлический радиус, коэффициент истечения, производительность погрузки, коэффициент надежности.

Введение

Важным элементом для улучшения использования вагонного парка на железных дорогах России является сокращение простоя вагонов под грузовыми операциями.

1 Определение параметров расчетных формул. Определение скорости истечения грузов из бункерных устройств

Поскольку время простоя вагонов под грузовыми операциями во многом зависит от средств механизации погрузо-разгрузочных работ, то вопросам разработки средств и способов погрузки грузов в вагоны и выгрузки грузов из вагонов всегда уделялось и уделяется значительное внимание в работах ряда ученых и специалистов в области механизации погрузо-разгрузочных работ на железнодорожном транспорте. В частности, методам организации бункерной погрузки сыпучих грузов уделено особое внимание в работах К.В. Алферова, Р.Л. Зенкова, Г.П. Гриневича, В.С. Исаева, Д.С. Плюхина, Е.Г. Угодина и др. Эти работы были использованы при составлении основных нормативных документов МПС РФ по определению технологического времени на выполнение грузовых операций с вагонами [1], [2]. Общий порядок определения технологических норм на погрузку и выгрузку вагонов включает:

подготовительные операции ($t_{\text{подг}}$) – снятие пломб, закруток, открывание дверей, люков и т. п.;

заключительные операции ($t_{\text{закл}}$) – закрывание дверей, люков, постановка закруток и пломб, очистку вагонов после выгрузки, разравнивание погруженного груза и т. д.;

собственно погрузку груза в вагон или выгрузку из вагона посредством механизма ($t_{\text{груз}}$), в том числе необходимые передвижения вагона или механизма.

При погрузке или выгрузке группы вагонов подготовительные операции со всеми вагонами, кроме первого, и заключительные операции, кроме последнего, должны совмещаться по времени с другими операциями погрузки–выгрузки и, следовательно, не должны учитываться при расчете общих затрат времени на погрузку–выгрузку.

Расчетная формула для определения технологической нормы на погрузку и выгрузку (T) выглядит так:

$$T = t_{\text{подг}} + \frac{n}{m} t_{\text{груз}} + t_{\text{закл}}, \quad (1)$$

где n – величина подачи;

m – число одновременно погружаемых или разгружаемых вагонов.

Затраты времени на выполнение грузовых операций определяются по формуле:

$$t_{\text{груз}} = \frac{q_{\text{н}} \cdot 60}{\Pi} + t_{\text{всп}}, \quad (2)$$

где $q_{\text{н}}$ – средняя масса груза в вагоне, т;

Π – производительность погрузо-разгрузочного механизма, т/ч;

$t_{\text{всп}}$ – затраты времени на вспомогательные операции, мин.

Для погрузочных бункеров при переработке сыпучих грузов

$$\Pi = 3600 \cdot \gamma \cdot F \cdot V, \quad (3)$$

где γ – плотность груза (объемный вес), т/м³;

F – средняя площадь поперечного сечения непрерывного потока груза, м²;

V – средняя скорость потока груза, м/с.

В Методических рекомендациях [1] расчет скорости истечения груза из бункера предложено производить по формуле:

$$V = 5,9 \cdot \lambda \sqrt{R} \cdot \sin \alpha, \quad (4)$$

полученной из выражения:

$$V = \lambda \sqrt{3,2 \cdot q \cdot R} \cdot \sin \alpha, \quad (5)$$

рекомендованного в работах [3, с. 169, формула (182)] и [4, с. 192, формула (182)] для расчета скорости истечения насыпных грузов из бункеров.

В приведенных формулах:

λ – коэффициент истечения груза;

R – гидравлический радиус выпускного отверстия, м;

q – ускорение свободного падения тела ($q = 9,8 \text{ м/с}^2$);

α – угол наклона течки бункера, отклоняющей поток и создающей подпор.

Гидравлический радиус представляет собой отношение площади выпускного отверстия бункера F к периметру этого отверстия L , т. е.

$$R = \frac{F}{L}. \quad (6)$$

Если в формулу (5) подставить значение q и произведение $3,2 \cdot q$ вывести из-под корня, то формула (4) примет вид:

$$V = 5,6 \cdot \lambda \sqrt{R} \cdot \sin \alpha. \quad (7)$$

Одновременно следует определиться с выбором значения коэффициента λ для использования в расчетах по определению времени загрузки вагонов сыпучими грузами.

В работах [4]–[6] указывается, что коэффициент истечения сыпучих грузов λ изменяется в пределах от 0,2 до 0,65. При этом более высокие значения коэффициента относятся к сухим, зернистым, хорошо сыпучим грузам (таким как песок речной высушенный), малые значения – к влажным, рядовым, плохо сыпучим материалам. При этом отмечается, что самый высокий коэффициент истечения 0,65 – у сухого песка, 0,55 – у зерна и т. д.

Такая же характеристика коэффициента истечения дается и в Методических рекомендациях [2], где сказано, что для сухих зернистых и порошкообразных грузов $\lambda = 0,55 \dots 0,65$, для крупнозернистых и кусковых $\lambda = 0,3 \dots 0,6$, для пылевидных $\lambda = 0,2 \dots 0,25$.

В частности, апатитовый концентрат по своей физической структуре порошкообразен. С учетом этого и принимая во внимание некоторый процент влажности, который присутствует в апатитовом концентрате, коэффициент истечения для этого вида груза следует принять равным 0,60, а для нефелинового концентрата – 0,55, что объясняется несколько большей влажностью последнего по сравнению с апатитовым концентратом, о чем свидетельствует его более высокое значение τ_0 .

Необходимо отметить, что высота слоя сыпучего груза не влияет на коэффициент истечения. Выполненными исследованиями установлено: «с достаточной для практики точностью можно считать, что давление на отверстие в днище сосуда не зависит от высоты слоя сыпучего тела в сосуде» [3].

Еще на один аспект следует обратить внимание и учесть при определении времени нахождения вагонов на железнодорожных путях необщего пользования.

Погрузка сыпучих грузов осуществляется с использованием различных транспортных и погрузочно-выгрузочных средств. В процессе их эксплуатации возможны различные непредвиденные поломки отдельных узлов механизмов и временный выход их из строя, что соответствующим образом сказывается на производительности погрузочно-выгрузочных работ и простое вагонов. Влияние этого фактора должно учитываться при расчете сроков оборота вагонов на железнодорожном пути необщего пользования соответствующим коэффициентом надежности, подобно тому, как это имеет место в расчетах пропускной способности железнодорожных линий. Суть этого коэффициента – учет влияния периодического выхода из строя в процессе эксплуатации локомотивов, подвижного состава, устройств СЦБ, связи, энергоснабжения, т. е. всего того, что вызывает задержки в продвижении поездов и снижение пропускной способности.

Подобный коэффициент, на наш взгляд, должен быть включен и в соответствующие расчетные формулы по определению производительности бункерной погрузки.

Коэффициент надежности α_n для магистральных линий колеблется в пределах от 0,90 до 0,94 [7]. Величину коэффициента надежности при расчете сроков оборота вагонов на железнодорожных путях необщего пользования можно принять равной 0,95 и 0,97.

2 Заключение

Полученные результаты позволяют более объективно рассчитать время погрузки в вагоны сыпучих грузов с использованием бункерных устройств.

Библиографический список

1. **Порядок разработки и определения технологических сроков оборота вагонов**, а также технологических норм погрузки грузов в вагоны и выгрузки из вагонов. Утв. Приказом МПС РФ № 67 от 29 сентября 2003 г. – 59 с.

2. **Методические рекомендации по определению технологического времени** на выполнение погрузочно-разгрузочных операций с грузовыми вагонами. Указание МПС РФ № Е-313у от 05 марта 2001 г.

3. **Зенков Р.Л.** Механика насыпных грузов. – М.: Машгиз, 1952. – 215 с.

4. **Зенков Р.Л.** Механика насыпных грузов. – М.: Машгиз, 1964. – 251 с.

5. **Зенков Р.Л., Гриневич Г.П., Исаев В.С.** Бункерные устройства. – М.: Машиностроение, 1977. – 223 с.

6. **Погрузочно-разгрузочные работы с насыпными грузами:** Справочник / Под ред. Д.С. Плюхина. – М.: Транспорт, 1989. – 303 с.

7. **Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог.** – М.: Транспорт, 1991.

АВТОНОМНЫЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА ДЛЯ ДАТЧИКОВ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕВОЗОК

В.Ю. Флоринский, Л.Е. Морозова, Н.А. Феоктистов

Аннотация

Рассматриваются вопросы, связанные с разработкой автономных источников тока, которые могут применяться в датчиках пожарной безопасности. Показана принципиальная возможность создания источников, осуществляющих преобразование энергии бета-распада в электрический ток на основе тонкопленочных $p-i-n$ -структур. Осуществлен расчет характеристик отдельных устройств в режиме преобразования энергии электронов кэВ-диапазона. Автономные источники тока данного типа могут применяться для бесперебойного питания датчиков системы пожарной безопасности.

Ключевые слова: датчик, безопасность, источник тока, $p-i-n$ -структура.

Введение

В настоящее время на железных дорогах многих стран мира внедряются системы автоматического контроля безопасности эксплуатации подвижного состава. В частности, большое внимание уделяется обеспечению пожарной безопасности. Необходимым элементом системы безопасности являются датчики задымленности. Источники питания таких датчиков преимущественно должны быть автономными, т. е. не связанными с внешними электрическими сетями. Таким образом, важной задачей в области организации перевозок представляется разработка автономных источников питания.

К наиболее развитым технологиям производства полупроводниковых приборов, на базе которых изготавливаются датчики различных типов, относятся тонкопленочные технологии. Они позволяют создавать элементы, эффективно преобразующие в электрический ток энергию бета-распада. Это связано прежде всего с относительной легкостью формирования многослойных структур, дающих принципиальную возможность получения высокой удельной мощности преобразования (мощности, отдаваемой в цепь нагрузки единицей преобразующего объема). Существование пленочных источников, испускающих электроны с низкими энергиями (например насыщенных тритием пленок титана), позволяет надеяться на создание компактных, автономных источников тока, практически безопасных в радиационном отношении.

В настоящее время широкое применение нашли полупроводниковые приборы на базе аморфных материалов. Одной из особенностей последних является то, что радиационные дефекты в аморфных полупроводниках образуются более интенсивно по сравнению с образованием их в

кристаллах. Вместе с тем экспериментальные исследования карбидосодержащих слоев аморфного гидрированного кремния ($a\text{-Si}_{1-x}\text{:C}_x\text{:H}$) позволили установить их повышенную устойчивость к воздействию электронного облучения [1]. В связи с этим представляет интерес анализ работы структур, созданных на основе таких слоев и предназначенных для преобразования энергии электронного потока в электрический ток. Одной из основных характеристик таких структур является коэффициент умножения Q , представляющий собой отношение тока короткого замыкания структуры $I_{к.з}$ к току зонда I_3 :

$$Q = \frac{I_{к.з}}{I_3}.$$

Коэффициент умножения характеризует чувствительность структуры к воздействию облучения, его величина определяется количеством образовавшихся электроно-дырочных пар, распределением электрического поля в структуре и транспортными свойствами материала.

1 Расчет характеристик $p\text{-i-n}$ $a\text{-Si}_{1-x}\text{:C}_x\text{:H}$ -структур

Расчет величины Q осуществлялся с помощью численного решения транспортных уравнений для электронов и дырок:

$$\begin{aligned} \frac{1}{q} \frac{dJ_n}{dx} &= V_n - G_n; \\ \frac{1}{q} \frac{dJ_p}{dx} &= G_p - V_p; \\ J_n &= q n \mu_n F(x) + q D_n \frac{dn}{dx}; \\ J_p &= q p \mu_p F(x) - q D_p \frac{dp}{dx}. \end{aligned}$$

Здесь J_n , J_p , n , p и D_n , D_p – плотности тока, концентрации и коэффициенты диффузии электронов и дырок, μ_n и μ_p – их подвижности; q – заряд электрона; $F(x)$ – напряженность электрического поля; V_n и V_p – скорости рекомбинации электронов и дырок. В простейшем случае (мономолекулярная рекомбинация) $V_n = \frac{n}{\tau_n} = V_p = \frac{p}{\tau_p} = V$, где τ_n и τ_p – времена жизни электронов и дырок соответственно. Для вычисления скорости генерации электроно-дырочных пар $G(x) = G_n = G_p$ использовалось выражение:

$$G(x) = \frac{I_3}{q \varepsilon_{eh}} \frac{dE}{dx}.$$

Диссипация энергии электрона $\frac{dE}{dx}$ определялась в соответствии с аппроксимацией, полученной в [2], где в качестве зависимости длины пробега β -частиц R от энергии E использовалась эмпирическая зависимость $R = bE^\gamma$ (величины b и γ зависят от плотности, зарядового и массового чисел материала преобразователя). При сравнении с экспериментальными данными в качестве подгоночного параметра использовалась энергия образования электроно-дырочной пары ϵ_{eh} .

2 Обсуждение результатов

Результаты расчетов показывают, что зависимость $Q = Q(E_3)$ p - i - n a - Si_{1-x} : C_x : H -структур с шириной собственного слоя $d_i \cong 5000 \text{ \AA}$ имеет максимум спектральной чувствительности при энергиях $E_3 \cong 10 \text{ кэВ}$, причем положение максимума не зависит от содержания углерода в пленке. Что касается величины Q_{\max} , то она уменьшается от значений $Q_{\max} = 450$ в случае собственного слоя без углерода (содержание углерода в пленке $x = 0$) до $Q_{\max} = 220$ ($x = 0,15$).

Зависимости $Q = Q(E)$ находятся в удовлетворительном соответствии с экспериментами, в ходе которых p - i - n a - Si_{1-x} : C_x : H -структуры облучались электронами с энергиями кэВ-диапазона в камере объектов растрового электронного микроскопа РЭММА-202М. Исследованные структуры изготавливались последовательным нанесением на стеклянную подложку следующих слоев: титана (толщиной $/300 \text{ \AA} /$) $-n^+ - a$ - $Si:H/200-400 \text{ \AA} / - i - a$ - $Si:C:H/5000 \text{ \AA} / - p^+ - a$ - $Si:H/200-400 \text{ \AA} / - ИТО/1000 \text{ \AA} /$.

Легированные и нелегированные слои аморфного кремния наносились методом высокочастотного разложения силана в реакторе диодной конструкции. Для получения карбидосодержащих слоев аморфного кремния в газовую смесь вводился метан. Его содержание в смеси характеризовалось параметром $k = CH_4 / (CH_4 + SiH_4)$, $0 = k = 0,33$ и являлось контролируемым параметром. Варьирование величины k в указанных пределах вызывало изменение концентрации углерода в пленке от 0 до 0,15. Энергия падающих электронов $3 \text{ кэВ} < E_3 < 35 \text{ кэВ}$.

О том, что транспортные свойства структур отличаются незначительно, свидетельствуют энергетические зависимости коэффициента заполнения (FF) нагрузочных вольт-амперных характеристик a - Si_{1-x} : C_x : H -структур с разным содержанием углерода в собственном слое: $k_1 = 0$ ($x_1 = 0$) и $k_2 = 0,33$ ($x_2 = 0,15$). (Под коэффициентом заполнения понимается величина $FF = \frac{I_m V_m}{I_{к.з} V_{х.х}}$, где $I_m V_m$

– максимальная мощность, выделяемая на нагрузке, $I_{к.з}$ и $V_{х.х}$ – ток короткого замыкания и напряжение холостого хода элемента.) Измерения показали практически неизменную форму нагрузочной характеристики с возрастанием k , в области максимума спектральной чувствительности величины FF отличаются мало и равны 0,55 и 0,49 соответственно.

Неизменность величины FF с возрастанием содержания углерода в пленке означает, что транспортные характеристики исследуемых структур практически не отличаются друг от друга. Следовательно, собирание неравновесных носителей заряда происходит из всей толщи i -слоя. Поэтому уменьшение величины параметра $\mu_p \tau_p$ (вследствие возрастания плотности локализованных состояний в щели подвижности от $0,8 \dots 1,2 \cdot 10^{16}$ до $\sim 10^{17}$ эВ⁻¹см⁻³) не влияет на величину $I_{к.з}$ структур.

В практическом плане необходимо отметить, что бета-радиоактивный изотоп водорода тритий испускает электроны с энергиями, не превосходящими 18 кэВ. Излучатель электронов именно этого энергетического диапазона и моделировался в настоящей работе. Следовательно, полученные результаты позволяют осуществить расчет характеристик автономных источников, преобразующих в электрический ток энергию бета-распада таких радиоактивных изотопов, как тритий. Электроны с энергиями порядка 10 кэВ сильно поглощаются веществом, так что источники практически безопасны в радиационном отношении.

3 Заключение

Экспериментальные и теоретические исследования характеристик p - i - n а-Si_{1-x}:C_x:H-структур позволили установить их эффективность в режиме преобразования энергии электронов с энергиями кэВ-диапазона в электрический ток. Это дает возможность определения характеристик автономных источников тока, в которых используются бета-радиоактивные препараты.

Реконструкция тяговых средств

УДК 535.372

МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЕТОСБОРА В СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ДЕТЕКТОРАХ

Я.А. Бердников, В.И. Никитченко, А.М. Петухов

Аннотация

Представлены результаты компьютерного моделирования светосбора в оптической части сцинтилляционного детектора ПЧД, проведенного с целью оптимизации его параметров. Рассмотрена зависимость светосбора от высоты, на которой произошла вспышка, и обсуждена возможность коррекции планарных координат высвета по его высоте.

Ключевые слова: распространение света, моделирование, светосбор, сцинтилляционный детектор.

Введение

В последнее время за рубежом все шире применяются в дефектоскопии, в том числе и на железнодорожном транспорте, оптические методы. Наиболее перспективными приборами, в основе которых лежат оптические методы, являются позиционно-чувствительные детекторы (ПЧД), которые являются комбинацией сцинтиллятор–фотоприемник.

Применение оптических методов, как наиболее точных, требует глубокого теоретического обоснования.

В настоящее время комбинация сцинтиллятор–фотоприемник широко применяется для создания позиционно-чувствительных детекторов (ПЧД), применяемых в дефектоскопии и реконструктивной вычислительной томографии (РВТ) [1].

ПЧД представляет собой сборку из сцинтилляционного кристалла на основе соединения CsI(Tl) (24×24×5 мм), световода из оптического стекла с высоким коэффициентом преломления и восьми лавинных фотодиодов (ЛФД) квадратной формы (5×5 мм). Собственное пространственное разрешение такого ПЧД составляет менее 2 мм, а оптимальный коэффициент преломления световода равен 1,9. В качестве фотоприёмников используют фотоэлектронные умножители (ФЭУ) и полупроводниковые (лавинные и PIN) фотодиоды, причём в связи с развитием полупроводниковой техники последние применяются всё чаще и чаще.

Существует два основных принципа построения оптической части детектора на основе фотодиодов. Первый принцип основан на разделении монолитного кристалла на несколько мелких кристаллов с линейными размерами порядка 3–5 мм. К каждому такому кристаллу прикрепляется свой фотоприёмник. Так как свет, образованный при взаимодействии гамма-кванта с сцинтиллятором в одной части кристалла, не может проникнуть в другие, он регистрируется лишь одним из нескольких фотодиодов. Таким образом, система подобного типа работает по принципу «победитель получает всё» («Winner Take All») [2]. Детекторы, организованные по такому принципу, широко применяются в РВТ. К недостаткам таких систем можно отнести принципиальное ограничение пространственного разрешения детектора, определяемого геометрическими размерами частей, на которые разбивается сцинтиллятор.

При другом подходе сцинтиллятор не дробится на части, а к монолитному кристаллу крепятся несколько фотоприёмников, регистрирующих свет от взаимодействия [3]. Используя показания приёмников, можно рассчитать координаты точки высвета.

В качестве сцинтилляторов в однофотонной эмиссионной РВТ чаще всего используются соединения NaI(Tl) и CsI(Tl), так как они обладают большим световыходом и подходящей длиной волны световых фотонов. Параметры этих материалов приведены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Параметры сцинтилляторов

Показатели	CsI(Tl)	NaI(Tl)
Световыход, фотон/МэВ	60000	38000
Плотность, г/см ³	4,5	3,7
Длина волны, нм	545	415
Линейный коэффициент ослабления гамма-излучения с энергией $E_\gamma = 140$ кэВ	3,88	2,66

Высокое пространственное разрешение блока детектирования может быть достигнуто путем оптимизации его оптической части. При этом оптимизации могут подвергаться все элементы оптической системы детектора: форма и геометрические параметры сцинтилляционного кристалла, тип покрытия его граней (которое представляет собой зеркальный или диффузный отражатель, просветляющий покрытие), качество обработки поверхностей кристалла и т. д.

Проведение большого числа экспериментов для поиска оптимальных параметров требует значительных финансовых и временных затрат, поэтому наиболее предпочтительным представляется построение компьютерной модели процессов собирания света и проведения расчётов. Любая схема моделирования этих процессов включает в себя трассировку движения отдельных фотонов сцинтилляционного излучения от места рождения до регистрирующего их фотодетектора.

Наиболее развитой моделью в настоящее время можно считать программный код LITRANI [5], разработанный в рамках CMS-проекта (ЦЕРН, Женева). При моделировании в данной работе был использован код LITRANI. Целью исследования является оптимизация параметров сборки оптической части сцинтиляционного позиционно-чувствительного детектора для получения наилучшего пространственного разрешения детектора и увеличения светосбора.

1 Описание оптической части детектора

Сборка состоит из сцинтиляционного кристалла CsI(Tl) $24 \times 24 \times H$ мм (H – высота кристалла), световода $24 \times 24 \times h$ мм (h – высота световода) и восьми лавинных фотодетекторов прямоугольной формы 5×5 мм, установленных на верхней стороне световода. При моделировании процессов светосбора на основе кода LITRANI был использован набор данных, прилагаемых к пакету для моделирования детектора с кристаллом CsI(Tl), ЛФД с чувствительным слоем 10 мкм. Высвет проводился в точках детектора с координатами x_0, y_0 (0,0; 0,0), (0,2; 0,0), (0,4; 0,0), (0,6; 0,0), (0,8; 0,0), (1,0; 0,0), (0,2; 0,2), (0,4; 0,4), (0,6; 0,6), (0,8; 0,8), (1,0; 0,0) по 5000 фотонов в каждой на высвет. После каждого высвета с ЛФД число зарегистрированных фотонов составляло sp_i ($i = 1, \dots, 8$). Расчётные координаты вспышки по оси X находились как разница чисел фотонов, собранных ЛФД, находящимися справа и слева от этой оси, нормированных на полный светосбор. Расчётная координата по оси Y находилась аналогично:

$$xr = \frac{sp_1 + sp_7 + sp_8 - sp_3 - sp_4 - sp_5}{E};$$

$$yr = \frac{sp_1 + sp_2 + sp_3 - sp_5 - sp_6 - sp_7}{E},$$

где $E = sp_1 + sp_2 + sp_3 + sp_4 + sp_5 + sp_6 + sp_7 + sp_8$.

E представляет собой суммарный отклик (среднее число фотонов, приходящееся на один высвет), пропорциональный энергии кванта, и нормировка на этот показатель производилась с целью убрать разброс координат, который обусловлен разбросом энергии, оставляемой гамма-квантом в кристалле.

Для каждой точки высвета строились спектры распределения величин xr , yr , E . Эти спектры аппроксимировались распределениями Гаусса, т. е. для каждой точки высвета были получены следующие данные:

средние значения координат xr и yr (максимум пика);

среднеквадратичные отклонения этих координат σ_x , σ_y ;

среднее число фотонов, собранных за один высвет, E ;

среднеквадратичные отклонения для этого числа σ_E .

Две точки взаимодействия 1 и 2 будем считать различающимися по оси X , если выполняется следующее неравенство:

$$|xr_1 - xr_2| > 1,18 \cdot (\sigma_{X1} + \sigma_{X2}).$$

Учитывая, что ширина распределения на половине максимальной высоты равна $2,36 \cdot \sigma$, можно приближенно считать две точки различимыми, если соответствующие им пики различаются на высоте с данной шириной распределения. По оси Y ситуация полностью аналогична. Собственное пространственное разрешение (СПР) определяется как ширина пика амплитудного распределения на половине максимальной высоты [6]. Будем считать, что для малых изменений точек высвета рассчитанные координаты xr , yr линейно зависят от истинных координат $x0$, $y0$:

$$\begin{aligned} xr &= A_X \cdot x0 + B_X; \\ yr &= A_Y \cdot y0 + B_Y. \end{aligned}$$

Тогда СПР по оси X в точке $x0_i$ можно вычислить по следующей формуле:

$$r_T^{II} x0_i = 2,35 \cdot \sigma_X x0_i \cdot \frac{x0_{i+1} - x0_i}{xr_{i+1} - xr_i}.$$

С другой стороны, с таким же основанием можно определить СПР, взяв информацию от предыдущей точки высвета $x0_{i-1}$:

$$r_T^{II} x0_i = 2,35 \cdot \sigma_X x0_i \cdot \frac{x0_i - x0_{i-1}}{xr_i - xr_{i-1}}.$$

Поэтому везде, где возможно, СПР следует вычислять по обоим формулам, а за истинное значение принимать среднее между ними:

$$r_T(x0_i) = \frac{r_T'(x0_i) + r_T''(x0_i)}{2}.$$

СПР по оси Y определяется аналогично.

2 Зависимость СПР от положения ЛФД

Для изучения зависимости СПР от положения ЛФД была проведена серия расчётов для оптической части детектора со следующими параметрами:

высота кристалла CsI(Tl) $H_{CsI(Tl)} = 0,5$ см;

высота световода $H_{fb} = 0,5$ см;

коэффициент преломления световода $n_{fb} = 1,9$;

количество гамма-квантов, высвечиваемых в каждой точке, 300;

количество фотонов, рождаемых в одном высвете, 5000.

Высвет моделировался на половине высоты кристалла. Положение центров ЛФД d_{APD} изменялось от 0,50 до 0,95 см. Результаты расчетов приведены в таблице 2 и на рисунках 1, 2.

ТАБЛИЦА 2. СПР оптической части ПЧД для различных положений ЛФД (рис. 2)

x_0 , см	r_{TX} , мм									
	$d_{APD}=0,50$ см		$d_{APD}=0,65$ см		$d_{APD}=0,75$ см		$d_{APD}=0,85$ см		$d_{APD}=0,95$ см	
	$y_0=0,0$	$y_0=x_0$								
0,0	1,39	1,39	1,75	1,63	1,54	1,60	0,93	0,97	0,94	0,92
0,2	1,52	1,39	1,84	1,89	1,74	1,61	1,42	1,62	1,28	1,32
0,4	2,07	2,42	1,97	1,99	2,09	2,31	2,49	2,25	3,50	2,49
0,6	2,37	3,40	1,65	2,22	1,96	1,98	3,47	2,71	6,27	4,19
0,8	2,73	4,74	1,72	2,12	1,75	1,81	4,77	5,02	7,07	6,04
1,0	3,42	5,78	1,27	1,74	1,93	1,83	6,27	5,78	5,78	7,52

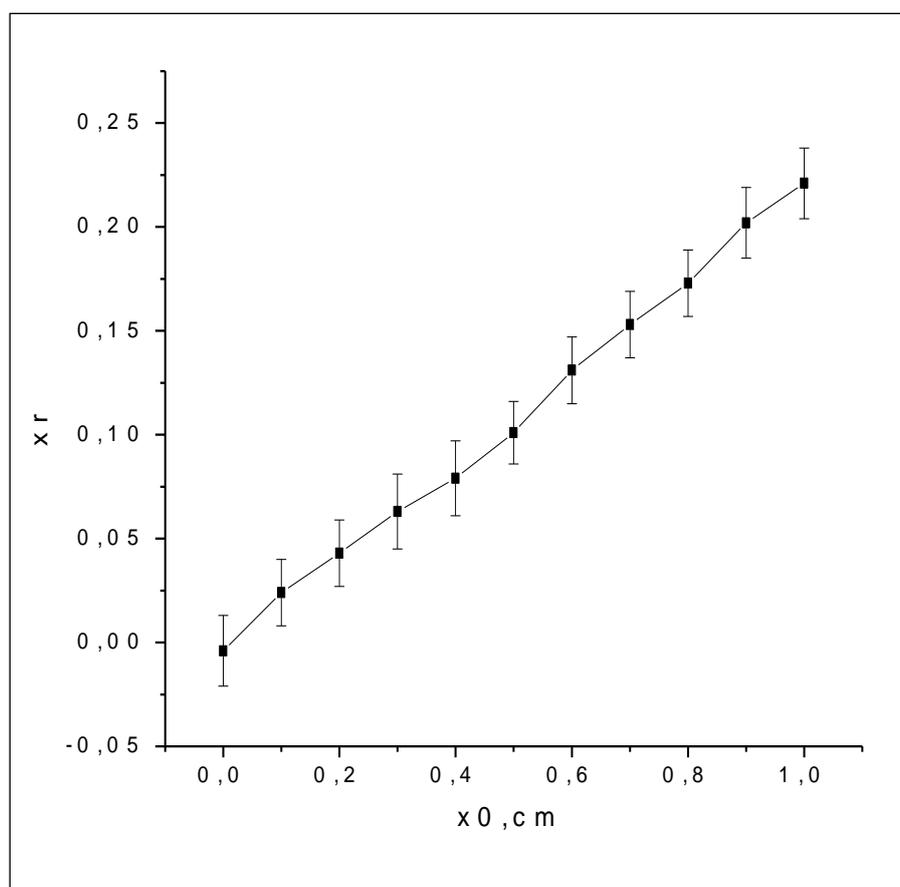
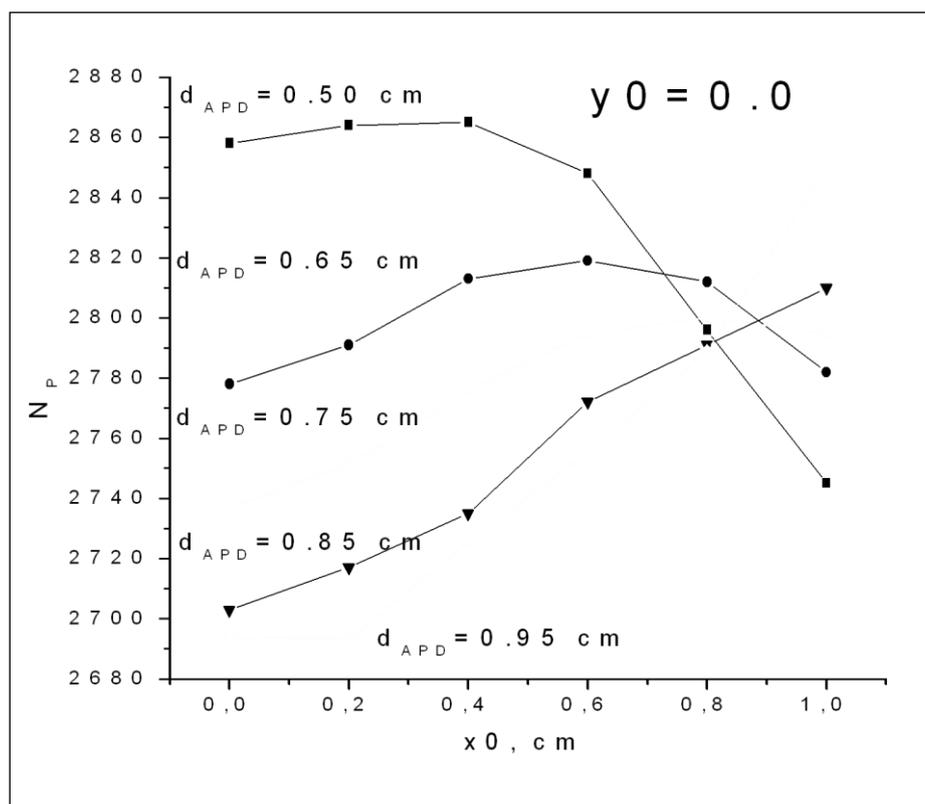


Рис. 1 Зависимость положения рассчитанных координат x_r от реальных x_0 для $d_{APD} = 0,75$ см

Результаты расчетов показывают, что дисперсия практически не зависит от точки высвета, следовательно, СПР зависит только от

координат точки высвета. В оптимальном варианте приведенная зависимость должна быть линейной. В этом случае СПР не будет зависеть от точки высвета.

Расчеты показывают также, что общий светосбор составляет около 55% (2700 из 5000 испущенных фотонов). Его зависимость от положения ЛФД приведена на рисунке 2 (для $y_0 = 0.0$ и для $y_0 = x_0$).



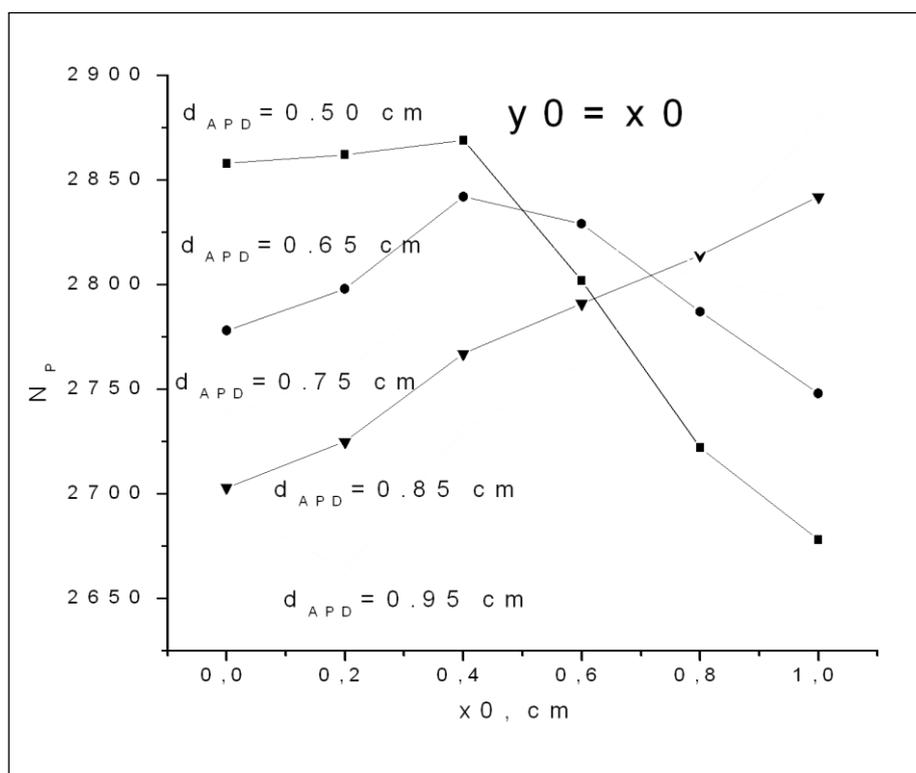


Рис. 2 Зависимость общего количества собранных фотонов N_p от геометрии оптической части детектора и положения точки высвета

3 Влияние высоты высвета на характеристики оптической части детектора

Для оптической части с параметрами $H_{\text{CsI(Tl)}} = 0,5$ см, $H_{fb} = 0,5$ см, $n_{fb} = 1,9$ была проведена серия измерений при изменяемой высоте z_0 , на которой проводились высветы. На графиках (рис. 3) приведены зависимости рассчитанных координат высвета (x_r) от высоты вспышки (z_0) для различных положений реальных координат (x_0) и зависимость общего числа фотонов N_p от координаты z_0 (рис. 4), а также зависимость общего числа фотонов N_p от высоты x_0 вспышки (рис. 5).

Как видно из таблицы и графиков, смещение высоты высвета приводит к изменению рассчитанной координаты вспышки. Так как в реальном сцинтилляторе вспышки происходят по всей высоте, причём их число экспоненциально спадает от нижней грани кристалла к верхней, такое смещение рассчитанных координат приводит к увеличению дисперсии и, как следствие, к ухудшению СПР.

Данное обстоятельство можно объяснить следующим образом. На разной высоте вспышки ЛФД видны под разными телесными углами. Чем больше телесный угол, под которым виден данный ЛФД, тем больше он собирает фотонов (зависимость не линейная, но очевидно, что она существует). При приближении к верхней грани сцинтилляционного кристалла увеличивается угол, под которым видны ближайшие ЛФД. А вследствие того, что расчётная координата определяется разностью числа собранных фотонов разными ЛФД, возникает зависимость расчётных координат от высоты вспышки.

Чтобы уменьшить влияние этой зависимости, можно предложить следующую схему. Нужно заранее разработать систему поправок, зависящую как от планарных координат (x , y), так и от высоты сцинтилляции (z). Если будет известна высота, на которой произошла вспышка, то мы сможем компенсировать изменение расчётных планарных координат.

Единственной величиной, от которой может зависеть z_r , является общий светосбор (E), поэтому следует рассмотреть зависимость светосбора от высоты сцинтилляции.

Как показывают результаты моделирования, характер этой зависимости различен для разных планарных координат. Если высвет происходит под ЛФД, то светосбор растёт по мере приближения к верхней грани кристалла. Если точка взаимодействия гамма-кванта с веществом находится вдали от ЛФД, то светосбор падает.

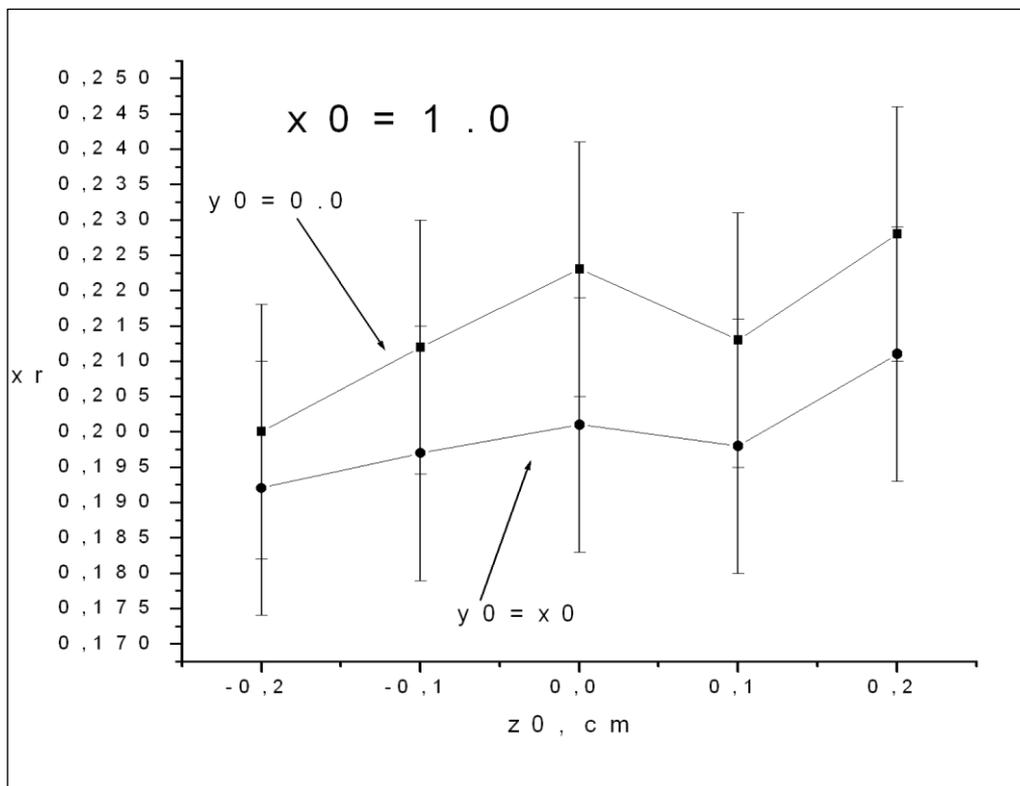
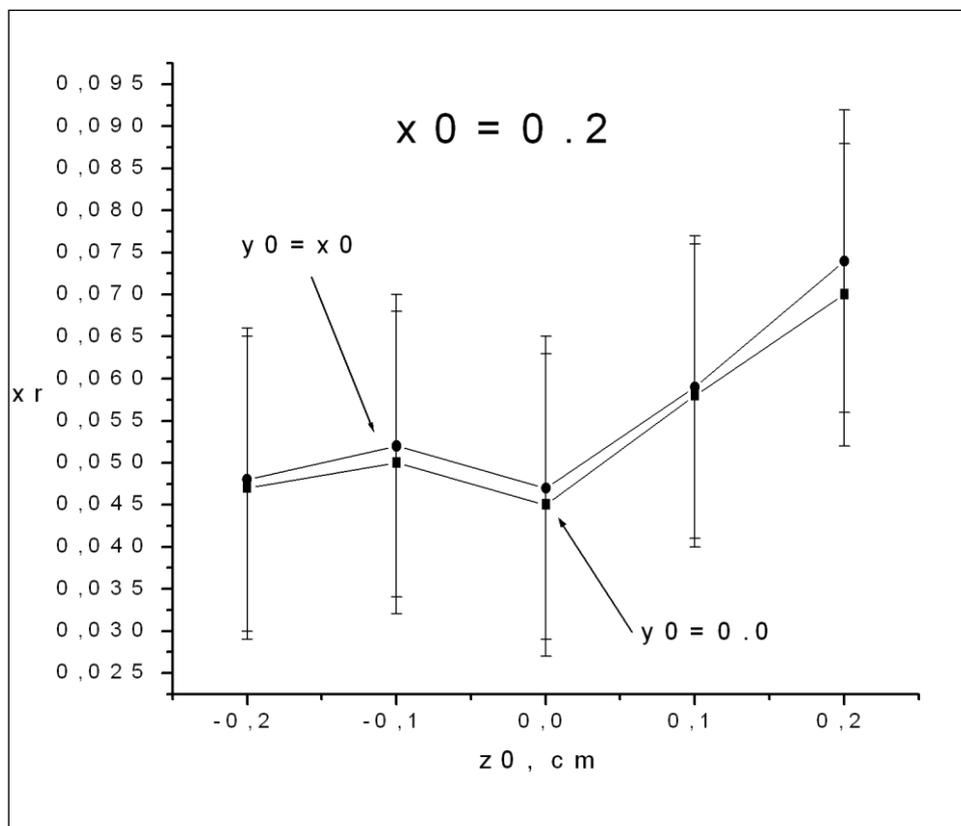


Рис. 3 Зависимость рассчитанных координат высвета от высоты сцинтилляции (для $x_0 = 0,2$ и для $x_0 = 1,0$)

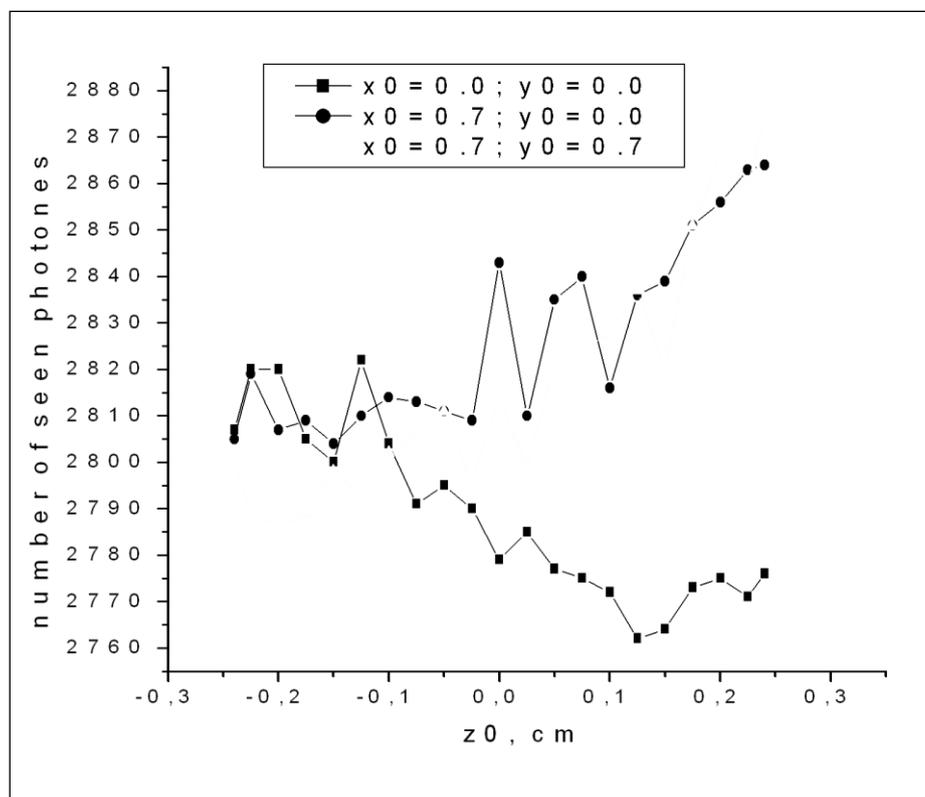


Рис. 4 Зависимость общего числа собранных фотонов N_p от координаты Z вспышки в кристалле

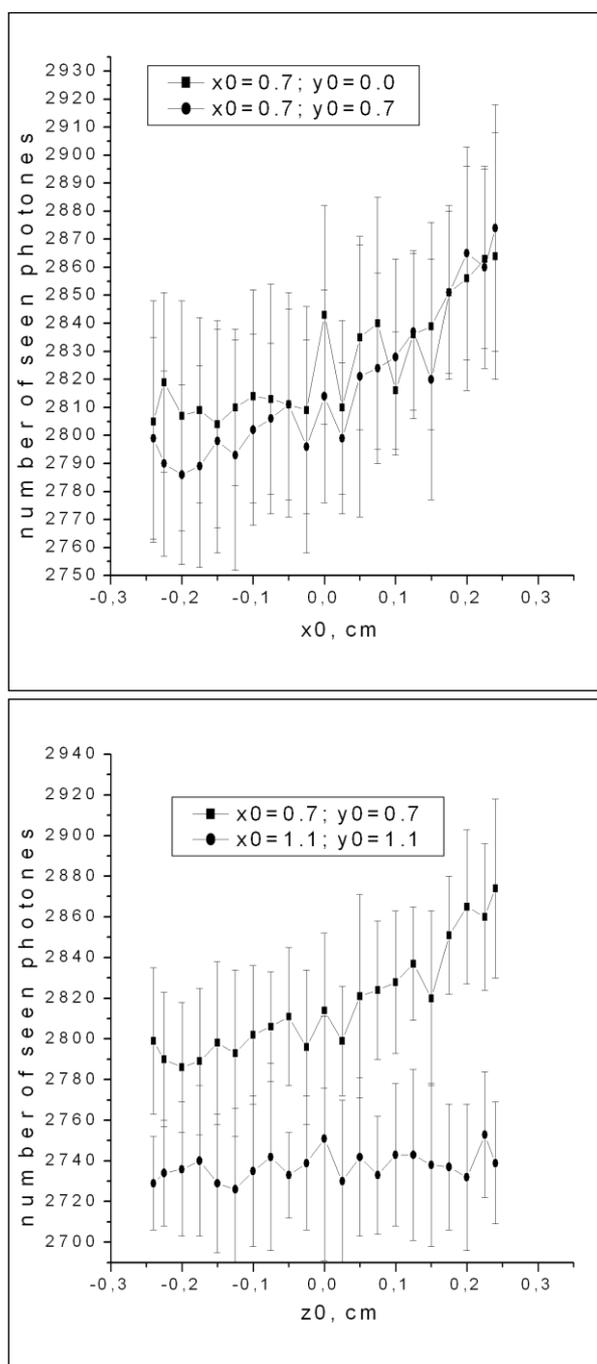


Рис. 5 Зависимость общего числа собранных фотонов N_p от высоты фотовспышки

Для определения возможности коррекции положения точки в зависимости от её положения по оси Z были построены графики зависимостей общего числа собранных фотонов от высоты вспышки. В качестве ошибки вводилось среднеквадратичное отклонение этой величины (см. рис. 5). Если при одних и тех же значениях x_0 и y_0 возможно выяснить положение вывета по оси Z , то можно будет точнее определять координаты точки взаимодействия.

Как видно из графиков, одному и тому же числу собранных фотонов можно сопоставить очень большой интервал координат по оси Z , а в некоторых точках, например (1,1; 1,1), на основании этой информации вообще нельзя говорить о какой-либо высоте вывета. Следовательно, при такой конфигурации оптической части детектора коррекция координат по общему светосбору невозможна.

4 Зависимость СПР и светосбора от коэффициента преломления световода

Для изучения зависимости собственного пространственного разрешения оптической части сборки была проведена серия расчётов со следующими параметрами: $H_{CsI(Tl)} = 0,5$ см, $H_{fb} = 0,5$ см, $d_{APD} = 0,65$ см. Изменялся коэффициент преломления световода n_{fb} от 1,70 до 1,90. Полученные значения СПР приведены в таблице 3.

ТАБЛИЦА 3. Расчетные значения СПР

x_0 , см	r_{TX} , мм									
	$n_{fb}=1,70$		$n_{fb}=1,75$		$n_{fb}=1,80$		$n_{fb}=1,85$		$n_{fb}=1,90$	
	$y_0=0.0$	$y_0=x_0$								
0,0	1,56	1,60	1,70	1,68	1,61	1,45	1,54	1,55	1,75	1,63
0,2	2,11	2,37	2,16	2,50	2,18	2,19	2,20	2,18	1,84	1,89
0,4	2,27	2,71	2,27	2,84	2,27	2,67	2,35	2,77	1,97	1,99
0,6	1,95	2,04	1,80	2,17	1,96	2,25	1,96	2,42	1,65	2,22
0,8	2,19	2,17	2,24	2,13	2,38	2,23	2,18	2,26	1,72	2,12
1,0	2,38	2,10	2,50	2,10	2,67	2,35	2,44	2,16	1,27	1,74

На следующих графиках (рис. 6) приведены зависимости общего числа собранных фотонов от коэффициента преломления световода и положения точки вывета (координаты x_0). Из них следует, что общее количество собранных фотонов растёт с ростом коэффициента преломления. При этом для значений n_{fb} , бóльших чем 1,90, рост незначителен

Анализ полученных результатов показывает, что наилучшее собственное пространственное разрешение получается при применении световода из стекла с коэффициентом преломления, равным 1,90.

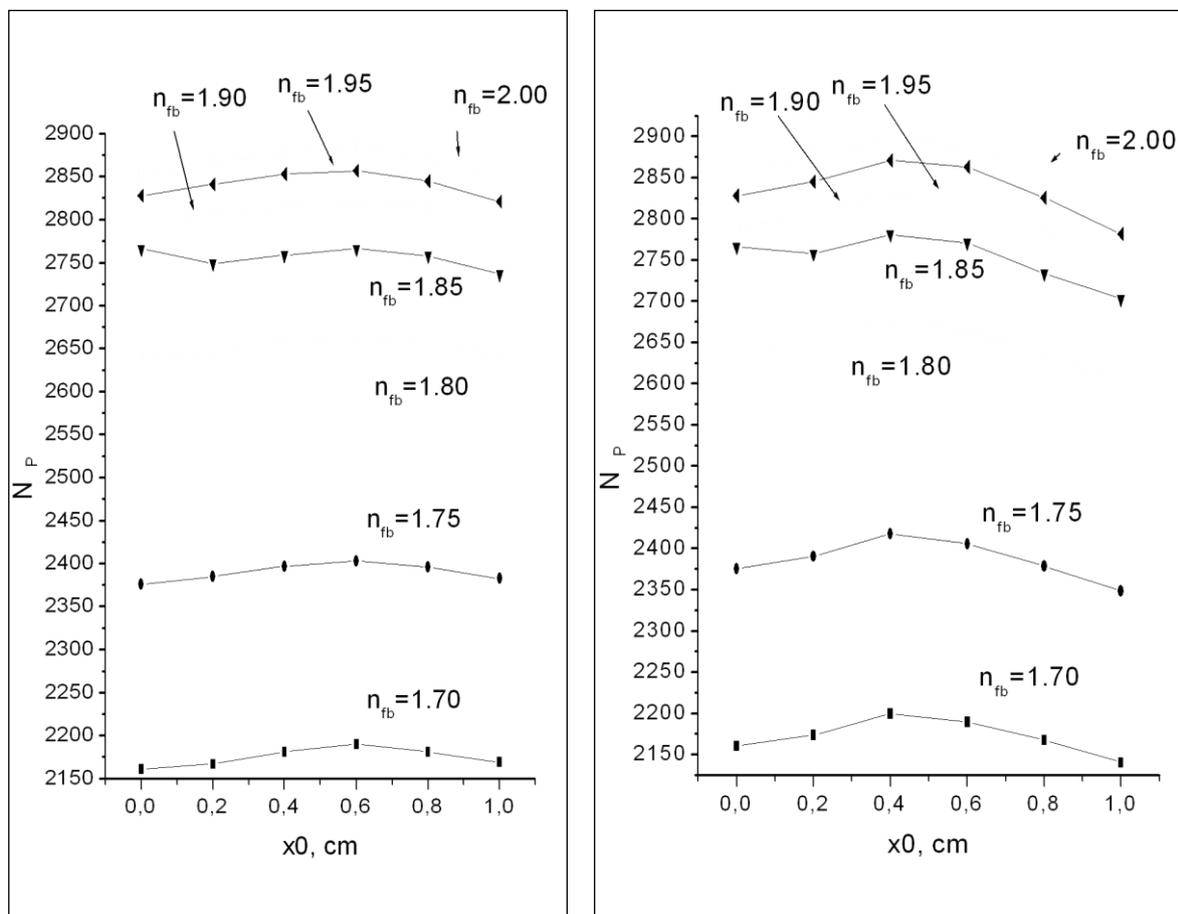


Рис. 6 Зависимость общего количества собранных фотонов N_p от коэффициента преломления материала n световода и положения точки высвета

5 Заключение

В настоящей работе:

определены оптимальные параметры оптической части детектора, позволяющей получить собственное пространственное разрешение менее 0,2 см;

получена зависимость собственного пространственного разрешения и светосбора детектора от положения ЛФД;

показаны рост светосбора и улучшение разрешающей способности оптической части детектора при увеличении коэффициента преломления световода.

Данная работа поддержана грантом Е-02-3-3-99 по фундаментальным исследованиям в области естественных и точных наук.

Библиографический список

1. **Moses W.W.** Scintillators Requirement For Medical Imaging // Proceedings of The Fifth International Conference on Inorganic Scintillators and Their Applications, Faculty of Physics, M. V. Lomonosov Moscow State University. – M., 2000.
2. **A Discrete Scintillation Camera Using Silicon Photodiode Readout of CsI(Tl) crystals for Breast cancer Imaging** / G.J. Gruber, W.W. Moses, S.E. Derenzo, N.W. Wang, E. Beuville, M.H. Ho // IEEE Trans. Nucl. Sci., 1998. – Vol. 45. – P. 1063–1068.
3. **Takacs G.J., Rosenfeld A.B., Lerch M.L.** Design and simulation of continuous scintillator with pixelated photodetector // IEEE Trans. Nucl. Sci., 2001. – Vol. 48. – P. 1412–1417.
4. **Gentit F.-X.** LITRANI, [hppt://home.cern.ch/~gentit/](http://home.cern.ch/~gentit/).
5. **Gentit F.-X.** The Monte-Carlo program Crystal // CERN CMS-TN/1996-143, 1996.
6. **Калашников С.Д.** Физические основы проектирования сцинтилляционных гамма-камер. – М.: Энергоатомиздат, 1985.

УДК 621.365.5(075.8)

**МЕТОД РАСЧЁТА ПАРАМЕТРОВ ИНДУКТОРА ДЛЯ НАГРЕВА
ДЕТАЛЕЙ ПРИ РЕМОНТЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА****Ю.С. Боголюбов, С.А. Тюленев, К.А. Архипов****Аннотация**

Метод расчёта предназначен для определения параметров эквивалентной схемы системы индуктор–деталь, исходя из геометрических размеров и физических свойств детали.

Ключевые слова: индуктор–деталь, расчёт параметров.

Введение

Метод расчета параметров системы индуктор–деталь разработан для цилиндрического открытого индуктора с помещенной внутрь него нагреваемой полый цилиндрической деталью из ферромагнитного материала.

Геометрические параметры индуктора и детали:

D_1 – внутренний диаметр обмотки индуктора;

h_1 – высота обмотки индуктора, м;

$W_{\text{и}}$ – число витков обмотки индуктора;

D_2 – наружный диаметр детали, м;

$D_{2\text{в}}$ – внутренний диаметр детали, м;

h_2 – высота детали, м.

1 Основные допущения

Электрическая схема замещения системы индуктор–деталь с магнитной связью приведена на рисунке 1.

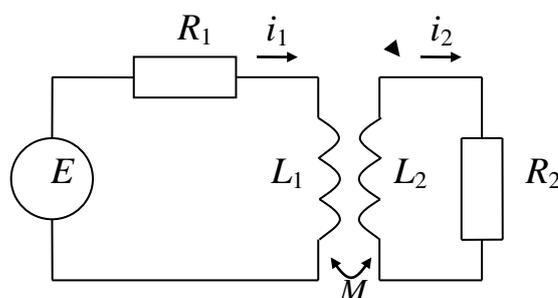


Рис. 1 Схема замещения системы индуктор–деталь с магнитной связью

Предлагаемый метод предназначен для расчета параметров системы индуктор–деталь при работе в диапазоне частот 2...10 кГц. Форма напряжения источника E , от которого питается система, может быть любой с коэффициентом гармоник от 0 до 50%, т. е. находиться в диапазоне от синусоиды до прямоугольного напряжения (меандра). Для указанного диапазона частот при открытом индукторе величина коэффициента мощности находится в диапазоне $K_M = 0,4...0,5$.

Удельная мощность на поверхности детали P_0 , Вт/м², определяется из теплового расчёта и является заданной. Заданными также являются удельное сопротивление нагреваемой детали ρ_d и частота f . Величина активной мощности системы индуктор–деталь P_1 определяется из удельной мощности.

2 Расчёт параметров индуктора

Действующее значение тока индуктора [1]

$$I_1 = \frac{P_1}{E \cdot \eta \cdot K_M} = \frac{P_2 (1 - \eta)}{E \cdot K_M \cdot \eta}, \quad (1)$$

где $\eta = \frac{P_2}{P_1 + P_2}$ – КПД системы индуктор–деталь;

$P_2 = I_2^2 R_2$ – мощность, выделяемая в детали.

Значение КПД в системах индукционного нагрева довольно высокое ($\eta = 0,9...0,96$) и зависит от сопротивления индуктора R_1 , которое определяется сечением и длиной проводника обмотки, его

электропроводностью и эффектом вытеснения тока. Особенно сильно эффект вытеснения проявляется, если проводник выполнен из сплошного провода, диаметр которого превышает глубину проникновения тока в проводник.

Поэтому, если не требуется жидкостного охлаждения индуктора, наиболее подходящим типом провода обмотки является литцендрат. В этом случае активное сопротивление индуктора практически не будет зависеть от частоты в указанном диапазоне.

Сечение провода обмотки индуктора, мм²,

$$q = I_1 / \Delta. \quad (2)$$

Для открытого однослойного индуктора из медного провода значение Δ можно принимать в диапазоне, А/м²,

$$\Delta = 10 \dots 20 \cdot 10^6.$$

Тогда активное сопротивление обмотки индуктора будет, Ом,

$$R_1 = \rho_{20} \left[1 + \alpha \cdot t - 20^\circ C \right] \pi D_0 W_{и} / q, \quad (3)$$

где ρ_{20} – удельное сопротивление материала провода индуктора при температуре 20°C;

α – температурный коэффициент.

Индуктивность обмотки индуктора без детали [1]

$$L_{1.x} = \mu_0 \pi \left(\frac{D_1}{2} \right)^2 \frac{W_{и}^2}{h_1} k, \quad (4)$$

где $\mu_0 = 0,4 \pi 10^{-8}$;

k – коэффициент, зависящий от отношения внутреннего диаметра D_1 катушки к её высоте h_1 [1].

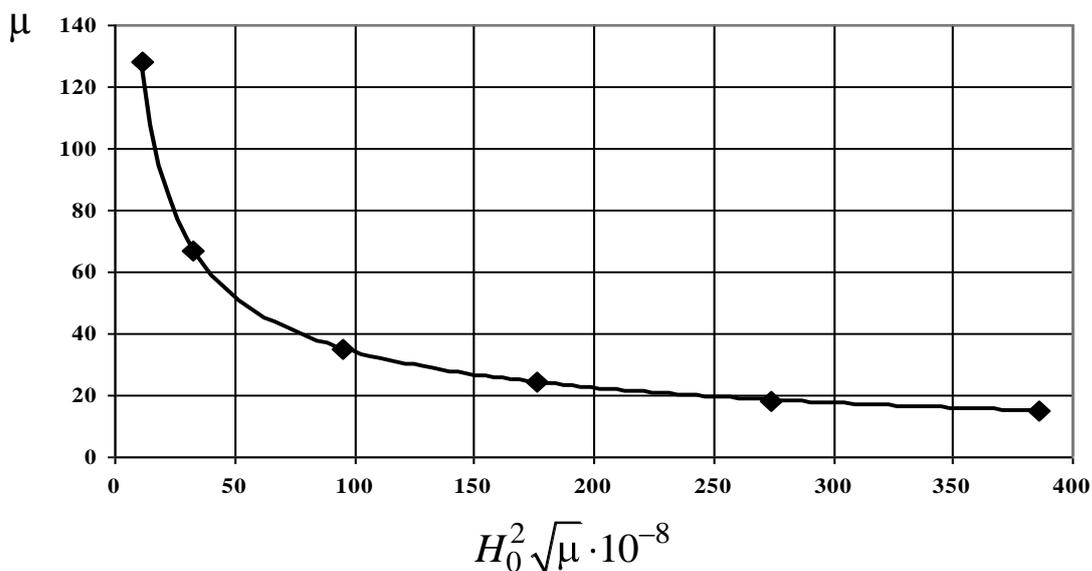
Индуктивность нагруженной обмотки индуктора будет больше вследствие внесения в нее ферромагнитного материала с $\mu > 1$.

Эквивалентная относительная магнитная проницаемость μ детали определяется из уравнения для удельной мощности, Вт/м²,

$$p_0 = 1,37 \cdot \frac{P_2}{\Delta_2} \cdot H_0^2 = 2,72 \cdot 10^{-3} \cdot H_0^2 \sqrt{\rho_2 \cdot \mu \cdot f}, \quad (5)$$

отсюда $H_0^2 \sqrt{\mu} = 3,67 \cdot 10^2 \frac{P_0}{\sqrt{\rho_2 \cdot f}}$.

Зависимость μ от $H_0^2 \sqrt{\mu}$, представленная на рисунке 2, может быть описана функцией вида: $\mu = 568 \cdot H_0^2 \sqrt{\mu} \cdot 10^{-8}^{-0,61}$.

Рис. 2 Зависимость μ от $H_0^2 \sqrt{\mu}$

Величина индуктивности L_1 нагруженного индуктора для рассматриваемых стальных изделий, нагреваемых ниже точки магнитных превращений, определяется по выражению [1]:

$$L_1 = \pi \mu_0 W^2 h_1 \left[\left(\frac{D_1}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_2}{2} \right)^2 \left(1 - \frac{\mu \sqrt{2}}{x_2} \right) \right], \quad (7)$$

где $x_2 = KD_2/2 > 4$;

$$K = \sqrt{\omega \gamma \mu_0 \mu}.$$

Значение глубины проникновения тока в деталь для синусоидальной формы тока индуктора [2], м,

$$\Delta_2 = 503 \sqrt{\frac{\rho_2}{\mu f}}, \quad (8)$$

а с учётом гармонического состава тока

$$\Delta_2 = 503 \sqrt{\frac{\rho_2}{\mu} \left(\frac{I_1}{I_{13} f_1} + \frac{I_2}{I_{13} f_2} + \frac{I_5}{I_{13} f_5} + \dots \right)}. \quad (9)$$

Активное сопротивление детали [3], Ом,

$$R_2 = 8,6 \frac{\rho_2}{\Delta_2} \frac{R_2}{h_2}. \quad (10)$$

Индуктивное сопротивление детали [1], Гн,

$$L_2 = \frac{R_2 Q}{\omega P}. \quad (11)$$

где $P = \frac{1}{\sqrt{2}} - \frac{1}{2x_2}$; $Q = \frac{1}{\sqrt{2}}$.

Коэффициент взаимоиנדукции [1]

$$M = \mu_0 \pi \left(\frac{D_T}{2} \right)^2 \frac{W}{h_2} F \cdot \frac{L_1}{L_{1x}}, \quad (12)$$

где

$$F = \frac{h_2}{\sqrt{h_1^2 + D_c^2}} \left[1 + \frac{D_T^2 h_2^2}{8 h_1^2 + D_c^2} \left(3 \frac{D_T^2}{h_2^2} - 4 \right) + \frac{D_c^2 h_1^2 h_2^4}{32 h_1^2 + D_c^2} \left(3 \frac{D_c^2}{h_1^2} - 4 \right) \left(\frac{5 D_T^4}{2 h_2^4} - 10 \frac{D_T^2}{h_2^2} + 4 \right) \right],$$

$$D_c = D_1 \sqrt{1 + \frac{\sqrt{2}}{x_1}}, \quad D_T = D_2 \sqrt{1 - \frac{\sqrt{2}}{x_2}}; \quad x_1 = KD_1 / 2.$$

3 Заключение

1. Приведённый метод расчёта позволяет на основе геометрических размеров индуктора и детали определить все параметры эквивалентной схемы системы индуктор–деталь.

2. Метод расчёт применим не только для синусоидальной, но и для прямоугольной формы напряжения на индукторе.

Библиографический список

1. Родигин Н.М. Индукционный нагрев стальных изделий. – М.: Металлоиздат, 1950.

2. Установки индукционного нагрева // Под ред. А.Е. Слухоцкого. – Л.: Энергоиздат, 1981.

3. Шамов А.Н., Бодажков В.А. Проектирование и эксплуатация высокочастотных установок. – Л.: Машиностроение, 1974.

УДК 621.314.572:621.582.233

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОХЛАДИТЕЛЕЙ ТИПА ДТС ЭЛЕКТРОВОЗНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

А.Б.Буянов, И.В.Митрофанова

Аннотация

Нагрузочная способность, надежность работы и долговечность силовых полупроводниковых преобразователей электровоза в значительной степени определяются качеством охладителей силовых полупроводниковых приборов и модулей. Разработана методика оценки качественных показателей охладителей типа *двухфазный термосифон* (ДТС) при их изготовлении и в процессе проведения технических осмотров и ремонтов преобразователей. Проведены испытания устройства для контроля качества ДТС.

Ключевые слова: полупроводниковый прибор, модуль, преобразователь, охлаждающее устройство, контроль качества.

Введение

Широкое внедрение эффективных охлаждающих устройств типа ДТС в электровозных полупроводниковых преобразователях сдерживается из-за отсутствия надежной методики и устройства контроля их качества при изготовлении и в процессе эксплуатации. Под качеством ДТС понимается нормированное заполнение их внутренней полости промежуточным теплоносителем, ее вакуумирование и герметизация. Нарушение хотя бы одной из трех перечисленных операций приводит к снижению эффективности работы охлаждающего устройства в 1,5–1,7 раза, к перегреву дорогостоящего полупроводникового прибора или модуля и в конечном счете – к потере работоспособности полупроводникового преобразователя [1].

1 Методика оценки качественных показателей ДТС при изготовлении и в процессе эксплуатации

На кафедре «Теплотехника и теплосиловые установки» ПГУПС разработана и практически использована при изготовлении ДТС для полупроводниковых преобразователей электровозов ВЛ65 и ЭП200 методика оценки качества готовых охладителей (а. с. № 1737247). Данная методика заключается в следующем. К испарителю ДТС прижимают любой источник теплоты (электронагреватель, газовую или спиртовую горелку и т. п.). Затем, после 2–3 мин нагрева, одновременно измеряют термоЭДС термопар в двух точках конденсаторной части, наиболее удаленных друг от друга. Этими точками на охладителе, например для модулей IGBT, будут следующие места:

- второе ребро конденсаторной части (или корпус между первым и вторым ребрами) в зоне поступления паров промежуточного теплоносителя из коллектора в конденсаторную часть;
- последнее наиболее удаленное от коллектора ребро конденсаторной части по диагонали от зоны поступления паров промежуточного теплоносителя (или корпус между предпоследним и последним ребрами).

Для измерения термоЭДС целесообразно использовать стандартные термопары градуировки ХК или ХА. Для быстрого крепления термопар к ребрам конденсаторной части при контроле качества ДТС лучше всего использовать анатомические хирургические каранцанги (щипцы) в количестве двух штук. Каранцанги необходимо переделать следующим образом для удобства применения для контроля качества ДТС: губки прогнуть под углом (в пламени ацетиленовой горелки) и заузить так, чтобы было удобно захватывать ребро в зоне его соединения с «телом» конденсатора, или так, чтобы захват с фиксацией каранцанги осуществлялся за неорребренную часть конденсатора, а фиксация производилась защелками на ручках; на одной из губок каждого каранцанга просверлить отверстие, через которое ввести термопару, а ее горячий спай припаять с наплывом мягкого олова (ПОС-60) к внутренней стороне губки.

После одновременного измерения термоЭДС в течение 2–3 с определяется показатель качества охладителя:

$$\Delta = \frac{e^{\text{макс}} - e^{\text{мин}}}{e^{\text{макс}}} 100\% , \quad (1)$$

где $e^{\text{макс}}$ – термоЭДС у первого ребра конденсатора;
 $e^{\text{мин}}$ – то же, у наиболее удаленного ребра.

Для исправных ДТС показатель качества Δ не должен превышать 6%. По показателю качества можно судить об исправности охладителя. Показатель качества Δ можно определить как по термоЭДС, так и по самой температуре, определенной по этим значениям термоЭДС, т. е.

$$\Delta = \frac{T^{\text{макс}} - T^{\text{мин}}}{T^{\text{макс}}} 100\% . \quad (2)$$

При этом не имеет значения, в какой момент времени определяется показатель качества ДТС Δ – при нагреве охладителя (нестационарный тепловой режим), после выхода на стационарный тепловой режим или при остывании охладителя после прекращения теплового воздействия (нестационарный тепловой режим).

2 Проведение испытаний устройства для контроля качественных показателей ДТС

Так как крепление термопар к измеряемой поверхности охладителя с помощью каранцангов отличается от традиционного, были проведены исследования величины погрешности измерения температуры. Эта погрешность возникает вследствие наличия перепада температур в зоне контакта олова с горячим спаем и конденсатора ДТС из-за незначительного теплового потока через тело каранцангов. Результаты исследований с использованием термопар градуировки ХА и цифрового комбинированного прибора Ф30 представлены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Погрешность измерения температуры с помощью устройства для крепления и фиксации датчиков температуры

Тип охладителя	$T_k, ^\circ\text{C}$	$T'_k, ^\circ\text{C}$	$\Delta T_k, ^\circ\text{C}$	$\delta, \%$	Вид теплового воздействия
Неисправный алюминиевый ДТС (сплав АЛ-4)	82,3	81,1	1,2	1,4	Нагрев ДТС
	89,2	88,7	0,05	0,05	
	100,2	98,0	2,2	2,2	
	105,5	103,1	2,4	2,2	
	106,5	104,1	2,4	2,2	
	88,3	86,6	1,7	1,9	Остывание ДТС
	76,8	75,1	1,7	2,2	
	74,3	73,9	0,4	0,5	
	43,6	43,1	0,5	1,1	
	Исправный алюминиевый ДТС (сплав АД-31)	97,8	95,8	2,0	2,0
112,1		109,8	2,3	2,0	
127,5		123,7	3,8	2,9	
101,0		99,5	2,0	1,0	Остывание ДТС
82,3		82,1	0,2	0,2	
72,0		71,8	0,2	0,3	

Примечания: 1. T_k – температура наружной поверхности конденсатора ДТС, измеренная при традиционном способе закрепления термопары.

2. T'_k – то же, с помощью устройства для контроля качества в этой же точке конденсатора.

$$3. \Delta T_k = T_k - T'_k. \quad 4. \delta = \frac{\Delta T_k}{T_k} 100\%.$$

Полученные данные показывают, что погрешность измерения температуры δ является незначительной (не превышает 3%) и зависит от величины измеряемой температуры: с увеличением температуры она возрастает. Учитывая тот факт, что абсолютная погрешность измерения температуры наружной поверхности конденсатора и эквивалентная ей термоЭДС входят в числитель и знаменатель уравнения показателя

качества и могут быть сокращены, можно сделать вывод об отсутствии ее влияния на величину показателя качества ДТС – Δ .

Испытания устройства для контроля качества проводились на различных конструкциях ДТС, при этом использовались как качественные, так и некачественные изделия. Охладители зажимались за испарительную часть в тиски с электрическими нагревателями, и определение показателя качества ДТС выполнялось с помощью устройства как при нагревании, так и при остывании охладителя совместно с тисками. Результаты испытаний представлены в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2. Результаты испытаний устройства для контроля качества ДТС

Тип охладителя	Нагрев ДТС		Остывание ДТС	
	Δ , %	$T^{\text{макс}}$, °С	Δ , %	$T^{\text{макс}}$, °С
Неисправный ДТС из сплава АЛ-4	33,5	74,1	14,8	86,6
	24,9	82,3	13,9	75,1
	22,6	89,2	14,3	74,3
	20,2	98,0	14,3	43,1
	20,1	103,1	15,1	30,4
Неисправный ДТС Т-образной формы из сплава АМ _ц	35,6	52,7	–	–
	30,4	59,6	–	–
	28,0	63,8	–	–
Исправный ДТС из сплава АД-31	5,1	97,8	4,4	98,5
	5,2	112,1	1,7	72,3
	5,5	123,5	–	–

3 Заключение

Полученные данные испытаний охладителей подтвердили ожидаемые результаты. Для исправных ДТС показатель качества не превышает 6%, для неисправных ДТС этот показатель значительно выше – 10%. Разработанное устройство для контроля качества ДТС является простым в эксплуатации, позволяет производить экспресс-контроль и отбраковывать изделия при изготовлении и проведении ТО или ремонта преобразователя.

Библиографический список

1. Буянов А.Б., Носков А.В., Исакеев А.И. Влияние степени заполнения двухфазных термосифонов теплоносителем на эффективность охлаждения силовых полупроводниковых приборов. – М.: Известия вузов. Энергетика. – 1984. – № 2. – С. 77–81.

2. А. с. № 1737247. Буянов А.Б., Киселев И.Г., Митрофанова И.В., Сулова К.Н., Жуков П.Л. и др. Способ контроля качества тепловой трубы.

УДК 629.423.31:621.314.2.6883

КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ, ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ И УЗЛОВ МЕТОДАМИ ИНФРАКРАСНОЙ ПИРОМЕТРИИ

Е.К. Галанов, А.В. Корнух

Аннотация

Температурный режим электротехнических, электромеханических и механических узлов и деталей, используемых на железной дороге, является важным показателем их экономичной и правильной работы. Исследованы метрологические вопросы бесконтактного измерения температуры объектов методами инфракрасной пирометрии. Показано, что предварительное измерение коэффициента излучательной способности объекта в рабочей области спектра пирометра позволяет определять температуру объекта с погрешностью не более 1°С в диапазоне температур от минус 30 до +600°С.

Ключевые слова: бесконтактный метод измерения температуры, инфракрасная пирометрия, теплообмен в электротехнических, электромеханических и механических изделиях.

Введение

В процессе работы электротехнических, электромеханических и механических узлов, используемых на железной дороге, происходит выделение тепла, что обуславливает уменьшение коэффициента полезного действия этих узлов, более быстрое их старение, может приводить к выходу этих узлов из строя и созданию аварийной обстановки. Контроль температуры электротехнических, электромеханических и механических элементов и узлов является актуальной задачей и осуществляется различными способами.

Инфракрасные пирометрические методы находят всё возрастающее применение, так как являются бесконтактными неразрушающими методами. Эти методы эффективны при контроле деталей и узлов в широком диапазоне температур от минус 30 до +600°С, в случае контроля труднодоступных поверхностей, быстропротекающих процессов и движущихся объектов. Выпускаемые цифровые инфракрасные пирометры обеспечивают высокую локальность и чувствительность измерений.

Расширение сферы применения инфракрасных пирометров связано с решением некоторых методических и метрологических вопросов. Точность измерения температуры поверхности объекта зависит от алгоритма, заложенного в основу обработки результатов измерений (инфракрасного потока излучения исследуемого объекта), а также от

вводимых констант, основной из которых является излучательная способность объекта.

1 Связь эффективной и истинной температур при пирометрических измерениях

Настоящая работа посвящена метрологическим вопросам измерения температуры деталей и узлов инфракрасными пирометрами. Использовались пирометры ST25 и ST60, работающие в инфракрасной (ИК) области спектра $\lambda = 8 \dots 14$ мкм. Диапазон измеряемых температур от минус 30 до +600°C, расстояние до исследуемого объекта 0,15–10 м, предельное разрешение 0,01 м. Пирометры ST25 и ST60 позволяют проводить измерения температуры объекта при температуре окружающей среды 0...50°C, движение и нагрев воздуха не оказывают влияния на точность измерения температуры объекта.

В ИК-пирометрах, подобных ST25 и ST60, в качестве приёмников ИК-излучения используются, как правило, болометры (чувствительные элементы которых представляют собой тонкие, $d < 1$ мкм, металлические полоски) или пироэлектрические приёмники. Для того чтобы температура окружающей среды (и, следовательно, чувствительного элемента пирометра) не влияла на результаты измерений ИК-потока излучения объекта, в приборах используется мостовая схема. В двух плечах моста применяются элементы с одинаковой чувствительностью к изменению температуры, что позволяет скомпенсировать электрический сигнал, снимаемый с моста, когда температура пирометра (как и окружающей среды) изменяется в пределах рабочих температур $T_0 = 0 \dots 50^\circ\text{C}$.

В приборе измеряется параметр чувствительного элемента при температуре окружающей среды T_0 , что служит основой для введения значения T_0 при обработке результатов измерений.

В приборе ST25 коэффициент излучательной способности объекта всегда задаётся в виде константы $\varepsilon = 0,95$. В этом случае прибор, измеряя поток ИК-излучения, показывает эффективную температуру $T_э$, отличную от истинной температуры объекта $T_и$. Взаимная связь $T_и$, $T_э$, T_0 и ε в пирометре определяется на основании закона излучения нагретого тела – формулы Планка [1].

$$\varepsilon \left[\int_{\nu_1}^{\nu_2} \frac{2\pi h \nu^3}{c^2} \frac{d\nu}{\exp(h\nu/kT_и) - 1} - \int_{\nu_1}^{\nu_2} \frac{2\pi h \nu^3}{c^2} \frac{d\nu}{\exp(h\nu/kT_0) - 1} \right] =$$

$$= \left[\int_{\nu_1}^{\nu_2} \frac{2\pi h \nu^3}{c^2} \frac{d\nu}{\exp(h\nu/kT_э) - 1} - \int_{\nu_1}^{\nu_2} \frac{2\pi h \nu^3}{c^2} \frac{d\nu}{\exp(h\nu/kT_0) - 1} \right], \quad (1)$$

где $\nu_1 - \nu_2$ – рабочая область спектра пирометра; h – постоянная Планка;
 c – скорость света в вакууме.

При измерении в диапазоне температур 10...100°C в приближении второго порядка малости соотношение (1) позволяет определить связь величин $T_{и}$, $T_э$, T_0 и ε в форме

$$\varepsilon(T_{и} - T_0)T_э = (T_э - T_0) T_{и}, \quad (2)$$

где $T_{и}$ и $T_э$ – истинная и эффективная абсолютные температуры объекта;

T_0 – абсолютная температура атмосферы (все температуры – в градусах Кельвина).

При работе с любым ИК-пирометром необходимо знать коэффициент излучательной способности тела, который может иметь значения в пределах $\varepsilon = 0...1$ ($\varepsilon = 1$ – коэффициент излучательной способности абсолютно чёрного тела). Коэффициент излучательной способности можно определить теоретически в случае полированной поверхности (размеры шероховатости исследуемой поверхности существенно меньше длины волны излучения рабочей области спектра, т. е. $\lambda_1... \lambda_2$), если известны оптические постоянные (n и k) объекта, излучательная способность которого определяется.

Если образец не пропускает излучение (в ИК-области спектра $\lambda = 8...14$ мкм это имеет место при толщинах образцов 10...100 мкм), то поток излучения $J_0 = 1$, падающий на образец,

$$1 = A + R, \quad (3)$$

где A – поглощательная способность образца; R – коэффициент отражения.

Коэффициент излучательной способности тела $\varepsilon = A$ находится из соотношения

$$\varepsilon = 1 - R. \quad (4)$$

Для полированной поверхности имеем [2]

$$R = \frac{n - 1^2 + k^2}{n + 1^2 + k^2}. \quad (5)$$

где n и k – показатели преломления и поглощения материала.

Из (4) и (5) следует:

$$\varepsilon = 1 - \frac{n - 1^2 + k^2}{n + 1^2 + k^2}. \quad (6)$$

Рассчитанные по формуле (6) величины излучательной способности некоторых материалов (для полированной поверхности) представлены в таблице; значения n и k взяты из работы [3].

2 Экспериментальные исследования излучательной способности материалов

При увеличении шероховатости поверхности, когда размеры шероховатости становятся сопоставимыми и больше длины волны излучения рабочей области спектра пирометра, коэффициент излучательной способности тела в этой области спектра возрастает, так как от каждого элемента поверхности исходит не только собственное излучение нагретой поверхности, но и излучение, исходящее от других участков этой поверхности и отражённое данным элементом. В общем случае для шероховатой поверхности тела (особенно произвольной формы) коэффициент излучательной способности ε можно определить только экспериментально.

В настоящей работе проведены экспериментальные исследования излучательной способности поверхностей тел, изготовленных из алюминия, стали и кварца.

Исследуемые образцы помещались в термостат, их температура $T_{и}$ контролировалась с точностью $0,5^{\circ}\text{C}$. Эффективная температура $T_{и}$ образца измерялась с помощью пирометра ST25 (ST60) при расчётном $\varepsilon = 0,95$. На основании соотношения (2) находились значения коэффициента излучательной способности ε . В таблице приведены значения ε для образцов, изготовленных из различных материалов, определённые на основании экспериментальных измерений, и расчётные значения ε полированных поверхностей.

ТАБЛИЦА. Коэффициенты излучательной способности материалов

Материал	Температура, $^{\circ}\text{C}$	$\varepsilon_{\text{экспер}}$	$\varepsilon_{\text{расч}}$	ε^*
Алюминий полированный	20–200	0,023	0,02	–
Алюминий, шлифовка и грубая обработка	–	0,3–0,5	–	–
Сталь нержавеющая полированная	–	0,6	0,04	–
Сталь нержавеющая, шлифовка и грубая обработка	–	0,5–0,6	–	–
Кварц	–	0,91–0,94	–	–
Медь полированная	–	–	–	0,02
Медь, грубая обработка	–	–	–	0,2–0,3
Краска масляная	–	–	–	0,92–0,96
Лак эмалевый	–	–	–	0,85–0,95
Резина	–	–	–	0,95

Примечание. Значение ε^* взято из [1].

3 Заключение

Для определения температуры объекта бесконтактным методом инфракрасной пирометрии необходимо знать величину коэффициента излучательной способности ε материала объекта. Знание ε с точностью 0,01 гарантирует погрешность определения температуры не более 1°C. В случае полированных поверхностей коэффициент излучательной способности материала может быть рассчитан при наличии данных о показателе преломления и поглощения материала в рабочей области спектра пирометра. Для неполированных поверхностей (металлов и диэлектриков) коэффициент излучательной способности можно определить только экспериментально.

Библиографический список

1. Левитин И.Б. Инфракрасная техника. – Л.: Энергия, 1973.
2. Азам Р., Башара Н. Эллипсометрия и поляризованный свет. – М.: Мир, 1981.
3. Золотарёв В.М., Морозов В.Н., Смирнова Е.В. Оптические постоянные природных и технических сред. – Л.: Химия, 1984.

УДК 531.4

О ДВИЖЕНИИ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ ПО ШЕРОХОВАТОЙ ПОВЕРХНОСТИ

В.С. Доев, Ф.А. Доронин

Аннотация

Рассматривается движение материальной точки по произвольной шероховатой поверхности. На точку, помимо заданных сил, действует сила сухого трения. Составлены матричные дифференциальные уравнения движения точки по поверхности с изотропным и произвольным анизотропным трением. В качестве примера изучено движение точки по поверхности двуполостного гиперboloида для случаев изотропного и анизотропного трения.

Ключевые слова: сухое трение, изотропное трение, матрица градиента, анизотропная шероховатая поверхность, линии анизотропии, множители Лагранжа.

Введение

Движение материальной точки по изотропной шероховатой плоскости под действием заданных сил и силы сухого трения достаточно хорошо изучено. Кроме задач о движении материальной точки, в литературе [1] приводится решение ряда задач, связанных с движением твердого тела по шероховатой плоскости с изотропным трением. Вопрос об анизотропном трении поставлен в статье [2], его изучение продолжено в работе [3]. Во

всех этих задачах рассматривались случаи, когда нормальная реакция опорной плоскости при движении точки (тела) оставалась постоянной.

В статье решается более общая задача о движении точки по произвольной изотропной и анизотропной шероховатым поверхностям.

1 Движение точки по поверхности с трением

Рассмотрим движение материальной точки по шероховатой поверхности, заданной уравнением $F(x, y, z) = 0$, являющимся уравнением связи для точки. Это уравнение в матричной форме можно записать в виде:

$$F(r) = 0, \quad (1)$$

где $r^T = x, y, z$ – матрица координат точки;

T – индекс транспонирования.

При решении задачи используем неопределенные множители Лагранжа. Дифференциальное уравнение движения точки по связи:

$$m\ddot{r} = \sum_i P_i + \lambda \cdot \frac{d}{dr} F(r) + P_{tr}. \quad (2)$$

Здесь m – масса точки; λ – неопределенный множитель Лагранжа; P_{tr} – матрица силы трения.

Матрица градиента поверхности скольжения определяется частными производными по координатам от функции $F(x, y, z) = 0$:

$$\frac{d}{dr} F(r) = \begin{bmatrix} F'_x \\ F'_y \\ F'_z \end{bmatrix},$$

где $F'_x = \frac{\partial}{\partial x} F(x, y, z)$; $F'_y = \frac{\partial}{\partial y} F(x, y, z)$; $F'_z = \frac{\partial}{\partial z} F(x, y, z)$.

Поверхность, по которой движется точка, может иметь изотропное или анизотропное сухое трение. При изотропном трении коэффициент трения не меняет своего значения при изменении направления движения по поверхности. Поверхность с изотропным трением выполнена из одного материала и имеет одинаковую чистоту обработки.

В случае анизотропного трения имеется направление движения с минимальным значением коэффициента трения и направление, где коэффициент трения максимален. Анизотропные (в смысле трения) поверхности могут быть выполнены из разных материалов с различной

чистотой обработки. Неоднородные по структуре материалы тоже могут иметь анизотропию трения. Ярким примером материала с анизотропным трением является древесина. На поверхности деревянной доски коэффициенты трения существенно отличаются при движении вдоль и поперек волокон.

2 Движение точки по поверхности с изотропным трением

При изотропном трении матрица силы трения определяется выражением:

$$P_{tr} = -f \cdot |N| \cdot i_v,$$

где i_v – орт вектора скорости точки; $|N|$ – модуль матрицы нормальной реакции поверхности.

Матрица нормальной реакции поверхности пропорциональна матрице градиента с коэффициентом пропорциональности λ :

$$N = \lambda \cdot \frac{d}{dr} F(r) .$$

Модуль нормальной реакции равен норме матрицы N :

$$|N| = |\lambda| \cdot \left| \frac{d}{dr} r F(r) \right| = |\lambda| \cdot \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} .$$

При изотропном трении направление силы трения, как следует из закона Кулона, противоположно направлению вектора скорости.

Определим матрицу орта скорости:

$$i_v = \frac{1}{|v|} \cdot v = \frac{1}{\sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} .$$

Модуль силы трения:

$$|P_{tr}| = f \cdot |N| = f \cdot |\lambda| \cdot \sqrt{(F'_x)^2 + (F'_y)^2 + (F'_z)^2} .$$

Подставим выражение для силы трения в формулу (2) и получим матричное дифференциальное уравнение движения точки по поверхности с изотропным трением:

$$m\ddot{r} = \sum_i P_i + \lambda \cdot \frac{d}{dr} F(r) - \frac{f}{v} \cdot |\lambda| \cdot \left| \frac{d}{dr} F(r) \right| \cdot \dot{r}. \quad (3)$$

Для определения множителя λ дважды про дифференцируем по времени уравнение связи (1):

$$\dot{r}^T \cdot \left(\frac{d^2}{dr^2} F(r) \right)^T \cdot \dot{r} + \left(\frac{d}{dr} F(r) \right)^T \cdot \ddot{r} = 0. \quad (4)$$

Здесь

$$\frac{d^2}{dr^2} F(r) = \begin{bmatrix} F''_{x,x} & F''_{x,y} & F''_{x,z} \\ F''_{x,y} & F''_{y,y} & F''_{y,z} \\ F''_{z,x} & F''_{z,y} & F''_{z,z} \end{bmatrix},$$

где $F''_{s,u} = \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{\partial}{\partial u} F(u, s, p) \right)$.

Умножим уравнение (4) на массу m и вместо $m\ddot{r}$ подставим правую часть уравнения (3). Тогда после преобразований получим:

$$\lambda = \frac{-1}{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \cdot \left[m \cdot \dot{r}^T \cdot \left(\frac{d^2}{dr^2} F(r) \right)^T \cdot \dot{r} + \left(\frac{d}{dr} F(r) \right)^T \cdot \sum_i P_i \right]. \quad (5)$$

Интегрируя уравнение (2) с множителем Лагранжа (5), находим уравнение движения материальной точки по поверхности с изотропным трением.

3 Движение точки по поверхности с анизотропным трением

Будем считать, что в общем случае анизотропная шероховатая поверхность покрыта множеством кривых (кривые анизотропии). Семейство таких кривых можно получить пересечением семейства поверхностей анизотропии $L(x, y, z) = C$ с поверхностью скольжения $F(x, y, z) = 0$, где C – некоторая константа. При движении вдоль кривой анизотропии коэффициент трения в направлении касательной к кривой имеет значение f_τ , а при движении в направлении нормали к кривой – значение f_n .

Представим матрицу силы анизотропного трения как сумму матриц касательной и нормальной составляющих силы анизотропного трения:

$$P_{tr} = P_{tr\tau} + P_{trn},$$

где $P_{tr\tau} = -f_\tau \cdot |N| \cdot i_\tau^T \cdot i_\nu \cdot i_\tau$ – касательная составляющая силы трения;

$P_{trn} = -f_n \cdot |N| \cdot i_n^T \cdot i_\nu \cdot i_n$ – нормальная составляющая силы трения.

Подставляя значение силы анизотропного трения

$$P_{tr} = -f_{\tau} \cdot |N| \cdot i_{\tau}^T \cdot i_v \cdot i_{\tau} - f_n \cdot |N| \cdot i_n^T \cdot i_v \cdot i_n \quad (6)$$

в выражение (2), получаем матричное дифференциальное уравнение движения точки по анизотропной поверхности.

В качестве иллюстрации рассмотрим два примера: движение точки по поверхности с изотропным и анизотропным трением.

Пусть материальная точка под действием силы тяжести движется по поверхности двуполостного гиперболоида. Требуется построить графики зависимостей координат точки и проекций её скорости от времени, а также построить траекторию точки.

Исходные данные

Начальные условия: $x_0 = 2,6$ м; $y_0 = 1,3$ м; $z_0 = 4,34$ м; $\dot{x}_0 = 1,2$ м/с; $\dot{y}_0 = -2,5$ м/с; $\dot{z}_0 = -0,866$ м/с;

уравнение двуполостного гиперболоида: $\left(\frac{x}{a}\right)^2 + \left(\frac{y}{b}\right)^2 + \left(\frac{z}{c}\right)^2 + 1 = 0$;

уравнение кривых анизотропии: $z(x, y) = \left(\frac{x}{a}\right)^2 + \left(\frac{y}{b}\right)^2 - \frac{1}{c^2} \left[\left(\frac{x}{a_1}\right)^2 - \left(\frac{y}{b_1}\right)^2 \right]^2$;

$a = 6$ м; $b = 3$ м; $c = 3,7$ м; $a_1 = 1,5$ м; $b_1 = 1,2$ м; $f = 0,13$; $f_{\tau} = 0,12$; $f_n = 0,35$.

Решение задачи сводится к численному интегрированию уравнения (2) с учетом формул (5) и (6) при заданных начальных условиях. Для сравнения результаты расчетов сведены в таблицу.

4 Заключение

Предложенная методика позволяет решать задачи о движении материальной точки по произвольной шероховатой поверхности с любой структурой анизотропии с учетом зависимости силы трения от ускорения точки.

Расчеты показывают, что анизотропия трения оказывает влияние на движение точки по шероховатой поверхности. При анизотропном трении изменяются траектория, графики зависимостей координат и проекций ее скорости от времени. Наличие анизотропного трения может оказывать существенное влияние на работу измерительных приборов и точных механизмов. В частности, в случае изотропного трения в рассмотренном примере точка останавливается при $\tau_1 = 4,5$ с, при анизотропном – быстрее, при $\tau_2 = 4,1$ с.

ТАБЛИЦА. Сравнение результатов решения дифференциального уравнения движения точки при изотропном и анизотропном трении

Наименование графиков	Изотропное трение	Анизотропное трение
Зависимости координат точки от времени		
Зависимости проекций скорости точки от времени		
Траектория точки		

Библиографический список

1. **Киреев А.А.** О движении однородного вращающегося диска по плоскости в условиях комбинированного трения // Известия АН. Механика твердого тела. – 2002. – № 1. – С. 60–67.

2. **Минкин Ю.Г., Доронин Ф.А.** О законах Кулона при анизотропном трении // Сб. научно-методических статей по теоретической механике. – М., 1988. – Вып. 19. – С. 107–111.

3. **Дмитриев Н.Н.** Скольжение стержня со смещенным центром тяжести по горизонтальной плоскости с учетом сил анизотропного трения // Материалы докладов на международной научно-практической конференции «Четвертые Окуневские чтения». – СПб.: СПбГУ, 2004.

Путевые работы

УДК 625.143

ОБОСНОВАНИЕ ПРИЧИН И РАЗРАБОТКА СПОСОБА РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ ВОЗМОЖНОГО ИЗЛОМА РЕЛЬСА В ЗОНЕ АЛЮМОТЕРМИТНЫХ СТЫКОВ

Л.С. Блажко, Е.В. Ермолаев

Аннотация

Согласно приложению № 2 «Концепции реформирования путевого комплекса», утвержденной Постановлением Коллегии МПС РФ № 3 от 14.03.2001, бесстыковой путь является конструкцией, позволяющей провести структурные изменения в путевом хозяйстве. Для удлинения плетей бесстыкового пути на железных дорогах Российской Федерации применяют разные способы сварки. Все сварные рельсовые стыки проверяют непосредственно после сварки с применением разных методов неразрушающего контроля. Чаще всего дефекты появляются в швах, выполненных дуговой и термитной сваркой, то есть оплавлением. Ранняя диагностика возможного излома рельса в зоне алюмотермитных стыков позволит повысить надежность выявления зарождающихся дефектов и уменьшить число разрушений сварных рельсовых стыков.

Ключевые слова: алюмотермитная сварка, диагностика, излом, структуры металла, средства дефектоскопии, неразрушающий контроль.

Введение

В настоящее время для сварки рельсов в стационарных и путевых условиях на железных дорогах мира применяют пять основных способов, наиболее распространенным среди которых в России остается электроконтактная сварка оплавлением с использованием сварочных машин, разработанных Институтом электросварки им. Патона. Этот способ обеспечивает достаточное качество сварного соединения, но требует специальных сварочных машин, большого количества обслуживающего персонала, выделения путевой бригады рабочих, предоставления «окон» для транспортировки машин и производства работ. Эти технологические трудности при электроконтактной сварке становятся особенно очевидными на скоростных участках на стрелочных переводах, где необходимо точное соблюдение технологий для получения требуемых физико-технических характеристик металла в зоне сварного шва.

Из всех используемых способов сварки стрелочных переводов в рельсовые плети наиболее пригодным является алюмотермитный способ. Он отличается большой гибкостью применения и позволяет в большинстве случаев проводить сварку в короткие технологические «окна». При

ликвидации рельсовых стыков не только внутри стрелочного перевода, но и на примыкающих участках бесстыкового пути алюмотермитная сварка просто незаменима. Полигонные испытания сварных соединений, осуществленных по технологии алюмотермита, доказали это вполне убедительно.

1 Целесообразность использования алюмотермитного способа сварки

1.1 Область использования

Алюмотермитная сварка зарекомендовала себя на железнодорожном транспорте зарубежных стран достаточно давно. Данный способ используется для восстановления целостности рельсовых цепей, вварки стрелочных переводов в плети бесстыкового пути, ликвидации дефектов производственного и технологического характера в рельсах, что технически и экономически выгодно.

В связи с массовым внедрением на российских железных дорогах стрелочных переводов на железобетонных брусьях крайне актуальными становятся вопросы содержания стыков в пределах стрелочных переводов из-за повышенной по сравнению с деревянными брусьями жесткости подрельсового основания. Нормативная база, существующая на данный момент, позволяет производить работы по вварке стрелочных переводов алюмотермитным способом. Однако при работах по удлинению плетей бесстыкового пути до длины блок-участка и перегона, а также при укладке бесстыкового пути на станциях и искусственных сооружениях потребуется пересмотреть технические нормы и требования на производство работ, а в ряде случаев – разработать их заново.

1.2 Полигонные испытания

В течение нескольких лет на экспериментальном кольце ВНИИЖТа проходили полигонные испытания стыков, сваренных алюмотермитным способом. В данном эксперименте принимали участие представители зарубежных фирм «Снага» (Чехия), «Электро-Термит» (Германия), «Рельтех» (Великобритания). Полученные в результате проведенных опытов данные [1] позволяют говорить о высоких физико-технических показателях готовой продукции. Данные полигонных испытаний представлены в таблице.

Исследования показали, что внедрение технологии алюмотермитной сварки в пределах стрелочного перевода позволяет сократить эксплуатационные затраты до 35% и продлить сроки службы сварного шва в 1,5 раза (относительно стрелочного перевода).

Временные затраты около 45...50 минут (как правило, работа выполняется без закрытия перегона), проведение работ бригадой из трех человек, относительно невысокий вес оборудования и мобильность бригады сварщиков, а также апробированные и соответствующие

действующим ТУ технологии позволяют утверждать: проблема бесстыкового пути в части стрелочных переводов имеет решение.

ТАБЛИЦА. Физико-технические показатели алюмотермитного стыка

Показатель	Величина	
	фактическая	нормативная
Максимальный износ в шве при пропуске 625 млн. т брутто	0,3 мм	–
Твердость (НВ) при 10–15 тыс. т пропущенного тоннажа	Сопоставима с твердостью основного рельса (разница 2–4%)	–
Статический изгиб (растяжения в подошве)	Разрушающая нагрузка 160–165 т	150 т
	Стрела прогиба 24–26 мм	20 мм

2 Обоснование причин необходимости разработки способа ранней диагностики возможного излома рельса в зоне алюмотермитных стыков

2.1 Обоснование причин

Информация, полученная из научно-технических публикаций, позволяет утверждать, что излом стыков алюмотермитной сварки в зоне термического влияния сварного шва, как правило, происходит без видимых на то причин. Существует предположение, что в момент производства сварочных работ алюмотермитным способом под воздействием высоких температур происходят изменения в структуре металла, которые зачастую ведут к образованию микропор. В технике литья, в том числе и при термитной сварке, усадка компенсируется из прибыли, которая должна быть правильно расположена и рассчитана. Только в этом случае образуется свободная от микропор структура.

В настоящий момент нет достоверных данных о возможном месте расположения структурных изменений металла в виде микропор, происходящих в температурном диапазоне между 1200 и 1400°С, то есть в интервале кристаллизации.

Как следует из опыта эксплуатации стыков алюмотермитной сварки на железных дорогах Латвии и Литвы, из восьми изломов два приходится на зоны термического влияния, а не на зону шва. Это косвенно подтверждает, что причиной излома в зоне термического влияния сварного шва являются:

хрупкие изломы в сварных стыках в главном пути без видимых дефектов (в зоне термического влияния);

более низкая прочность и пластичность сварных стыков;

влияние внешних и внутренних факторов на изменения, происходящие в сварном шве после ввода его в эксплуатацию.

2.2 Ранняя диагностика возможного излома рельса в зоне алюмотермитных стыков

При эксплуатации сварных стыков контроль за их состоянием осуществляется визуально [2] и дефектоскопными средствами с периодичностью, предусмотренной для осмотров стрелочных переводов.

Если при электроконтактном способе прочностные характеристики стыков, сваренных за одну смену, практически идентичны, то при алюмотермитном способе структура металла стыков по прочностным характеристикам может существенно различаться. В связи с этим общепринятый способ оценки прочностных характеристик стыков электроконтактной сварки по результатам излома контрольных образцов будет мало приемлемым для оценки прочности стыка при алюмотермитной сварке.

В настоящее время для выявления внутренних дефектов в стыках используются методы ультразвуковой дефектоскопии [3]. Однако методы неразрушающего контроля для выявления зон с нестабильностью прочностных характеристик в сварных стыках алюмотермитной сварки отсутствуют. Известны методики оценки прочностных характеристик металла конкретных марок с использованием акустических и магнитных методов неразрушающего контроля. Разработка способа ранней диагностики позволит оценивать выносливость стыков алюмотермитной сварки, а также прогнозировать процессы образования дефектов.

Способ ранней диагностики предполагает:

использование типового (специализированного) дефектоскопа для прогнозирования процессов образования дефектов;

сравнение уровней шумов структуры металла на различных частотах готового стыка с эталонными значениями предварительно проверенных ультразвуком стыков, прошедших испытания на излом.

3 Заключение

На японских железных дорогах для контроля алюмотермитных стыков используется метод двухщупового зондирования [3]. Данный метод основан на ультразвуке и выполняется методом наклонного луча с использованием щупов-преобразователей, установленных под углом 45 градусов к поверхности рельса с двух сторон. В результате его использования были сделаны следующие выводы:

большинство дефектов швов, выполненных алюмотермитной сваркой, – поперечные дефекты, вызванные неоднородностями в сварном шве в зоне подошвы рельса;

метод двухщупового зондирования эффективен для выявления опасных неоднородностей в рельсовых стыках, таких как неполное проплавление и усадочные трещины;

после внедрения способа в качестве средства контроля непосредственно после сварки число разрушений сварных швов уменьшилось.

Однако использование данного способа не позволяет с точностью, требуемой для обеспечения безопасности и безаварийности железнодорожного транспорта, говорить о нем, как о единственно возможном решении вопроса определения целостности рельсов и рельсовых плетей, сваренных алюмотермитным способом. Применительно к системе неразрушающего контроля рельсов России это приведет к увеличению количества контрольных проходов без существенных изменений в качественной составляющей.

Неразрушающий контроль рельсовых стыков, изготовленных алюмотермитной сваркой, для условий России требует разработки методики оценки вероятности появления дефектов в зоне алюмотермитных стыков, позволяющей определять наиболее вероятные причины, приводящие к нарушению целостности рельсовой цепи при конкретных эксплуатационных условиях работы конструкции пути (скорость, осевая нагрузка, грузонапряженность, годовая температурная амплитуда, режим ведения поезда и другие).

Библиографический список

1. **Коненков В.И.** Алюмотермитная сварка // Евразия. Вести. – 2003. – № 9. – С. 22.
2. **Косарев Л.Н., Газизова Г.Г.** Усовершенствование систем неразрушающего контроля // Евразия. Вести. – 2003. – № 9. – С. 16–17.
3. **Харрис У.Дж., Захаров С.М., Ландгрэн Дж., Турне Х.** Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса. – М.: Интекст, 2002. – 408 с.

УДК 621.873/.875(031)

КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ СОСТЯНИЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПУТЕВЫХ И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Я.С. Ватулин

Аннотация

Рассматриваются вопросы повышения производительности и безопасности эксплуатации свободностоящих грузоподъемных средств путем использования алгоритма кластеризации состояний объекта в системе управления бортового процессора.

Ключевые слова: сенсорные средства диагностики, кластеризация образов состояний объекта, интеллектуальные системы управления.

Введение

Эффективность эксплуатации путевых и строительно-дорожных машин наряду с показателями объемов выполненных работ определяется также степенью обеспечения безопасности рабочего цикла, недопущением возникновения аварийных ситуаций, снижением последствий возможных аварий.

Рынок современного промышленного производства грузоподъемных средств ставит приоритетной задачей повышение показателей грузовысотных характеристик, расширения зоны обслуживания, быстроты позиционирования и маневрирования грузом. Оснащение гидроприводом исполнительных систем свободстоящих грузоподъемных средств существенно расширяет их эксплуатационные возможности. Вместе с тем неуклонная тенденция роста объемов контролируемой информации, возлагаемой на машиниста, вынуждает принимать меры, направленные на создание мониторинговых подсистем, которые позволят осуществить предварительную обработку (адаптацию) первичной телеметрической информации, классификацию информации по значимости с точки зрения безопасности эксплуатации, представление в виде интегрированного параметра признака состояния системы; прогнозирование развития событий, реализацию стабилизирующего воздействия на систему в экстремальной ситуации.

1 Обзор сенсорных средств грузоподъемных установок

В России установка бортовых процессоров на грузоподъемные средства началась с определенным опозданием по сравнению с зарубежными производителями. Этим обстоятельством обусловлена концепция развития материальной базы автоматизированного управления и идеология направления. В настоящее время наблюдается «переходный» период в развитии устройств безопасности на грузоподъемных средствах – современное быстродействующее средство управления взаимодействует с морально устаревшими периферийными электромеханическими средствами сбора информации, что приводит к ограничению потенциальной функциональности системы и снижает ее производительность и надежность в целом.

Применяемый в настоящее время приборный комплекс средств безопасности изначально ориентирован на взаимодействие с машинистом, как замыкающим звеном цепи управления. Между тем существует ограничение по числу воспринимаемых каналов информации человеком (не более трех), скорости реакции на события (варьируемый в весьма широких пределах параметр), относительности пространственного восприятия оператором собственного местоположения (при вращении машинист не контролирует отклонение от горизонтального положения грузоподъемной установки).

Существенным ограничивающим фактором для свободстоящего грузоподъемного средства является его пространственное угловое

положение, которое не должно превышать 3 град от горизонтали (по требованиям Госгортехнадзора). Для контроля данного параметра в настоящее время применяется гидравлический креномер. Очевидно, что в процессе работы внимание машиниста полностью сосредоточено на перемещаемом грузе, поэтому трудно гарантировать, что этот фактор действительно эффективно контролируется. В определенной степени эту проблему решает наличие в цепи управления интерактивного креномера (систем акселерометров или гравитационного маятника). Однако известно, что грузоподъемное устройство, установленное в строго горизонтальном положении, может находиться на пределе устойчивого состояния. Таким образом, данный контролируемый параметр не определяет устойчивость установки однозначно.

Эффективная система контроля устойчивого положения машины может быть осуществлена посредством использования адаптивных алгоритмов, осуществляющих анализ характера распределения нагрузки на устройства опирания, что позволяет системе прогнозировать случаи опасного снижения устойчивости грузоподъемной установки, контролировать колебания и отклонения грузозахватного устройства из плоскости стрелы, исключая нештатные режимы нагружения несущей металлоконструкции. Такое программное обеспечение системы не зависит от конкретных конструкций исполнительных устройств, их геометрии, а также не требует периодического поддержания параметров настройки в процессе эксплуатации.

При производстве монтажных работ на значительных высотах с грузами, имеющими большую наветренную площадь, одним из определяющих факторов безопасной эксплуатации становится контроль нагрузки от давления воздушного потока. Используемые в настоящее время конструкции анемометров имеют ряд существенных недостатков: не позволяют определить направление воздушного потока; представляют усредненное значение скорости воздушного потока без учета величин порывов ветра; имеют уязвимое механическое устройство, что затрудняет их эксплуатацию в сложных климатических условиях. С использованием современных средств микроэлектроники устройство для контроля данного параметра может быть реализовано с помощью двух датчиков фирмы Siemens (типа М85), представляющих собой самонагревающиеся терморезисторы на основе титаната бария.

К недостаткам применяемых в настоящее время устройств координатной защиты исполнительных систем грузоподъемных машин (ОНК-140, Prise, Robotron) можно отнести зависимость программного обеспечения от конкретного конструктивного исполнения рабочего оборудования, необходимость периодической настройки; оперативность и уровень ошибки при вводе информации; невозможность работы в условиях наличия препятствий типа «выступ», работы стреловым оборудованием в

«проем», отсутствие какой-либо координатной защиты перемещаемого груза; наличие в составе системы ненадежных механических конструктивных компонентов. Все перечисленные задачи решает устройство на основе дальномера сканирующего типа.

Логика построения системы безопасности свободностоящего грузоподъемного средства предполагает наличие в системе процессор – периферийные сенсорные устройства иного, более целесообразного с точки зрения использования процессорного управления приборного комплекса. Таким образом, появление в структуре управления бортового процессора предполагает смену поколения периферийных сенсорных устройств, которые должны соответствовать интерфейсным параметрам самого бортового процессора.

2 Кластеризация образов состояний объекта

Важным аспектом задачи обеспечения безопасности производства работ грузоподъемными кранами является формирование модели эталонного (безопасного) состояния машины в условиях реальной эксплуатации. Поскольку меняются критерии определения опасного состояния машины, должен меняться и характер реакции на нештатное развитие событий. В настоящее время используется детерминистский способ задания безопасного состояния с помощью «заградительных» характеристик, когда предельно допустимые значения контролируемых параметров задаются в «табличной» форме и в виде массива данных хранятся в памяти компьютера. Существующие приборные комплексы мониторинговых систем (ОНК-140, Prise и др.) имеют концепцию построения следящей системы: регистрация отклонений значений контролируемых параметров и блокирование рабочих операций в случае превышения допустимых значений отклонений.

Данный подход обладает значительным недостатком: отсутствует возможность анализа системой текущей телеметрической информации в комплексе и, следовательно, своевременного определения тенденции опасного развития событий (инертность реакции системы). В реальных условиях эксплуатации грузоподъемная установка практически всегда работает в условиях неопределенности, когда имеется лишь некоторая фрагментарная априорная информация о природе внешних возмущающих факторов, действующих на объект. Для управления объектом в условиях неопределенности применяют экстремальные интеллектуальные системы управления, осуществляющие поиск и поддержание параметров для наиболее выгодного режима работы. Основными способами построения интеллектуальных систем является применение технологии экспертных систем, ассоциативной памяти и др. Общий принцип работы интеллектуальных систем управления – классификация состояния системы (кластеризация образов состояний) и формирование управляющих воздействий на основе знаний, которые заложены в них.

Идея управления кластеризацией образов состояний заключается в фиксации значащих параметров входного информационного потока сенсоров непосредственно перед аварийной ситуацией с целью использования этой информации для прогноза негативного развития событий в будущем и принятия упреждающих действий для их предотвращения (классификация вектора входной информации по признакам опасной ситуации).

В данной интерпретации для системы управления поток входных данных сенсоров представляет собой совокупность образов, разделение которых на кластеры должно удовлетворять следующим требованиям: образы внутри одного кластера подобны; подобные кластеры должны размещаться близко друг от друга (в евклидовом пространстве). Если для каждого кластера рассмотреть вектор, определяемый центроидом (точкой, соответствующей усредненной характеристике размещения всех образов в кластере), то решение о том, какому из кластеров принадлежит вектор данных, определяется значением, возвращающим индекс с наименьшим квадратом расстояния до вектора – центроида. Эти векторы могут рассматриваться как прототипы кластеров (представления ключевых признаков кластера).

Алгоритм кластеризации представляет собой статистическую процедуру выделения групп из имеющегося набора данных. Каждый вектор из набора данных связывается с ближайшим к нему прототипом и новыми прототипами, которые становятся центроидами всех векторов, связанных с исходным прототипом. Для получения более детальной характеристики набора данных кластер представляется несколькими прототипами. Для гарантированного распознавания кластера необходимо располагать сведениями о положении всех прототипов относительно друг друга. Основная проблема состоит в определении оптимального числа кластеров, поскольку малое число кластеров упускает важные составляющие интерпретируемой информации, но и слишком большое число кластеров приведет к отсутствию какой-либо итоговой информации.

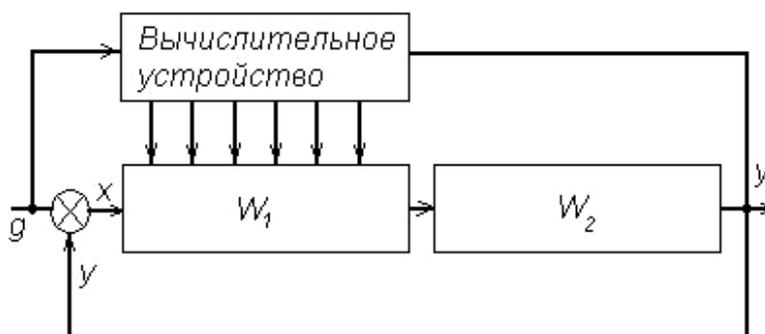
Алгоритм, реализующий кластерный анализ входного потока данных, был предложен в [1] в качестве самоорганизующей карты признаков, которая интерпретирует весовые значения кластерных элементов как значения координат, описывающих позицию кластера в пространстве входных данных. В памяти компьютера кластерные элементы размещаются в виде одномерного массива.

Поскольку условия эксплуатации грузоподъемных машин весьма разнообразны, разработать единые и однозначные рекомендации для работы такого алгоритма невозможно. В связи с этим представляет интерес алгоритм на основе дискретной автоассоциативной памяти [2], которая может «вспомнить» сохраненный образец (ключ) по подсказке-контексту (вводимым данным), искаженную помехами версию нужного образца. В

качестве образца-контекста выступает совокупность данных телеметрической информации, описывающей состояние системы непосредственно перед аварией.

3 Практическая реализация системы управления грузоподъемным средством

Обобщенная функциональная модель стабилизирующей системы может быть построена по принципу замкнутого управления (рисунок).



Обобщенная модель системы управления с замкнутой цепью самонастройки (W_1 , W_2 – передаточные функции соответственно «рулевого устройства» и самого объекта управления; y – обратная связь; g – задающее воздействие; x – суммированный сигнал)

Система испытывает возмущающие внешние воздействия (подъем груза, ветровую нагрузку, изменение вылета стрелового оборудования, угловое смещение рамы), в результате чего состояние системы отклоняется от заданных параметров. На основании рассогласования входных параметров (фактического состояния системы) и параметров, задаваемых алгоритмом, устройство компенсации генерирует управляющий импульс, стабилизирующий состояние системы. Вычислительное устройство (бортовой процессор) реализует заданный алгоритм обнаружения образов опасных ситуаций и в случае обнаружения посредством управляющих импульсов воздействует на систему человек – грузоподъемная машина либо оповещением, либо дросселированием потоков рабочей жидкости в приводах исполнительных систем.

4 Заключение

Отличительными чертами системы автоматизированного мониторинга являются возможность прогнозирования и заблаговременного блокирования исполнительных систем при аварийной ситуации; «открытая» архитектура системы, возможность совершенствования модели

мониторинга путем обобщения опыта ее эксплуатации на других объектах; возможность оперативного обмена приобретенным опытом между удаленными системами однородных объектов управления (обмен учебными образцами признаков аварийной ситуации и способов ее предотвращения); простая адаптация системы к конкретной модели грузоподъемной машины; отсутствие необходимости периодической настройки системы в процессе эксплуатации.

Библиографический список

1. **Kohonen T.** The self-organizing map // Proceedings of the IEEE. –1990. – 78(9). – P. 1464–1480.
2. **Hopfield J.** Neurons with graded response have collective computational properties like those of two-state neurons // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 1984. – 81. – P. 3088–3092.

УДК 625.151.9

**ОБОСНОВАНИЕ РЕМОНТНЫХ СРОКОВ ВЫПОЛНЕНИЯ
ПУТЕВЫХ РАБОТ НА СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДАХ****В.И. Неснов, Д.А. Басовский, В.И. Шулындин, В.А. Писарев**

Аннотация

Доказано, что срок службы стрелочных переводов на главных путях может быть подразделен в зависимости от его наработки до соответствующего ремонта на три этапа, а сами ремонты имеют усеченное нормальное распределение по этому параметру. Факт зависимости межремонтных сроков от их технического ресурса позволяет дифференцировать каждый из ремонтов, способствует повышению надежности эксплуатации стрелочных переводов и лучшему использованию их срока службы.

Ключевые слова: стрелочный перевод, пропущенный тоннаж, ремонты, срок службы, технический ресурс.

Введение

Каждый стрелочный перевод состоит из большого числа деталей с относительно большим сроком службы, причем ширина колеи и уровень могут выходить за нормативные допуски от динамического воздействия колес подвижного состава. По мере роста пропущенного тоннажа происходит накопление расстройств геометрических параметров стрелочного перевода.

1 Влияние пропущенного тоннажа на изменение геометрических размеров стрелочных переводов

В ПГУПС на кафедре «Строительное производство» с 1998 года проводятся исследования по технологии текущего содержания стрелочных переводов.

Используя фактические данные о проведенных ремонтно-путевых работах при текущем содержании стрелочных переводов, определяем потребность в их количестве в зависимости от пропущенного тоннажа в каждом сечении стрелочного перевода (Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути ЦП-774) и на переводе в целом.

Но сами по себе эти зависимости недостаточно выразительны и в целом не позволяют еще оценивать влияние пропущенного тоннажа на потребность в ремонтно-путевых работах на стрелочных переводах. Произведенное объединение полученных зависимостей для каждого из сечений в суммарную зависимость ремонтно-путевых работ от пропущенного тоннажа на всем стрелочном переводе (рис. 1) позволяет:

подтвердить правильность, но недостаточность принятого сегодня в технологии путевых работ решения обеспечивать надежность эксплуатации стрелочных переводов по мере возникновения потребности в необходимых ремонтах. Недостаточность такого положения объяснима тем, что на разных периодах своего срока службы стрелочный перевод, как система, работает по-разному. Только этим можно объяснить, что существуют три периода за срок его службы, между которыми можно установить следующие границы:

1 период – наработка до 35 млн. т брутто. Уже после пропуска по стрелочному переводу 15–20 млн. т брутто необходимо производить перешивку ширины колеи в корне остряка;

2 период – основная наработка до 170 млн. т брутто с интервалами между путевыми работами 40–45 млн. т брутто;

3 период – наступление недостаточно эффективного состояния использования на главных путях стрелочных переводов из рельсов типа Р65 марки 1/11 на деревянных брусках в связи с резким сокращением сроков ремонтно-путевых работ до 20–25 млн. т. брутто;

наработка (35, 45, 40, 40, 25, 25) в межремонтные сроки путевых работ на стрелочном переводе за его срок службы имеет усеченное нормальное распределение (рис. 2). В этом случае сроки ремонтно-путевых работ могут быть заранее прогнозируемы, что будет сопровождаться сокращением трудозатрат, резко возрастающих при выходе размеров за пределы нормативного допуска по ширине колеи и уровню. Такое положение позволит исключить период эксплуатации стрелочных переводов с отдельными вышедшими за пределы допуска размерами, ухудшающими их работу, избежать саму возможность возникновения аварийных ситуаций.

Естественно, что такое положение позволит в дальнейшем рациональнее определить границы более прибыльного использования стрелочных переводов типа Р65 марки 1/11 (проект 2764).

2 Критерии оценки состояния стрелочных переводов во времени (по наработке)

Факт установления закона, которому подчиняются межремонтные сроки на интервале их срока службы, чрезвычайно важен для обеспечения более надежного использования стрелочных переводов.

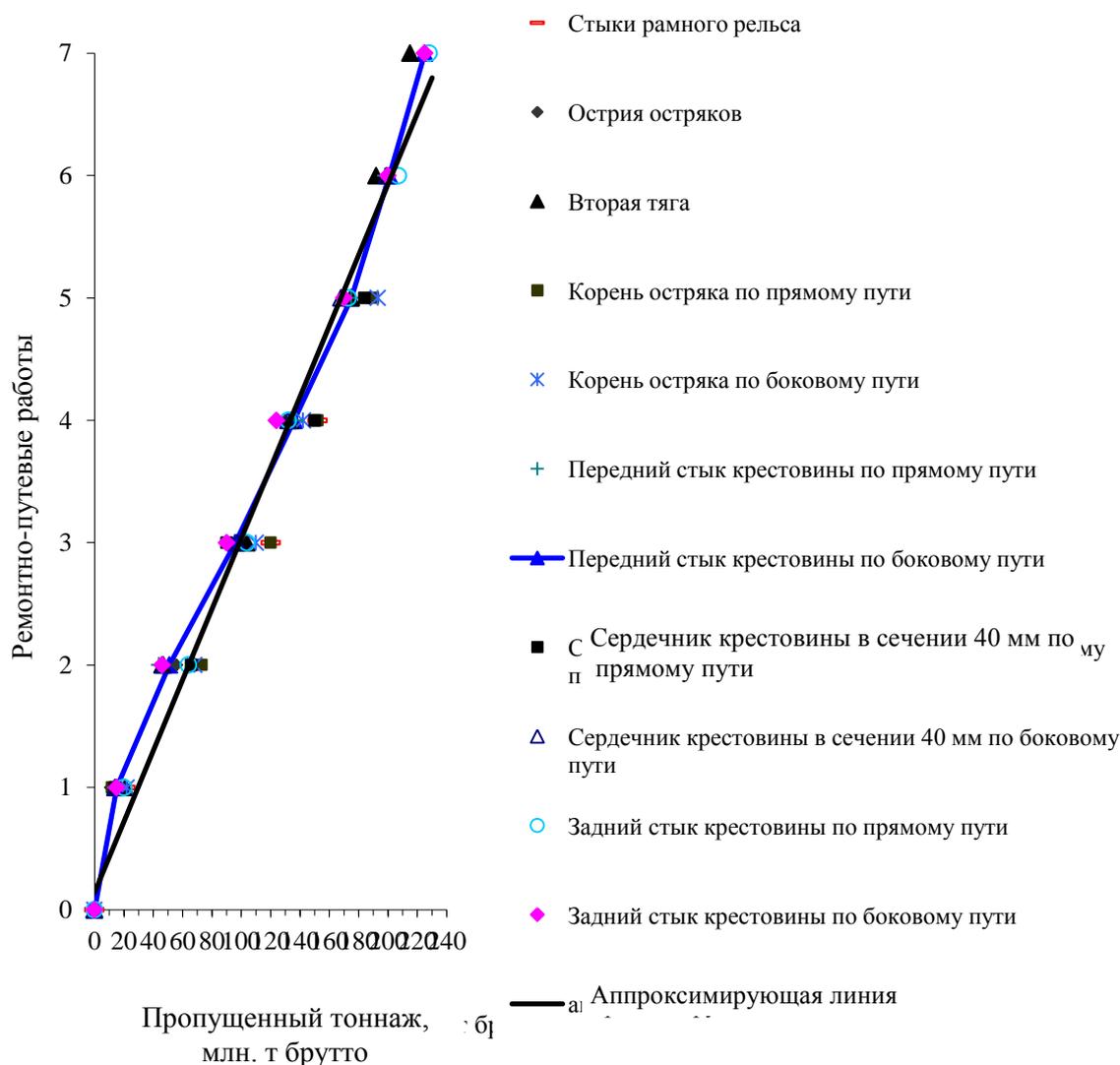


Рис. 1 Потребность в ремонтно-путевых работах

Если первый период можно объяснить приработкой стрелочного перевода к подвижному составу и местным условиям, не всегда обеспечивающим требуемое качество укладки, то второй, наиболее работоспособный период, на котором межремонтные интервалы путевых работ возрастают до двух и более раз, объясним уже конструктивной надежностью стрелочных переводов. На этом этапе эксплуатации стрелочных переводов четыре раза выполняются путевые работы, и он является основным за срок службы стрелочных переводов при использовании их на главных путях.

В третий период сказывается неравномерный износ металлических элементов, что сопровождается дополнительным воздействием больших усилий, а конструктивно стрелочный перевод, эксплуатируемый уже около 10 лет, имеет ослабленные отдельные элементы и брусья. Поэтому вполне естественно, что использование стрелочных переводов в прежних

условиях требует больших трудозатрат и более частых профилактических работ.

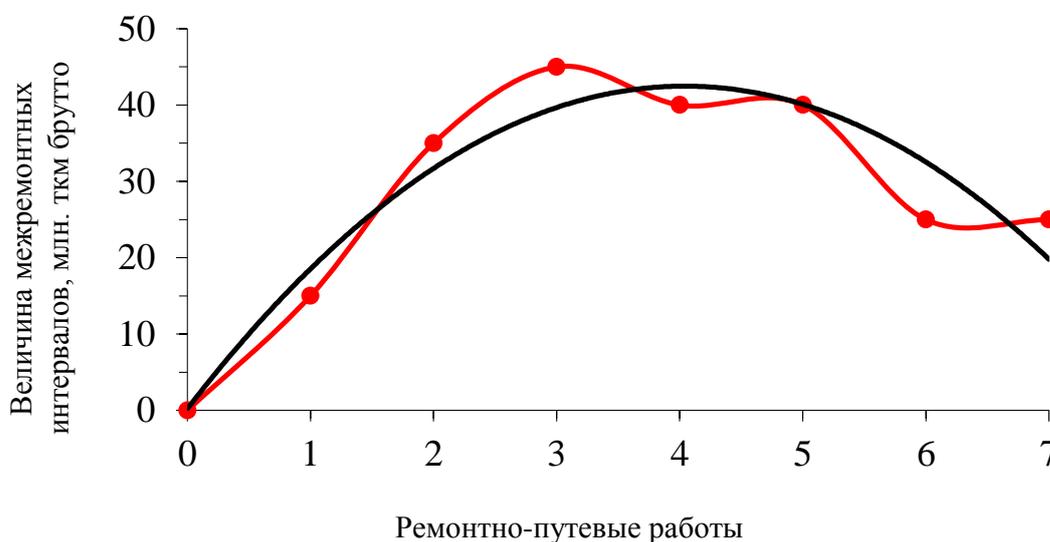


Рис. 2 Фактическая потребность в ремонтно-путевых работах

Выявление последовательности ремонтно-путевых работ в зависимости от срока службы потребует в дальнейшем не только введения в базу компьютера общей информации о каждом стрелочном переводе, но и результатов промеров ширины колеи и уровня пропущенного тоннажа, то есть системного учета состояния каждого перевода. Факт зависимости межремонтных сроков от срока службы стрелочных переводов позволяет последовательно учитывать каждый из ремонтов, что будет способствовать повышению надежности прогнозов, лучшему использованию технического ресурса. Такая технология позволит, кроме того, обнаруживать опасные для движения поездов отступления в рассматриваемых сечениях стрелочного перевода и иметь полную ясность о состоянии каждого перевода.

3 Заключение

Изучение отклонений от нормального допуска по ширине колеи и по уровню стрелочного перевода, как результат взаимодействия с колесами пропущенного тоннажа, позволит проводить меры предупреждения по выявлению опасных для движения поездов отступлений, тем самым повышая надежность пути.

Библиографический список

1. **Технические условия на работы по ремонту** и планово-предупредительной выправке пути. – М., 2003. – 150 с.
2. **Амелин С.В.** Соединения и пересечения рельсовых путей. – М.: Транспорт, 1968. – 257 с.
3. **Совершенствование ведения стрелочного хозяйства** / С.В. Амелин, В.И. Абросимов, Н.Н. Елсаков и др. / Под ред. С.В. Амелина. – М.: Транспорт, 1983. – 240 с.

4. **Басовский Д.А.** Совершенствование технологии контроля состояний стрелочных переводов типа Р65 марки 1/11 на деревянных брусках: Дис. ... канд. техн. наук, СПб.: ПГУПС, 2002. – 286 с.

Искусственные сооружения

УДК 666.646

ИОНООБМЕННЫЕ СВОЙСТВА ЗАПЕСОЧЕННЫХ ГЛИН

Абу-Хасан Махмуд

Аннотация

Глинистые минералы, входящие в состав глин, суглинков, обладают ионообменной способностью, чем в значительной мере определяются многие их физико-химические свойства. В статье рассмотрено влияние иона натрия на увеличение дисперсности, пластичности, усадки, водоудерживающей способности запесоченных глин. Показано, что активация способности запесоченных глин к сорбционному взаимодействию достигается при обработке их растворами сильных электролитов, что дает возможность утилизировать кислые стоки гальванических производств и получатьлицевую поверхность керамических изделий.

Ключевые слова: обменные катионы, электролиты, ξ -потенциал, сорбционное взаимодействие, гидролитическая устойчивость.

Введение

Как известно, пластичность шликера зависит от присутствия определенных ионов в системе глина–вода.

Обменную способность глинистых частиц рассматривают как сорбцию (поглощение), протекающую на их суммарной поверхности.

По данным Е.Н. Гапона и других исследователей, ионы водорода обладают сильной внедряющей способностью благодаря малому радиусу и меньшей гидратации ионов. Известно, что изменение природы обменных катионов приводит к изменениям пластичности, набухаемости, дисперсности, усадки, механической прочности высушенных и обожженных керамических изделий. Различные электролиты оказывают различное влияние на их свойства [1].

Среди обменных катионов самое большое влияние на увеличение дисперсности, пластичности, усадки, водоудерживающей способности глин оказывает натрий. Ионы натрия способствуют образованию наиболее плотной и прочной структуры в процесс их высыхания.

Прочность глин (при высыхании) зависит от величины площади контакта частиц, по которой происходит их сцепление. Наиболее плотные

структуры глин, насыщенных одновалентными катионами и полученных при оптимальном увлажнении, всегда оказываются более прочными, чем рыхлые структуры суглинков, насыщенных многовалентными катионами.

Если ион диффузного слоя сильно гидратирован (в случае натриевой глины) и образуется диффузный слой, а ион коагулятора мало гидратирован, то обмен ионов способствует уменьшению ξ -потенциала, в этом случае наступает коагуляция. Но если ион диффузного слоя мало гидратирован и образует сжатый диффузный слой, а ион коагулятора сильно гидратирован, то обмен ионов приводит к увеличению ξ -потенциала, затрудняя коагуляцию.

Большое влияние оказывает обменный натрий на самопроизвольное диспергирование и пептизацию глинистых частиц.

Кроме катионов диффузного слоя, на величину электрокинетического потенциала влияют электролиты, содержащиеся в глинистой суспензии: чем выше концентрация электролитов, тем больше снижается потенциал коллоидных частиц. Если глина имеет обменные катионы натрия, то высокая концентрация NaCl в растворе по закону действия масс подавляет диссоциацию двойного слоя и потенциал снижается.

Из литературных источников [1] известно также, что активация способности суглинков и глин к сорбционному взаимодействию достигается при продолжительном выдерживании их в растворах сильных электролитов. Так, если суглинки выдерживают в 0,1н–2н растворах хлорида натрия или кальция, карбоната натрия от 50 мин до 10 суток, то в раствор переходят ионы Al^{3+} и Mg^{2+} . На этом основании выдерживание суглинков в растворах с ионами Cu^{2+} и Ni^{2+} приводит к медленно протекающей сорбции этих ионов с окрашиванием суглинков. При рассмотрении сорбции конкретных ионов силикатными материалами важную роль поглощающего комплекса играет каркас (матрица). Такие матрицы способны сорбировать ионы по схеме В.И. Вернадского и А.Е. Ферсмана [2]. Учение об изоморфных рядах Вернадского основано на широком участии сорбции при формировании минералов. Энергетика этих процессов связана с энергетикой ионов и рассмотрена в трудах Ферсмана.

1 Влияние электролита на гидролитическую устойчивость запесоченных глин

1.1 Влияние природы и концентрации кислоты на растворимость запесоченных глин

Для работы использовали запесоченные глины с размером зерна 1–0,006 мм, навеска по 0,500 г. Глину заливали 50 мл растворов соответствующих кислот.

Было установлено, что наибольшая десорбция ионов алюминия и магния наблюдается в растворе 0,1н серной кислоты и достигает значения 0,034 мЭкв/л. Гидролитическая устойчивость запесоченных глин в среде 0,1н раствора HCl и HNO₃ практически одинакова и характеризуется значением 0,019–0,020 мЭкв/л (табл. 1), при этом влияние концентрации кислоты на содержание ионов алюминия и $[SiO_3]^{2-}$ возрастает.

Значительное возрастание концентрации ионов алюминия наблюдается в растворах H_2SO_4 с концентрацией $1,1 \cdot 10^{-3} \text{ н}$ и составляет $0,0039\text{--}0,02$ мЭкв/л (табл. 2).

ТАБЛИЦА 1. Влияние природы кислоты на растворимость суглинков (время контакта 5 суток)

Кислота	Нормальность	Содержание ионов алюминия, мЭкв/л	Содержание ионов магния, мЭкв/л
CH_3COOH	0,1	0,014	0,008
HCl	0,1	0,019	0,009
HNO_3	0,1	0,020	0,007
H_2SO_4	0,1	0,039	0,019
H_2O	0,1	0,009	0,001

ТАБЛИЦА 2. Влияние концентрации серной кислоты на устойчивость запесоченных глин

Концентрация кислоты, н	Содержание ионов алюминия, мЭкв/л	Содержание ионов магния, мЭкв/л
$1,10^{-1}$	0,039	0,028
$5,10^{-2}$	0,037	0,022
$1,10^{-2}$	0,029	0,019
$5,10^{-3}$	0,021	0,014
$1,10^{-3}$	0,018	0,011
$5,10^{-4}$	0,014	0,009
$1,10^{-4}$	0,009	0,006

1.2 Влияние времени контакта серной кислоты и температуры на устойчивость запесоченных глин

Кинетические закономерности выхода ионов алюминия и магния в раствор изучали при действии $0,1 \text{ н}$ раствора серной кислоты на запесоченные глины. Исследование, проводившееся в интервале времени от 1 до 30 суток (табл. 3), показало, что наиболее интенсивное растворение происходило в первые 10 дней контакта с реагирующим веществом. Содержание ионов алюминия и магния в растворе возрастает постепенно и достигает $0,051$ и $0,029$ мЭкв/л (30 суток) соответственно.

Запесоченные глины являются достаточно химически стойкими, для их активации требуется довольно длительный контакт с активатором (в нашем случае 30 суток), концентрация кислоты $0,1 \text{ н}$.

Опыты проводили при температуре $65, 102, 140, 155^\circ\text{C}$, навески по $5,000$ г глины заливали $0,1 \text{ н}$ раствором H_2SO_4 при нужной температуре в течение 2 часов.

ТАБЛИЦА 3. Влияние температуры на гидролитическую устойчивость запесоченных глин

Время контакта, сут	Содержание ионов алюминия, мЭкв/л	Содержание ионов магния, мЭкв/л
1	0,028	0,012
3	0,033	0,014
10	0,043	0,016
14	0,047	0,019
20	0,049	0,021
30	0,051	0,029

Результаты, приведенные в таблице 4, показывают резкое увеличение десорбции ионов кальция с увеличением температуры. Если при температуре 65°C концентрация ионов кальция составляет 0,016 мЭкв/л, то при 155°C – 0,026 мЭкв/л.

ТАБЛИЦА 4. Влияние температуры на гидролитическую устойчивость запесоченных глин

Температура контактного раствора, °С	Содержание ионов кальция, мЭкв/л
65	0,016
100	0,020
140	0,021
155	0,026
170	0,030
201	0,048
20 (комнатная температура)	0,011

Исследование влияния температуры на выход катионов Ca^{2+} в раствор показало, что выход ионов возрастает. При повышении температуры от 65 до 201°C выход ионов возрастает в 3 раза.

Кинетически активно должна протекать реакция взаимодействия $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и кремнезема. Однако в запесоченных глинах имеется много свободного кремнезема и мало свободного гидроксида кальция, поэтому процесс гидратации кремнезема под воздействием гидроксида кальция может протекать медленно и малоактивно. Из данного рассмотрения вытекает, что запесоченные глины гидратируются весьма медленно и не являются гидравлически активным веществом.

На основании изложенного можно утверждать о возможности замены бесцветных ионов Ca^{2+} на хромофоры Cu^{2+} , Ni^{2+} , Cr^{3+} , а также о выходе ионов Ca^{2+} в раствор при обработке запесоченных глин сильными кислотами.

2 Активация поверхности запесоченных глин кислыми гальваническими стоками

На основании проведенных экспериментальных работ по затворению запесоченной глины кислотами разной природы можно сделать вывод о возможности использования кислых стоков гальванических производств для активации и окрашивания поверхности запесоченных глин.

Гальванические отходы относятся к токсичным соединениям, поэтому требования к их очистке, обработке и утилизации весьма высоки. Так как химический состав их весьма разнообразен и зависит от технологического процесса производства, то для нанесения покрытия на лицевую поверхность кирпича рационально использовать отработанные электролиты соляной кислоты от ванн травления стали и снятия хромового покрытия, а также отработанный электролит от ванн электрополировки меди, содержащий ортофосфорную кислоту.

Кислые отходы от гальванического производства представляют собой кислые водные растворы зеленого цвета, с плотностью 1,10–1,12 г/см³, с концентрацией ионов водорода рН = 0,1...0,2. Отходы были взяты из ванн обезжиривания и снятия хромового покрытия с меди и стали и подвергнуты анализу на содержание ионов тяжелых металлов. Анализ показал присутствие в растворе в основном ионов железа, хрома и меди.

Катионы-хромофоры, находящиеся в кислых стоках (в основном Cr³⁺, Fe³⁺, Cu²⁺), обмениваются на катионы Ca²⁺ и Mg²⁺, что резко активирует поверхность глиняной матрицы и усиливает процесс спекания глинистых частиц, за счет этого удаляются высолы, а лицевая поверхность приобретает более темный цвет. Кислые стоки наносились на поверхность сухих образцов, сутки выстаивались, затем обжигались при температуре 960°C.

3 Заключение

Обмен катионов является обратимым, поглощение катионов тем сильнее, чем выше валентность иона, обмен катионов одной и той же валентности тем интенсивнее, чем больше их атомная масса, поглощение катионов увеличивается с ростом их концентрации в растворе. Процесс обмена усиливается с ростом рН раствора, величина и скорость обмена зависят от концентрации солей в растворе, времени взаимодействия и температуры окружающей среды.

Показано, что пропитка керамического сырца кислыми стоками от гальванических работ позволяет не только утилизировать техногенное сырье, но и получить керамический черепок с улучшенной лицевой поверхностью, более темного цвета, без высолов.

Библиографический список

1. **Книгина Г.И.** Улучшение технологических свойств суглинков (для производства строительного кирпича). – Новосибирск: Зап.-Сиб. книжное изд-во, 1966. – 105 с.
2. **Ферсман А.Е.** **Геохимия.** – Л.: ОНТИ, ХИТЕОРТ, 1937. – 503 с.

УДК 624.042.7

РАЗДЕЛЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БЕГУЩУЮ ВОЛНУ И СЛУЧАЙНЫЙ НЕКОРРЕЛИРОВАННЫЙ ПРОЦЕСС В ЗАДАЧАХ РАСЧЕТА МНОГООПОРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Л.Н. Гиман

Аннотация

Рассматривается расчет многоопорного сооружения по линейно-спектральной методике (ЛСМ). Предложено представление сейсмического воздействия в виде суммы бегущей волны и случайного процесса.

Ключевые слова: многоопорные сооружения, несинхронность воздействия, бегущая волна, случайный некоррелированный процесс.

Введение

В настоящее время расчету сейсмостойкости многопролетных сооружений уделяется значительное внимание. Это связано с тем, что Нормы сейсмостойкого строительства рассматривают сооружения, моделируемые консольным стержнем, а сейсмическое воздействие задается расчетным уровнем и спектральной кривой исходя из сейсмогеологических условий в месте опирания. В практике строительства распространены многоопорные сооружения (МС) – мосты, трубопроводы и т. п., у которых сейсмогеологические условия под опорами различны и сейсмическое воздействие может отличаться не только спектральным составом, но и уровнем. Это приводит к несинхронности колебаний опор, которая не учитывается в СНиПах. Ранее с использованием традиционного представления воздействия в виде бегущей замороженной волны или некоррелированных возмущений под опорами был предложен вариант ЛСМ, учитывающей несинхронное возмущение опор [1]. Настоящая статья посвящена обобщению методики расчета МС с более полным учетом характеристик реальных землетрясений.

1 Основные положения расчета МС

Несинхронность колебаний опор МС двояко сказывается на их поведении: с одной стороны, снижается инерционная сейсмическая нагрузка на ее элементы, с другой – в конструкции возникают дополнительные усилия от взаимного смещения опор.

Задача учета протяженности сооружения включает четыре этапа: построение уравнений движения; определение инерционной сейсмической нагрузки; определение дополнительных усилий, вызванных взаимным смещением опор; определение расчетных усилий. Эти этапы рассмотрены в статье [1]. Только два последних этапа определяются параметрами воздействия. Как известно [2], величина расчетного фактора H определяется по формуле (1), где первое слагаемое – вклад в величину H , вызванный взаимным смещением опор, второе слагаемое – действием инерционной сейсмической нагрузки:

$$H = \sum_{s=1}^{Ns} \alpha u_s + \sum_{j=1}^{nf} \sum_{s=1}^{Ns} b_j \xi_{js}, \quad (1)$$

где Ns – число опор; nf – число форм колебаний; u_s – смещение s -й опоры; ξ_{js} – j -я главная координата от смещения s -й опоры; α_s и b_j – соответствующие коэффициенты влияния (s – номера опор, j – номера форм колебаний). Математическое ожидание величины H равно 0, а дисперсия может быть представлена через дисперсии смещений $\sigma_s^{(u)}$ и главных координат σ_{js}^{ξ} :

$$D_H = \sum_{s=1}^{Ns} \sum_{p=1}^{Ns} \alpha_s \alpha_p K_{sp} \cdot \sigma_s^{(u)} \cdot \sigma_p^{(u)} + 2 \sum_{s=1}^{Ns} \sum_{p=1}^{Ns} \sum_{j=1}^{nf} \alpha_s \alpha_p b_j K_{spj}^{(mix)} \sigma_s^u \sigma_{js}^{\xi} \sigma_{ip}^{\xi} + \sum_{s=1}^{Ns} \sum_{p=1}^{Ns} \sum_{i=1}^{nf} \sum_{j=1}^{nf} b_{sj} b_{pi} \varepsilon_{ji} \chi_{jsip} \sigma_{js}^{\xi} \sigma_{ip}^{\xi}. \quad (2)$$

В формуле (2) K_{sp} – коэффициент корреляции колебаний опор; ε_{ij} – коэффициент корреляции форм колебаний, полученный в [3]; χ_{jsip} – коэффициент корреляции главных координат от возмущения различных опор по формам колебаний; K_{spj}^{mix} – смешанный коэффициент корреляции форм колебаний и возмущений основания. Коэффициенты K_{sp} и χ_{jsip} определяются статистической связью возмущений под опорами.

Для возмущения в виде случайного, не коррелированного под опорами процесса эти коэффициенты равны 0, если $s \neq p$, и равны 1 при $s = p$.

Для воздействия в виде замороженной бегущей волны коэффициенты χ_{jsip} и K_{sp} определяются по формулам:

$$\chi_{jsip} = \cos\left(\frac{k_j + k_i}{2V_{sw}}\right) L_{sp}; \quad K_{sp} = \frac{1 - e^{-2\tau_{sp}}}{2\tau_{sp}}, \quad (3)$$

где V_{sw} – скорость волн сдвига в грунтовом основании; L_{sp} – расстояние между опорами s и p ; $\tau_{sp} = L_{sp}/V_{sw}$.

Применение рассмотренных гипотез достаточно удобно, но не отражает истинного характера сейсмического воздействия, поэтому автором предлагается обобщение рассматриваемых гипотез, позволяющее более точно учесть фактический характер воздействия.

2 Гипотеза разделения сейсмического воздействия на две компоненты

При распространении волн от очага землетрясения в однородной среде к сооружению подходит бегущая волна. Однако встречающиеся на пути волн неоднородности приводят к наложению на исходный процесс случайных колебаний. Это позволяет принять гипотезу о том, что в сейсмическом воздействии можно выделить бегущую замороженную волну и случайный процесс, вызывающий некогерентные колебания опор:

$$U_s = U_s^{inc} + U_s^{frw}, \quad (4)$$

где U_s – смещение s -й точки поверхности; U_s^{frw} и U_s^{inc} – смещения, вызванные бегущей замороженной волной и дополнительным случайным процессом соответственно.

Сформулированная гипотеза равносильна удвоению числа опорных узлов, т. е. под каждой опорой располагается два независимых опорных узла, один из которых имеет смещение U_s^{frw} , второй – U_s^{inc} . При этом дисперсия случайного процесса представляется в следующей форме:

$$D_H = \sum_{s=1}^{2N_s} \sum_{p=1}^{2N_s} \alpha_s \alpha_p \overline{u_s u_p} + \sum_{s=1}^{2N_s} \sum_{p=1}^{2N_s} \sum_{i=1}^{nf} \sum_{j=1}^{nf} b_s b_p \overline{\xi_{js} \xi_{ip}} + \sum_{s=1}^{2N_s} \sum_{p=1}^{2N_s} \sum_{j=1}^{nf} \alpha_s b_{pj} \overline{\xi_{js} u_p} - \overline{H}_{calc}^2, \quad (5)$$

где $\overline{u_s u_p}$, $\overline{\xi_{js} \xi_{ip}}$ и $\overline{\xi_{js} u_p}$ – корреляции соответственно смещений основания, главных координат, главных координат и смещений основания.

Как известно [2], корреляция ξ_{js} и u_p мала, что позволяет исключить последнюю сумму из представления (5). В двух первых суммах отсутствует корреляция между некогерентными составляющими возмущения, а также между составляющими, вызванными бегущей волной и некогерентными процессами. Следовательно, при нулевом математическом ожидании всех процессов формулу (5) можно переписать следующим образом:

$$\begin{aligned}
D_H = & \sum_{s=1}^{N_s} \alpha_s^2 \sigma_{us}^{(inc)2} + \sum_{s=1}^{N_s} \sum_{p=1}^{N_s} \alpha_s \alpha_p K_{sp} \cdot \sigma_{us}^{(frw)} \cdot \sigma_{up}^{(frw)} + \sum_{s=1}^{N_s} \sum_{p=1}^{N_s} \sum_{i=1}^{nf} \sum_{j=1}^{nf} b_{sj} b_{pi} \varepsilon_{ji} \chi_{jsip}^{(frw)} \sigma_{js}^{(frw)} \sigma_{ip}^{(frw)} + \\
& + \sum_{s=1}^{N_s} \sum_{i=1}^{nf} \sum_{j=1}^{nf} b_{sj} b_{si} \varepsilon_{ji} \chi_{jsi}^{(inc)} \sigma_{js}^{(inc)} \sigma_{is}^{(inc)}.
\end{aligned} \tag{6}$$

Коэффициенты χ_{jsip} и K_{sp} в формуле (6) зависят от вида бегущей волны.

2.1 Представление бегущей волны в виде случайного стационарного процесса с нулевым математическим ожиданием

В этом случае для определения коэффициентов $\chi_{jsip}^{(frw)}$ и K_{sp} , входящих в формулу (6), справедливы выражения (3). В качестве среднеквадратичных отклонений σ , входящих в (6), выступают значения расчетного фактора от действия инерционных сейсмических сил. При этом используется не одна матрица сейсмических сил, как в СНиП, и не Ns (по числу опор), как предлагалось ранее, а $2Ns$ матриц, соответственно для возмущения каждой из опор от бегущей волны и некоррелированных процессов. Элементы матриц сейсмических сил в этом случае будут определяться в соответствии с формулой СНиП из следующих выражений:

$$s_{ij}^{(frw)} = A^{(frw)} \beta_j^{(frw)} \eta_{ij} m_i; \quad s_{ij}^{(inc)} = A^{(inc)} \beta_j^{(inc)} \eta_{ij} m_i. \quad (7)$$

Ускорения для воздействия в виде бегущей волны, входящие в формулу (7), можно оценить на основании сейсмологических исследований [4]:

$$A^{(frw)} = \frac{4,385}{R},$$

где R – гипоцентральное расстояние.

Ускорение $A^{(inc)}$ определим исходя из сохранения нормативных расчетных ускорений A , т. е.

$$A^{inc} = A - A^{frw} \frac{\beta^{frw}}{\beta}.$$

2.2 Представление бегущей волны в виде импульса скорости

Анализ акселерограмм показывает, что бегущая волна представляется импульсом скорости. В упомянутой выше статье итальянских специалистов для указанной волны предлагается следующая зависимость ускорений, скоростей и смещений от времени (рис. 1).

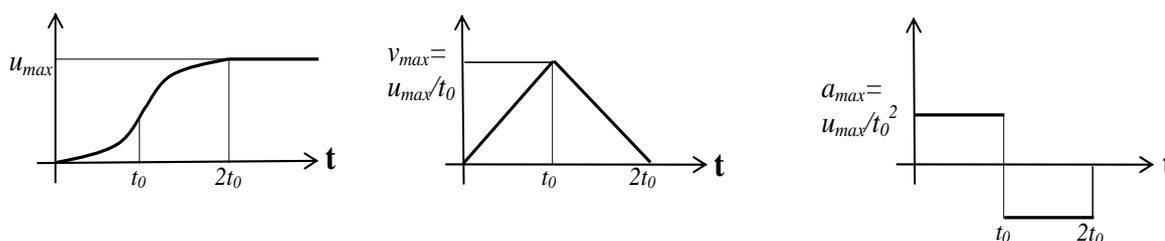


Рис. 1 Графики смещений, скоростей и ускорений для ступенчатого процесса

$$a t = \begin{cases} u_{\max} / t_0^2 \\ -u_{\max} / t_0^2 \\ 0 \end{cases}; \quad v t = \begin{cases} u_{\max} t / t_0^2 \\ \frac{u_{\max}}{t_0} \left(2 - \frac{t}{t_0} \right) \\ 0 \end{cases}; \quad u t = \begin{cases} \frac{u_{\max}}{2} \left(\frac{t}{t_0} \right)^2 \\ \frac{u_{\max}}{2} \left[-\left(\frac{t}{t_0} \right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{t}{t_0} \right) - 2 \right] \\ u_{\max} \end{cases}.$$

Величина остаточного смещения и продолжительности воздействия определяется гипоцентральной расстоянием R и магнитудой M :

$$t_0 = 10^{-3,471+0,5 \cdot M_w}; \quad u_{\max} = 10^{-6,3+M_w - \log(R)}.$$

Этот процесс уже не является стационарным и имеет ненулевое математическое ожидание. Поэтому формулы (3) перестают действовать.

Если считать, что величины M_w и R являются случайными с функцией плотности распределения f_M и f_R , то можно записать:

$$\overline{u_s^{(fw)} u_p^{(fw)}} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} d(M, R, t) \cdot d(M, R, t + \tau_{sp}) f_R(R, \bar{R}) f_M(M, \bar{M}) dR dM,$$

где \bar{R} и \bar{M} – математические ожидания гипоцентрального расстояния и магнитуды; τ_{sp} – время прохождения волны от опоры s до опоры p .

Аналогичным образом определяется $\overline{\xi_{js} \xi_{ip}}$. Только величина главных координат ξ_{js} является решением следующего уравнения:

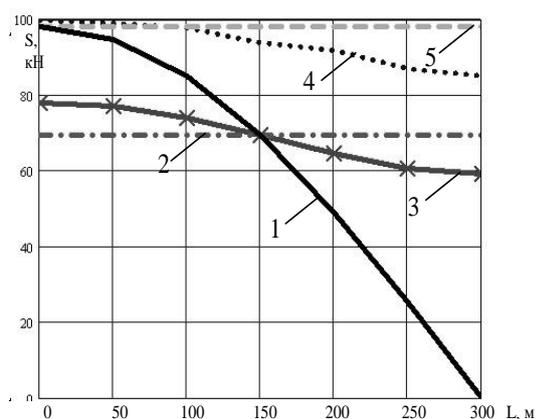
$$\ddot{\xi}_{js} + \gamma_j k_j \dot{\xi}_{js} + k_j^2 \xi_{js} = -\alpha_j a_s(M, R, t),$$

где k_j и γ_j – соответственно частота и коэффициент затухания по j -й форме колебаний.

Расчеты показывают, что при реальных параметрах распределения магнитуды и гипоцентрального расстояния взаимные корреляционные функции $\overline{u_s^{(fw)} u_p^{(fw)}}$ и $\overline{\xi_{js} \xi_{ip}}$ существенно меньше квадратов математических ожиданий смещений и главных координат. Поэтому в первом приближении бегущую волну можно считать детерминированной величиной и представить в виде

$$H = H_{frwi} + \left[\sum_{s=1}^{N_s} \sum_{i=1}^{n_f} \sum_{j=1}^{n_f} b_{sj} b_{si} \varepsilon_{ji} \sigma_{js}^{(inc)} \sigma_{is}^{(inc)} + \sum_{s=1}^{N_s} \alpha_s^2 h_{up}^{(inc)} \right]^{\frac{1}{2}}.$$

На рисунке 2 приведено сопоставление расчетных сейсмических сил, вычисленных по СНиП и по рассмотренным методикам.



- 1 – для бегущей волны;
- 2 – для некоррелированного случайного процесса;
- 3 – метод, предлагаемый в п.2.1.;
- 4 – метод, предлагаемый в п.2.2;
- 5 – по гипотезе СНиП.

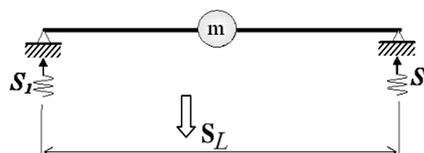


Рис. 2 Графики зависимости расчетной сейсмической силы от величины пролета (в процентах от нормативной)

Библиографический список

1. Уздин А.М., Гиман Л.Н. К вопросу расчета на сейсмические воздействия протяженных сооружений с дискретными опорами // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2002. – № 2. – С. 18–23.

2. **Kiureghian A.** Response spectrum method for random vibration analysis of MDF systems // Earthquake Engineering and Structural Dynamics. –1981. – Vol. 9. – № 5. – P. 419–435.

3. **Петров А.А.** Суммирование сейсмических усилий по формам колебаний сооружений с учетом взаимной корреляции обобщенных координат // Строительство в особых условиях. Сейсмостойкое строительство. Сер. 14. – М.: ВНИИС, 1982. – Вып. 11. – С. 1–5.

4. **Faccioli E., Paolucci R., Rey Ju.** Displacement spectra for long periods // Earthquake Spectra. – 2004. – Vol. 20. – № 2. – P. 347–376.

РАСЧЁТ ГИДРОИМПУЛЬСНОГО УСТЬЯ

А.Б. Пономарёв

Аннотация

Самопромывка дренажных систем защищает их от заиления. Одно из устройств для самопромывки – гидроимпульсное устье, которое представляет собой самозарядный сифон. В период малого стока такой сифон аккумулирует притекающую воду, а затем сбрасывает ее через устье дренажной системы. Работа устройства происходит в импульсном режиме, поэтому оно названо гидроимпульсным устьем (ГИУ). Такое устье должно в момент срабатывания обеспечивать повышенную скорость течения в дренах и коллекторе. Задача расчета – доказать, что скорость при этом не позволит илистым частицам оседать в радиусе действия устья.

Ключевые слова: самопромывка дренажа, гидроимпульсное устье, определение расхода, местные сопротивления.

Введение

Гидроимпульсные устья применяются для обеспечения самопромывки дренажных систем. Известно, что во многих случаях дренаж работает неравномерно: величина стока колеблется от нуля до нескольких литров в секунду на одной и той же дренажной системе. Если сток велик, то промывка дренажно-коллекторной сети не требуется: скорость потока не дает илистым частицам, проникшим в систему, осаждаться на дне и стенках трубы. Но при снижении расхода эти мелкие частицы не выносятся. Начинается процесс заиления дренажной системы, то есть уменьшается сечение дрен и коллектора. Если сток в какой-то момент совсем прекращается, то отложившиеся частицы цементируются и в дальнейшем не удаляются даже максимальным стоком.

Опасность заиления не всегда велика. В некоторых случаях дренажи, уложенные без специальной защиты от проникновения в них суффозионных частиц грунта, оказывались почти незаиленными через многие годы работы. Но такое «идеальное поведение» – частный случай. Как правило, наблюдается постепенное уменьшение свободного сечения дрен и коллектора.

Очистку сети от илистых частиц можно проводить разными способами. Можно использовать механизированную промывку, то есть промывать дренажно-коллекторную сеть с помощью передвижной техники. Этот способ наиболее эффективен, но и наиболее дорог. Он требует перемещения на большие расстояния промывочной техники, а зачастую и воды для промывки (в больших объемах).

Поэтому привлекательна идея использования устройств *самопромывки*. Это могут быть специальные клапаны или затворы, которые на время сдерживают поток, а затем спускают через устье накопившуюся воду. Понятно, что в периоды малых расходов такой импульсный режим работы дает возможность увеличить скорость течения в трубе, а значит и вынести частицы, попавшие в зону действия клапана или другого устройства. Схемы некоторых запатентованных устройств для самопромывки приведены на рисунке 1.

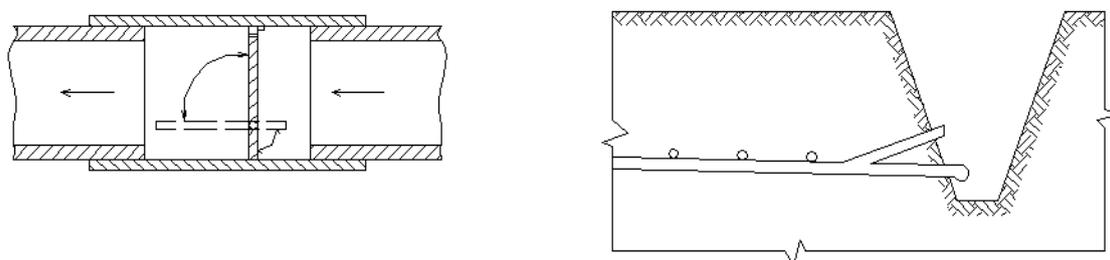


Рис. 1 Устройства для самопромывки

В таком же импульсном режиме работает и гидроимпульсное устье (ГИУ). ГИУ выгодно отличается от других устройств отсутствием в конструкции движущихся частей. Поэтому его поломка маловероятна. В данной статье приводится предварительный расчет ГИУ, который доказывает эффективность его применения.

1 Конструкция ГИУ

Гидроимпульсное устье представляет собой самозарядный сифон. Схема ГИУ приведена на рисунке 2.

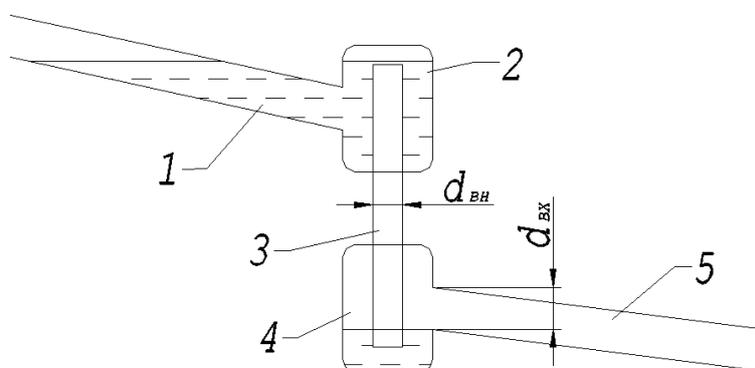


Рис. 2 Схема гидроимпульсного устья:

1 – подводящий участок коллектора; 2 – верхняя камера; 3 – внутренняя трубка;
4 – нижняя камера; 5 – отводящая часть коллектора

Принцип действия прост. Во-первых, нужно помнить, что нижняя камера представляет собой гидрозатвор. То есть доступ воздуха в верхнюю камеру снизу невозможен. Поэтому, когда воздух выносится потоком из верхней камеры, ГИУ превращается в обыкновенный сифон, так как в верхней камере образуется вакуум.

2 Предварительный расчет ГИУ

Цель предварительного расчета – доказать пригодность ГИУ для промывки дренажно-коллекторной сети.

ГИУ может применяться для промывки дренажной системы в том случае, когда скорость в промываемой области превышает размывающую скорость для частиц известной крупности ($0,05 \text{ мм}^1$). Простой расчет показывает (если диаметр коллектора принять равным $0,1 \text{ м}$), что величина размывающей скорости для этих частиц – около $0,14 \text{ м/с}$. Следовательно, для проверки применимости устья может быть использовано простое условие:

$$v_k \geq 0,14 \text{ м/с}, \quad (1)$$

где v_k – скорость в промываемой части коллектора.

На рисунке 3 показана расчетная схема для принятого случая.

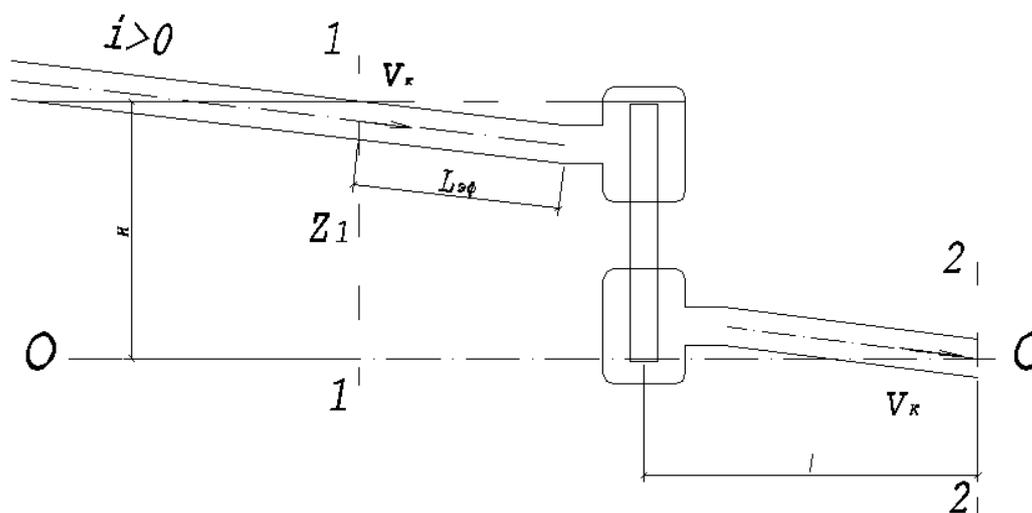


Рис. 3. Расчетная схема гидроимпульсного устья

Основные параметры, по которым можно судить о свойствах ГИУ, это расход Q (при полностью включенном сифоне) и скорость течения воды в коллекторе.

При зарядке и отключении ГИУ происходит взаимодействие воды и воздуха. При зарядке устья возникает двухфазный поток, который должен освободить верхнюю камеру от заполняющего ее воздуха. Теоретический

¹ Частицы именно такого размера должен пропускать дренажный фильтр.

расчет выноса воздуха сложен, его скорее следует наблюдать в эксперименте. Так же обстоит дело и со срывом вакуума в сифоне ГИУ. Поэтому приведенный ниже расчет касается только периода установившегося движения. Следует отметить, что существует ряд более сложных модификаций ГИУ¹.

Некоторые варианты ГИУ исследовались Ленинградским Политехническим институтом в 1989 г. В основе расчета лежит предложенный исследователями способ, показавший хорошую сходимость с данными лабораторного эксперимента.

Существует известная зависимость:

$$Q = \mu \cdot \omega \cdot \sqrt{2gH}, \quad (2)$$

где Q – расход в системе ГИУ–коллектор, м³/с;

μ – коэффициент расхода;

H – напор, в данном случае измеренный от плоскости сравнения О–О, проведенной через центр выходного сечения, м.

Из формулы (2) следует, что скорость

$$v = \mu \cdot \sqrt{2gH}. \quad (3)$$

Коэффициент расхода вычисляется из соотношения:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\Sigma\zeta + 1}}, \quad (4)$$

где $\Sigma\zeta$ – сумма коэффициентов местного сопротивления в системе.

Если мы рассмотрим расчетную схему, то обнаружим, что поток дважды меняет свой диаметр: при входе во внутреннюю трубу ГИУ и на выходе из нее. Следовательно, для правильного вычисления μ необходимо привести коэффициенты ζ к одному диаметру, чтобы правильно вычислить скорость из выражения (3) и знать, расходу какого участка эта скорость соответствует.

Возьмем в качестве расчетного диаметр внутренней трубы ГИУ $d_{\text{вн}}$.

Такой выбор приводит к следующим преобразованиям.

Приведем скорости к расчетной:

$$v_{\text{вх}}^2 = \frac{\omega_{\text{вн}}^2 \cdot v_{\text{вн}}^2}{\omega_{\text{вх}}^2} = \frac{d_{\text{вн}}^2}{d_{\text{вх}}^2} v_{\text{вн}}^2 = k \cdot v_{\text{вн}}^2; \quad (5)$$

¹ Пат. 2233941 Российская Федерация, МПК⁷ E02 B11/00. Осушительная система / Э.А. Бишоф, В.И. Штыков, А.Б. Пономарев (РФ), 2004.

$$v_k^2 = \frac{\omega_{\text{ВН}}^2 \cdot v_{\text{ВН}}^2}{\omega_k^2} = \frac{d_{\text{ВН}}^2}{d_k^2} v_{\text{ВН}}^2 = k_1 \cdot v_{\text{ВН}}^2, \quad (6)$$

где $v_{\text{ВХ}}$ – скорость во входном и выходном патрубках;

$v_{\text{ВН}}$ – скорость во внутренней трубке;

v_k – скорость в коллекторе;

$\omega_{\text{ВХ}}, \omega_k$ – площади живого сечения соответственно патрубков ГИУ и коллектора;

k, k_1 – коэффициенты пересчета.

ГИУ рассматривается как система из шести поворотов на 90° (три на входе и три на выходе). Причем диаметр двух из них принимается равным $d_{\text{ВН}}$, а остальных четырех – равным диаметру входного или выпускного патрубка ГИУ (эти диаметры равны между собой, обозначены $d_{\text{ВХ}}$). Если рассматривать в целом систему ГИУ–коллектор, то следует учесть сопротивления по длине коллектора, диаметр которого обозначен d_k , а также потери напора при входе в ГИУ и на выходе из него.

Тогда в общем случае имеем следующее выражение для потери напора в системе:

$$h_w = h_l + h_m = \left(\lambda \cdot k_1 \frac{l_k}{d_k} + 4\zeta_{90} \cdot k + 2 \cdot \zeta_{90} + \zeta_{\text{ВХ}} \cdot k + \zeta_{\text{ВЫХ}} \cdot k_1 \right) \cdot \frac{v_{\text{ВН}}^2}{2g}, \quad (7)$$

где λ – коэффициент гидравлического трения;

l_k – длина участка коллектора, работающего полным сечением, м;

k, k_1 – коэффициенты приведения скорости.

Для расчетов величину коэффициента гидравлического трения λ рекомендуется определять по зависимостям для развитого турбулентного движения потока в коллекторе, приведенным в гидравлических справочниках, например по формуле Ф.А. Шевелева:

$$\lambda = \frac{0,021}{d_k^{0,3}}. \quad (8)$$

Выражение в скобках из формулы (7) представляет собой сумму коэффициентов сопротивления, приведенную к определенной скорости $v_{\text{ВН}}$. Обозначив ее $\Sigma\zeta_{\text{П}}$, можем записать:

$$v_{\text{ВН}} = \frac{1}{\sqrt{\Sigma\zeta_{\text{П}} + 1}} \cdot \sqrt{2gH}. \quad (9)$$

Зная эту скорость, легко вычислить полный расход через ГИУ, работающее под напором H (то есть в нормальном режиме):

$$Q = \omega_{\text{вн}} \cdot v_{\text{вн}} \cdot (10)$$

Полученный из соотношения (10) расход позволяет определить скорость в любой части системы, для которой известна площадь живого сечения.

3 Заключение

Расчет, проведенный для исследованной автором конструкции ГИУ, показал, что величина расхода $Q = 2,5$ л/с, скорость в коллекторе при этом составит $v_k = 0,32$ м/с. Очевидно, что условие (1) в данном случае выполняется. Исследуемое ГИУ должно быть признано эффективным.

Экология

УДК 658.382

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБУЧЕНИЯ РАБОТНИКОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ВОПРОСАМ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Г.К. Зальцман, О.И. Тихомиров, С.А. Лебедев

Аннотация

На предприятиях ОАО «РЖД» ежегодно получают травмы более тысячи человек, причем до двухсот случаев заканчивается смертельным исходом. Основная причина травматизма – неправильные действия человека. Уменьшить травматизм можно путем повышения эффективности обучения работающих. Для этого была создана серия мультимедийных компьютерных обучающих программ. Использование в них трехмерной анимационной графики, оцифрованных видеофильмов, фотографий, рисунков и звукового сопровождения позволило резко поднять интерес к изучению вопросов охраны труда. Эти разработки получили высокую оценку на предприятиях ОАО «РЖД», которые приобрели уже более 3000 копий программ.

Ключевые слова: автоматические обучающие системы (АОС), травматизм, безопасность труда, мультимедийные технологии.

Введение

Желание использовать компьютер в качестве «электронного учителя» для обучения работников вопросам безопасности труда возникло давно, однако только в последние годы, после того как на предприятиях железнодорожного транспорта получили широкое распространение

компьютеры, позволяющие работать с мультимедийными данными (графикой, видео и звуком), появилась реальная возможность для этого. О средствах разработки мультимедиа изложено в литературе [1], но для проектирования обучающих систем этих знаний недостаточно.

Потенциальным разработчикам будут полезны знания об их создании (применяемая методология, дидактические приемы, структурирование учебного материала, особенности интерфейса, учет психологических факторов), а также сведения об опыте и результатах применения таких программ на предприятиях.

1 Объективная необходимость совершенствования технологии обучения вопросам охраны труда

Давно прошли те времена, когда был популярен лозунг: «От техники безопасности – к безопасной технике», который подразумевал, что создание безопасной техники позволит решить проблему производственного травматизма. Сейчас практически всем ясно, что, во-первых, создание абсолютно безопасной техники и технологии невозможно в принципе, во-вторых, такая постановка вопроса не учитывает так называемый человеческий фактор.

Основной причиной несчастных случаев на производстве являются неправильные действия человека (ошибки и нарушения). Чаще всего нарушения совершают сами пострадавшие. Результаты ряда исследований говорят о том, что как минимум 90% несчастных случаев связано с человеческим фактором. Поэтому одни только технические и организационные мероприятия не могут полностью решить задачу снижения травматизма. Необходимо целенаправленное воздействие на самих работающих, причем не только с целью повышения уровня их знаний по охране труда, но и для того, чтобы изменить их поведение и отношение к вопросам безопасности.

Традиционная форма обучения, включая инструктажи, зачастую навеивает скуку. Причем трудно винить в этом инженера по охране труда или других лиц, проводящих обучение, поскольку слишком много сил и времени надо потратить на организацию таких занятий.

Выход заключается в том, чтобы в рамках отведенного для этого времени резко увеличить качество обучения, оказывая совокупное воздействие на работника: не только информационное, но и эмоциональное. Этого можно добиться путем использования компьютерных технологий обучения.

2 Требования к обучающим компьютерным программам

В автоматических обучающих системах (АОС) возможно использование компьютерных учебных программ различных типов [2], например контролирующих, справочных (информационно-поисковых), тренажеров-имитаторов и т. д. Для поставленной цели (снижения

травматизма) наиболее эффективными представляются мультимедийные компьютерные обучающие программы. В отличие от унылых и безликих программ по контролю знаний обучающие программы должны быть яркими и занимательными. По отношению к ним справедливо сказать, что «все жанры хороши, кроме скучного». Обучение с помощью компьютера должно доставлять удовольствие. Даже очень важные положения, изложенные сухо и неинтересно, вызовут отторжение обучаемого персонала.

Каждая разработанная авторами программа из серии, получившей название «Наглядная техника безопасности», представляет собой комплексное учебное пособие, включающее в себя два основных компонента: собственно электронное пособие (блок для изучения материала) и систему контроля знаний (блок, включающий в себя контрольные вопросы, оценку правильности ответов и разъяснение ошибок, подведение итогов опроса).

Поскольку программы предназначены для работников, которые в большинстве своем не имеют опыта работы с компьютером, интерфейс программ предусмотрен максимально простым. За все время работы можно вообще не касаться клавиатуры, достаточно освоить работу с мышью. При желании можно применять режим автоматического «проигрывания» информационного блока программы в виде «слайд-фильма» (тогда вообще не придется управлять работой программы).

Схема перемещений по различным блокам программы имеет древовидную структуру и не более 2–3 уровней. Более развитая система гиперссылок сделала бы программу похожей на справочную систему, а это, как показывает практика, ухудшает четкость восприятия и затрудняет усвоение материала. Более того, при низкой компьютерной подготовке потенциального пользователя работа с чрезмерно разветвленной системой может оказаться вообще невозможной.

Компьютерный самоконтроль знаний также организован предельно просто, чтобы внимание работника было сосредоточено только на содержательной части вопросов и не отвлекалось на осмысление того, каким образом ему ввести свой ответ в компьютер. Используется самая простая схема ответов, предусматривающая выбор из предложенного списка вариантов ответов путем указания мышью. Работники, отвечая на вопросы, не боятся получить неудовлетворительную оценку, поскольку цель опроса – самоконтроль и возможность самостоятельно убедиться, насколько правильно усвоен тот или иной материал. Программы выдают оперативные сообщения о правильности каждого ответа и разъясняют, в чем заключается ошибка. Таким образом, вне зависимости от уровня начальных знаний каждый человек сможет успешно дойти до конца программы и получить правильные ответы на все вопросы.

3 Преимущества компьютерных технологий обучения

Во многом преимущества компьютерных технологий обучения связаны с тем, что пропускная способность зрительного анализатора, с помощью которого человек получает информацию от компьютера, значительно выше, чем пропускная способность, например, слухового анализатора. Не случайно инженерная психология утверждает, что 80–90% информации человек получает с помощью зрения, а в старой поговорке говорится, что «лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать».

При получении информации в виде изображений «включается» правое полушарие головного мозга, которое отвечает за формирование образного мышления, а это способствует переводу информации в подсознательную память. Информация в виде изображения воспринимается от целого к частному, а не наоборот, как, например, при восприятии текстов.

При использовании компьютера появляется возможность индивидуализации обучения, т. к. каждый человек может работать в своем темпе в соответствии со своим темпераментом и способностями. При необходимости можно задержаться на изучении какого-либо вопроса, вернуться к уже пройденному материалу. Практически человек сам управляет процессом своего обучения. Повышается активность обучаемого работника, что обусловлено необходимостью постоянно вести диалог с компьютером.

Возрастает сосредоточенность обучающегося по сравнению со слуховым восприятием (без визуального представления информации), когда слушатель в силу разных причин отвлекается, перестает понимать материал и теряет интерес к предмету изучения. Использование сразу двух каналов информации (зрительного и слухового) еще более повышает КПД.

Важно, что при использовании компьютерных обучающих программ не только затрагивается область профессиональных знаний работника, но и задействуется эмоциональная сфера. Фотографии и видеофрагменты с мест происшествий (авария крана, паника при пожаре, интервью с пострадавшим в больнице, результаты столкновения на железнодорожном переезде и т. п.) оставляют более яркий след в памяти, чем словесное описание. Это немаловажно, поскольку причиной несчастных случаев часто является даже не отсутствие необходимых знаний, а потеря чувства опасности.

4 Опыт применения мультимедийных обучающих компьютерных программ серии «Наглядная техника безопасности»

Сотни предприятий ОАО «РЖД» уже приобрели и используют эти программы для обучения своих работников вопросам охраны труда. Тираж реализованных дисков превысил три тысячи. Тематика программ серии «Наглядная техника безопасности» уже сейчас достаточно обширна: Требования безопасности при работе за компьютером; Пожарная безопасность; Электробезопасность; Первая доврачебная помощь;

Безопасность труда при сварочных работах; Требования безопасности при работе с аккумуляторами; Безопасность труда при работе с ручным слесарным инструментом; Безопасность движения по железнодорожным переездам; Безопасность перевозок грузовым автотранспортом; Безопасность при техническом обслуживании и ремонте автомобилей; Безопасность при работе на металлорежущих станках; Безопасность труда при деревообработке»; Новые знаки безопасности; Требования безопасности при обслуживании сосудов под давлением; Требования безопасности при эксплуатации погрузчиков; Безопасность при работе с ручным электро- и пневмоинструментом; Безопасность при производстве работ грузоподъемными машинами; Безопасность при работе на железнодорожных путях и др.

Получили распространение две формы использования программ: проведение занятия преподавателем (инженером по охране труда, непосредственным руководителем, другим ответственным за обучение лицом) или самостоятельная работа обучаемых с программой. В первом случае занятие можно проводить одновременно с несколькими работниками (их количество зависит только от числа посадочных мест и размеров монитора). Лицо, проводящее занятие, управляет передвижением по программе, а при необходимости может задержаться на любом этапе и сделать свои комментарии.

Во втором случае работа может быть как индивидуальной, так и групповой (по 2–4 человека за одним компьютером). При индивидуальной работе все вопросы прорабатываются более тщательно, темп работы, как правило, невысок. Зато при работе за компьютером нескольких человек возникает более непринужденная обстановка, работники коллективно обсуждают спорные моменты и в целом выполняют работу быстрее.

В любом случае изменяется роль проводящего занятия. На таких занятиях, как правило, он выступает не в качестве распространителя информации, а в роли консультанта, получая возможность акцентировать внимание на наиболее сложных вопросах.

5 Заключение

Опыт применения компьютерных программ из серии «Наглядная техника безопасности» на многих предприятиях свидетельствует, что мультимедийные компьютерные технологии обучения вопросам охраны труда с интересом встречены работниками, и в целом это направление представляется весьма перспективным.

Библиографический список

1. Вильямс Дж. Средства разработки мультимедиа // Цифровое видео. – 1996. – № 1. – С. 47–53.
2. Тихомиров О.И., Зальцман Г.К., Лебедев С.А. Как использовать мультимедийные компьютерные программы // Охрана труда и социальное страхование. – 2000. – № 12. – С. 14–16.

УДК 658.382:656.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «ШУМ» ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ШУМОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРЕДПРИЯТИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

А.В. Панин, А.М. Тинус, О.В. Григорьева

Аннотация

В научных исследованиях для обработки экспериментальных данных все шире используются компьютерные программы. Одной из таких программ является программный комплекс «Шум» (ПК «Шум»), позволяющий решать задачу определения акустического воздействия от множества разнотипных источников шума как в отдельности, так и при их одновременной работе. Рассмотрены возможности ПК «Шум» при исследовании шумового воздействия на окружающую среду локомотива ТЭП-60 и типового предприятия железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: шум, программный комплекс «Шум», защита от шума.

Введение

Шум стал одним из основных загрязнителей окружающей среды. Самый распространенный и мощный источник городского шума – транспорт, который составляет 60–80% всех шумов, воздействующих на человека. Поэтому особую актуальность имеет исследование шумового воздействия на окружающую среду различных промышленных объектов, в частности железнодорожного транспорта. В научных исследованиях все шире для обработки экспериментальных данных используются компьютеры. Это позволяет быстро и точно обрабатывать большие объемы информации. Фирма НПП «ЛОГУС» специализируется на разработке компьютерных программ экологического профиля. Одной из таких программ является программный комплекс «Шум» (ПК «Шум»)¹.

1 Программный комплекс «Шум»

ПК «Шум» предназначен для расчета санитарно-защитной зоны (СЗЗ) по фактору негативного шумового воздействия на человека и окружающую среду. Расчет осуществляется на основании «Рекомендаций по разработке проектов санитарно-защитных зон промышленных предприятий, групп предприятий» (1998) и СНиП II-12-77 «Защита от шума». СЗЗ предприятия определяется путем объединения зон акустического дискомфорта от объектов, расположенных на его территории. Комплекс позволяет создавать карты шума, которые можно накладывать на существующие планы местности для определения районов, подвергающихся шумовому воздействию.

¹ Сертификат соответствия МПР № СРС.RU.51.0002.000003 от 15.03.2002.

Программа не требовательна к аппаратным и программным ресурсам, что позволяет использовать ее на большинстве компьютеров. Существенным плюсом является наличие справки по любому разделу программы. Программный комплекс имеет интерфейс, свойственный большинству программ операционной системы Windows.

2 Применение ПК «Шум» к задачам железнодорожного транспорта

В качестве примера использования ПК «Шум» для исследования шумового воздействия на окружающую среду предприятий железнодорожного транспорта было построено две модели.

2.1 Модель 1. Локомотив ТЭП-60

Для исследования шумового воздействия на окружающую среду локомотива ТЭП-60 (модель 1) в качестве исследуемого участка рассматривался 200-метровый фрагмент железной дороги, примыкающий к населенному пункту. Между железной дорогой и населенным пунктом располагается естественная полоса леса шириной около 20 м. При помощи ПК «Шум» определены уровни звукового давления при наличии и отсутствии лесного массива.

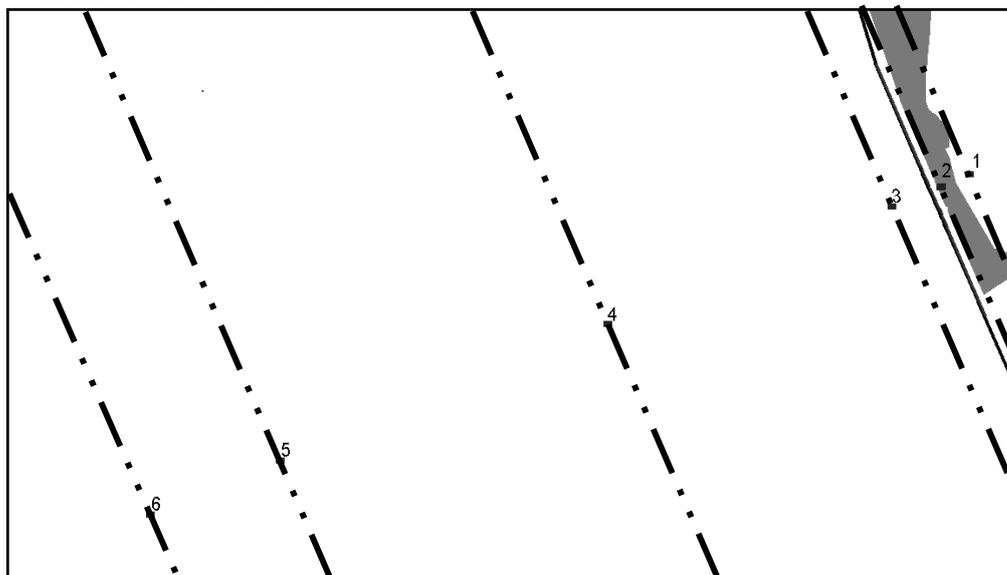


Рис. 1 Изолинии уровней звука (1–6)

На рис. 1 представлены изолинии уровней звука:

- 1 – на границе леса и населенного пункта;
- 2 – в начале лесного массива;
- 3 – на эквивалентном изолинии 1 расстоянии от железнодорожного полотна, но в отсутствии леса;
- 4, 5, 6 – на расстоянии 250, 500 и 600 м соответственно.

Расчеты дают соответственно 53 дБ (изолиния 1), 82 дБ (изолиния 2), 76 дБ (изолиния 3), 61 дБ (изолиния 4), 55 дБ (изолиния 5) и 53 дБ (изолиния 6). Снижение с 82 дБ до 53 дБ на расстоянии 29 м обусловлено

наличием леса. Такое же снижение без шумозащитных средств может быть достигнуто на расстоянии не менее 600 м от железной дороги (изолиния б).

В качестве искусственных средств защиты от шума были рассмотрены экраны из кирпича (толщина 25 см), железобетона (толщина 15 см) и шлакобетона (толщина 15 см) высотой 5 м. Экран был расположен на расстоянии 7 м от дороги. Звукоизолирующая способность использованных материалов находится в пределах 43–52 дБ.¹

Результаты расчетов показали, что природа материалов не оказывает влияния на уменьшение уровня звука и на расстоянии 29 м уровень звукового давления составляет для всех материалов 65 дБ.

2.2 Модель 2. Типовое предприятие железнодорожного транспорта

Во втором случае была создана модель типового предприятия железнодорожного транспорта. При моделировании были использованы планы и схемы типовых предприятий и промплощадок. В соответствии с этими планами была согласована площадь территории построенной модели и основные принципы расположения объектов, были выбраны типовые производственные цеха и вспомогательное производство. В модели снижение шума достигается за счет подбора материалов строительных конструкций. В данном случае рассматривались два варианта: материал стен и различные виды остекления. Контрольные точки брались на границе санитарно-защитной зоны. С учетом различной звукоизолирующей способности строительных конструкций были проведены расчеты с использованием ПК «Шум».

Анализ результатов шумового воздействия на границе СЗЗ показал, что материал стен (в данном случае железобетон и кирпичная кладка) не оказывает существенного влияния на уровни звука. Следовательно, при выборе материала стен фактор звукопоглощения не будет оказывать существенного влияния. Здесь на первом месте будут выступать экономические, эстетические и другие факторы. Наибольшее влияние на звукоизоляцию оказывает вид остекления. При различных видах остекления уменьшение уровня звука может достигать 16–22 дБ.

Самая плохая звукоизоляция оказывается при использовании в качестве материала стен железобетона с одинарным остеклением оконных проемов. Наилучшая звукоизоляция достигается при применении кирпичной кладки и стеклоблоков. Наиболее рациональным вариантом для снижения уровня звука является применение железобетонных стен и стеклоблоков.

3 Заключение

¹ Инженерная экология / Под ред. проф. В.Т. Медведева. – М.: Гардарики, 2002. – 687 с.

Таким образом, ПК «Шум» позволяет оценить степень шумового воздействия на окружающую среду не только с учетом существующих условий, но и с учетом применения различных шумозащитных мероприятий с целью выбора наиболее рационального из них.

УДК 577.4:528.921

МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧНОСТИ И КАЧЕСТВА ПРИРОДОЗАЩИТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. ИНДЕКС IEQ

Т.С. Титова

Аннотация

Предлагается методика комплексной оценки влияния новых природозащитных технологий на геоэкологическую обстановку. Для оценки влияния вводится понятие индекса экологичности и качества IEQ, значения которого лежат в диапазоне от 0 до 1. Применение данной методики позволяет комплексно оценить влияние различных технологий на геоэкологическую обстановку региона.

Введение

Сложившаяся в России система природопользования привела к возникновению в ряде регионов страны сложных экологических ситуаций. Это вызывает необходимость разработки новых методов оценки экологичности и качества применяемых технологий.

Предлагаемая методика направлена на получение оценки новой технологии в аспекте рассмотрения ее влияния на геоэкологическую обстановку региона, в котором предполагается ее использование.

Наиболее часто стоит задача определить, оказывает ли изучаемая технология (как правило, речь идет о технологиях, предлагаемых для внедрения) влияние на геоэкологическую обстановку (природоохранные технологии).

Вторая группа задач посвящена сбережению природных ресурсов, то есть исследуются технологии, позволяющие уменьшить потребление природных ресурсов при обеспечении решения стоящих задач (ресурсосберегающие технологии).

Третья группа задач направлена на улучшение геоэкологической обстановки и необходимость оценить эффективность предлагаемых технологий (технологии утилизации).

1 Подход к комплексной оценке технологии

Технология аналитически оценивается в различных аспектах (воздействие на экологическую обстановку, качество технологии и другие) – индекс экологичности и качества (IEQ) формируется как

средневзвешенная сумма оценок по каждому аспекту. Предполагается, что чем выше значение индекса IEQ , тем выше качество технологии. Основная идея введения индекса состоит в том, что любой технологический процесс рассматривается в различных аспектах, для каждого аспекта формируется оценка в рамках единой шкалы (в диапазоне от 0 до 1), а средневзвешенная сумма данных оценок (суммирование с учетом весовых коэффициентов) позволяет получить комплексную оценку экологичности и качества технологии (индекс IEQ); его значения также лежат в диапазоне от 0 до 1.

При оценивании технологии рекомендуется рассматривать по крайней мере две составляющие: экологическую и качество продукта (рис. 1).

При этом важно назначение рассматриваемой технологии.

1. Для природоохранных технологий необходимо, чтобы значение IE после внедрения технологии ($IE_{\text{после}}$) практически не отличалось от значения IE до применения ($IE_{\text{до}}$) рассматриваемой технологии, $IE_{\text{после}} = IE_{\text{до}}$. Для ресурсосберегающих технологий и технологий утилизации экологическая обстановка должна улучшаться, соответственно, $IE_{\text{после}} > IE_{\text{до}}$.

2. Для любых технологий качество продукта должно повышаться, поэтому необходимо, чтобы выполнялось условие $IQ_{\text{после}} > IQ_{\text{до}}$.

3. Средневзвешенная оценка, полученная на основе оценок экологичности и качества технологии, определяет прогрессивность принятого решения в комплексе (IEQ).

Предлагаемая методология комплексной оценки влияния новых природоохранных технологий на геоэкологическую обстановку включает описание принципов и технологию формирования IEQ , алгоритмы вычисления соответствующих оценок на каждом этапе.

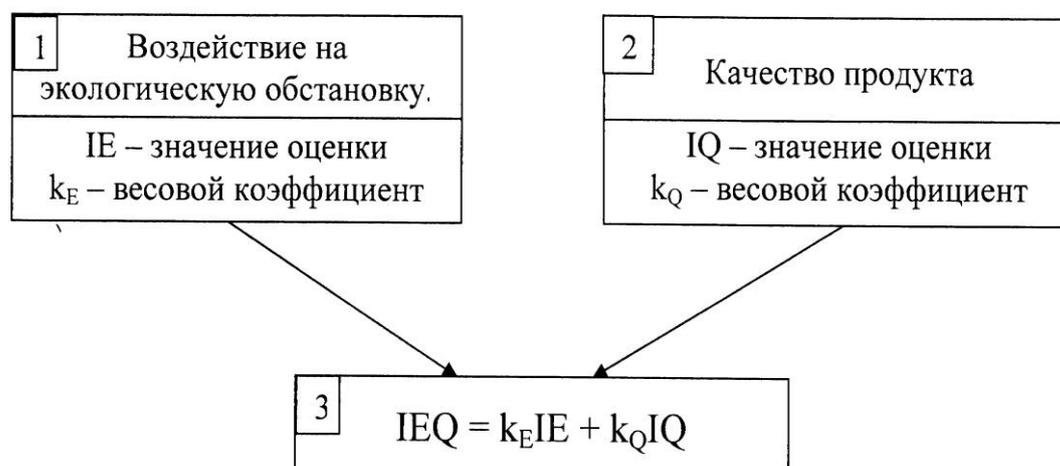


Рис. 1 Формирование индекса экологичности и качества (IEQ)

2 Этапы формирования IEQ

1-й этап. Формализация целей, решаемых технологией, предлагаемой к внедрению. На этом этапе формируется модель геоэкологической обстановки региона и определяются показатели качества технологии (рис. 2). При этом нет необходимости строить полную модель геоэкологической обстановки региона. Достаточно описать те показатели, на которые может оказать влияние новая технология.

2-й этап. В соответствии с построенной на первом этапе моделью осуществляется анализ геоэкологической обстановки региона на текущее время. Результатом второго этапа является уточненная модель геоэкологической обстановки региона (рис. 3), описывающая влияние анализируемой технологии на геоэкологию. Уровень, содержащий показатели, будем называть элементарным (Аспект 1.1, Аспект 2.1, Аспект 3.1, Аспект 3.2).

3-й этап. Осуществляется мониторинг геоэкологической обстановки данного региона во время экспериментальной проверки функционирования новой технологии и ее опытной эксплуатации. Полученные результаты наблюдений статистически обрабатываются; для каждого показателя вычисляются:

среднестатистическое значение

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x \quad (1)$$

и стандартное отклонение

$$\sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}}. \quad (2)$$

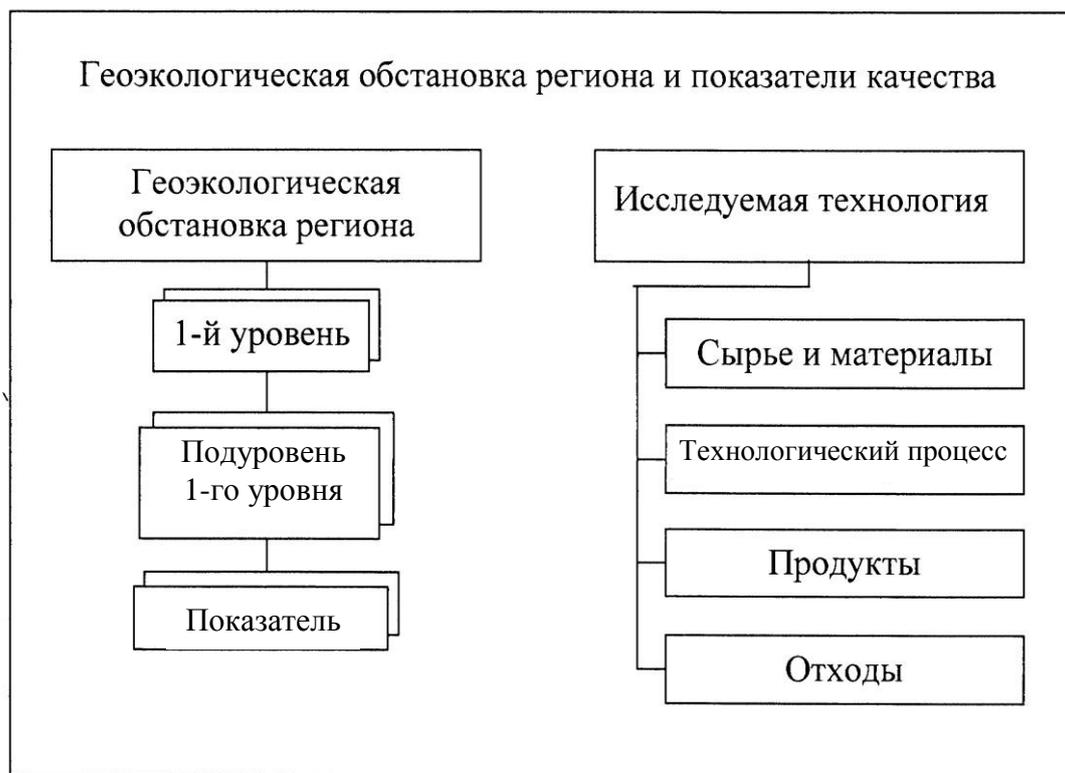


Рис. 2 Модель геозэкологической обстановки региона

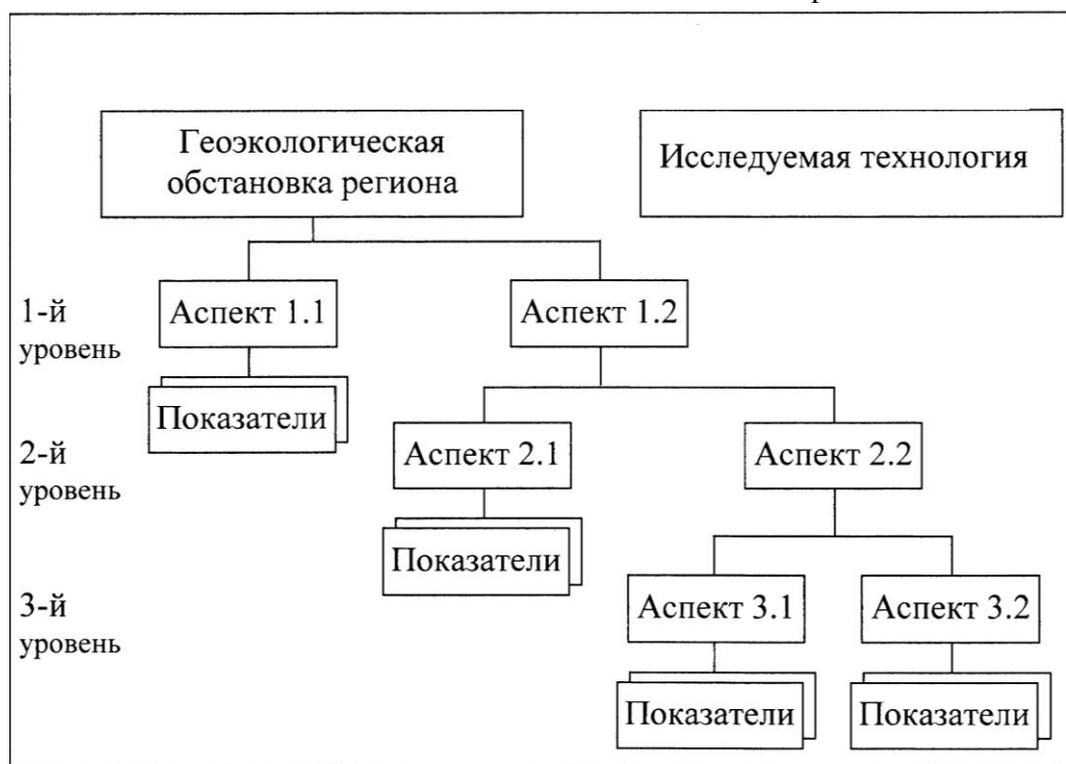


Рис. 3 Уточненная модель геозэкологической обстановки региона и показатели качества

4-й этап. Формирование математической модели оценки влияния исследуемой технологии на геозэкологическую обстановку региона и ее качества. Всем показателям присваиваются весовые коэффициенты (kP_i). Каждому уровню, имеющему подуровни, присваиваются весовые

коэффициенты для всех его подуровней (kL_j). При этом предполагается, что сумма весовых коэффициентов на каждом уровне равна 1. Для каждого показателя строится зависимость экологичности и качества технологии от значения показателя (IE_i – индекс экологичности i -го показателя или IQ_i – индекс качества i -го показателя). Эта зависимость строится на основе результатов мониторинга геоэкологической обстановки региона. Значение индекса экологичности и качества по каждому показателю, полученное по соответствующей методике, лежит в диапазоне от 0 до 1. Оптимальному значению показателя соответствует 1, худшему значению показателя – 0.

5-й этап. Вычисление комплексной оценки рассматриваемой технологии на основе результатов мониторинга, полученных на 3-м этапе. Оценка осуществляется по среднестатистическим значениям. На данном этапе для каждого показателя определяется (аналитически или графически – по гистограмме) значение его индекса IE или IQ . На каждом элементарном уровне вычисляется средневзвешенное значение комплексной оценки, для чего суммируются произведения значения индекса IE (IQ) и весового коэффициента показателя (kP): $IEQ_j = \sum IE_{iE} \cdot kP_{iE} + \sum IQ_{iQ} \cdot kP_{iQ}$. Для каждого уровня, состоящего из подуровней, вычисляется средневзвешенное значение $IEQ_L = \sum IEQ_j \cdot kL_j$. Таким образом формируются комплексные оценки объектов, входящих в модель геоэкологической обстановки региона. Значение комплексной оценки технологии равно сумме произведений значения комплексной оценки объекта и его весового коэффициента $IEQ_L = \sum IEQ_{L,j} \cdot kL_{L,j}$.

6-й этап. Вычисление отклонений от комплексной оценки (IEQ) на основе средних отклонений по каждому показателю. На всех уровнях вычисляются индексы IEQ . Абсолютная величина разности данной комплексной оценки и комплексной оценки, полученной на 5-м этапе, дает требуемое отклонение. Данная величина характеризует точность вычисления оценки.

3 Построение зависимости экологичности и качества технологии от значения показателя

Для построения зависимости необходимо подготовить следующие данные для каждого показателя:

оптимальное значение показателя ($P_{\text{опт}}$), т. е. значение показателя, которое желательно достичь при применении рассматриваемой технологии;

интервал точности (погрешности) оптимального значения, т. е. левую ($P_{\text{опт}} - \delta_{\text{л}}$) и правую ($P_{\text{опт}} + \delta_{\text{п}}$) границы значений, в пределах которых значение считается совпадающим с оптимальным значением. Для

показателей, оптимальные значения которых получены по результатам мониторинга, интервал задается стандартным отклонением от среднего значения (σ);

значения, регламентируемые требованиями нормативных документов, в том числе нормативы установленного предельно допустимого содержания загрязняющих и токсических веществ, способных оказывать неблагоприятное воздействие на окружающую природную среду и человека (ПДК); классы опасности (токсичности) и соответствующие им значения показателя;

интервал рассматриваемых значений показателя $[a; b]$.

Алгоритм построения зависимости ИЕ (IQ) от значения показателя состоит из следующих шагов.

1. Разбить интервал рассматриваемых значений показателя $[a; b]$ на диапазоны падения качества. Данную задачу легче решать графически. Для этого отметим на оси: а) интервал рассматриваемых значений; б) оптимальное значение; в) интервал точности (погрешности) оптимального значения; г) значения, регламентируемые требованиями нормативных документов. Таким образом мы получаем базовое разбиение интервала. Записав значения полученных на оси точек слева направо (по возрастанию), имеем аналитическое выражение для разбиения интервала на диапазоны падения качества. В результате получим последовательность значений $a = D_0 < D_1 < D_2 < \dots < D_n = b$, где D_{i-1} , D_i – левая и правая границы i -го диапазона. Тогда $(D_i - D_{i-1})$ – длина диапазона.

2. Разбить некоторые из полученных диапазонов на поддиапазоны. Это действие позволит построить зависимость ИЕ (IQ), более точно отражающую изменение экологичности (качества) технологии.

3. Каждому из полученных диапазонов присвоить коэффициент падения качества ($KPK_i > 0$). Он характеризует уровень падения качества на диапазоне значений показателя.

4. Для построения функции нормирования значения показателя по качеству вычисляем коэффициент нормирования интервала рассматриваемых значений показателя (kN_{int}):

$$kN_{int} = \sum KPK_i \cdot (D_i - D_{i-1}). \quad (3)$$

5. Для каждой границы диапазона вычисляем нормированное значение индекса по следующему правилу. Оптимальному значению показателя (P_{opt}) соответствует 1:

$$IE_{opt} = 1 \quad (IQ_{opt} = 1). \quad (4)$$

Если оптимальное значение находится левее диапазона, т. е. $P_{\text{опт}} \leq D_{i-1}$, то значение на правой границе диапазона вычисляется следующим образом:

$$\text{IE}_i = \text{IE}_{i-1} - \frac{\text{КПК} \cdot (D_i - D_{i-1})}{kN_{\text{int}}}. \quad (5)$$

Если оптимальное значение находится правее диапазона, т. е. $P_{\text{опт}} \geq D_i$, то значение на левой границе диапазона находится по формуле:

$$\text{IE}_{i-1} = \text{IE}_i - \frac{\text{КПК} \cdot (D_i - D_{i-1})}{kN_{\text{int}}}. \quad (6)$$

Ниже приведены результаты построения зависимости экологичности технологии (IE) от значения показателя. Интервал рассматриваемых значений [0; 6,22]; оптимальное значение 3,11; количество диапазонов 12 (таблица, рис. 4).

Границы диапазона		Номер диапазона	КПК _i	Границы диапазона		Номер диапазона	КПК _i
D_{i-1}	D_i			D_{i-1}	D_i		
$D_0 = 0$	$D_1 = 0,622$	1	0,1	$D_6 = 3,11$	$D_7 = 3,266$	7	0,001
$D_1 = 0,622$	$D_2 = 1,555$	2	2,5	$D_7 = 3,266$	$D_8 = 3,421$	8	1
$D_2 = 1,555$	$D_3 = 2,488$	3	1,9	$D_8 = 3,421$	$D_9 = 3,732$	9	2,5
$D_3 = 2,488$	$D_4 = 2,799$	4	1,5	$D_9 = 3,732$	$D_{10} = 4,665$	10	4
$D_4 = 2,799$	$D_5 = 2,955$	5	1	$D_{10} = 4,665$	$D_{11} = 5,598$	11	0,1
$D_5 = 2,955$	$D_6 = 3,11$	6	0,001	$D_{11} = 5,598$	$D_{12} = 6,220$	12	0,01

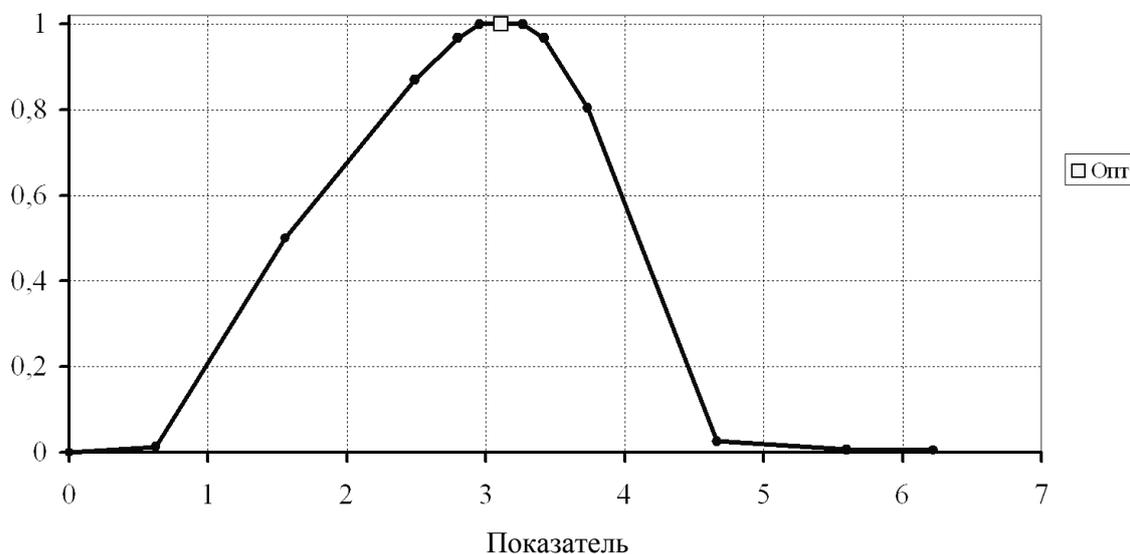


Рис. 4 Зависимость экологичности технологии (IE) от значения показателя

4 Заключение

Разработанная методика построения структурно-аналитической модели влияния исследуемой технологии на геоэкологическую обстановку позволяет получить ее комплексную оценку, которая вместе с оценкой качества создаваемой технологии формирует новый показатель, названный индексом экологичности и качества (IEQ). Особенностью формирования индекса является система расчета, позволяющая приводить значение каждого показателя, независимо от его единицы измерения и интервала, к единой безразмерной величине в диапазоне от 0 до 1.

Методология включает принцип построения структурной модели влияния технологии; определение подхода к построению зависимости экологичности и качества по конкретному показателю от его значения; принцип нормирования значений показателей, описывающих влияние на геоэкологическую обстановку и на качество технологии; назначение весовых коэффициентов основным показателям и группам показателей; алгоритм получения комплексной оценки влияния исследуемых технологий на геоэкологическую обстановку

Библиографический список

1. **Применение коэффициента качества** при создании новых систем / А. Гамаюнов, В. Липинский, А. Володин, Т. Титова // III Междунар. научно-техн. конф.: Сб. докладов. – Алушта, Украина, 1997. – С. 92–96.
2. **Титова Т.С.** Проблемы новых технологий на транспорте и их экологическая оценка // Новые исследования в материаловедении и экологии: Сб. научн. тр. – СПб: ПГУПС, 2003. – Вып. 3. – С. 117.

Экономика и социальное управление

УДК 656.01.001.57

О НЕОБХОДИМОСТИ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ТРАНСПОРТЕ

В.В. Ильин, Н.М. Сидоров

Аннотация

Современные интеграционные процессы в мире с необходимостью требуют комплексного подхода к научным исследованиям, интеграции технических, естественных и общественных наук. Это особенно видно на примере транспортных наук, т. к. именно транспорт выступает как универсальная коммуникационная система. Поэтому одной из главных задач университетского образования становится подготовка специалистов в междисциплинарных областях транспортной науки, что невозможно без создания научно-исследовательских структур, изучающих и координирующих комплексные проблемы транспорта.

Ключевые слова: комплексные исследования на транспорте, социология транспорта, коммуникационная система, высшее образование, интеграция.

Введение

Как известно, в последнее время наблюдаются кризисные явления в работе транспорта. Чтобы дать всесторонний анализ наметившихся диспропорций в системе человек–общество–транспорт, необходимы усилия специалистов как технических, так и общественных наук. Однако социологи, философы до настоящего времени практически не обращали внимание на проблемы транспорта. Отдельные социологические работы не выходили за рамки конкретных исследований.

Вместе с тем ответы на вопросы: каковы закономерности развития транспорта, есть ли альтернативные пути развития современного транспорта, на какой стадии разработки и каким образом принимаются сегодня решения о выборе альтернативных видов транспорта, могут ли социальные науки взять на себя какие-либо функции в процессе производства или формирования стратегии развития транспорта – вряд ли могут быть даны без учета общественных наук. Это говорит о необходимости специального рассмотрения транспорта со стороны социологии и объясняется также тем, что транспорт есть чрезвычайно сложное, полифункциональное явление. Через активную деятельность людей транспорт взаимодействует и с экономическим базисом, и с политической надстройкой общества.

1 Система комплексных исследований на транспорте

Ядро социологии транспорта: раскрыть сущность, состав, структуру и функции, источники и движущие силы, социальную роль и критерии развития транспорта через его отношения с природой, обществом и человеком. Иначе говоря, социологический аспект исследования транспорта замыкается на возможность моделирования общества с точки зрения обменных процессов между обществом и природой и внутри общества.

Создание такой модели позволит детерминировать развитие личности через систему прямых и опосредованных связей с транспортом. Социологические исследования транспорта, которые проводятся только в рамках индустриальной социологии, имеют существенные недостатки:

изучение функционирования транспортного процесса сведено к анализу производственных взаимосвязей труда и транспорта. Целесообразно исследовать генезис транспорта в его связи с потребностями человека;

социологическое рассмотрение транспорта ограничивается в основном изучением его влияния на общество, а не наоборот;

исследование транспорта начинается, как правило, после того «как факты имели место». С этим связан характерный временной шаг – не меньше 5, а то и 10 лет, с которым опубликование результатов социологических исследований отстает от фактического развития транспорта;

социологические исследования транспорта характеризуются одномерным, а потому безальтернативным понятием социальной действительности;

развитие транспорта в мире часто подчиняется не причинно-следственным закономерностям, а соображениями соглашений между политическими субъектами;

в социологический анализ транспорта до сих пор не включен субъект социальных процессов.

С учетом этих недостатков и следует рассматривать те методологические предпосылки, которые должны лежать в основе системных исследований транспорта. Изучение транспорта должно носить непременно комплексный характер и включать в себя взгляд на проблемы со стороны как технических наук о транспорте, так и общественных наук. Это определенный закономерный итог исторического развития общества, производства, транспорта и науки, а также самого технического знания о транспорте.

Необходимо учитывать, что современные виды транспорта и технологии подчинены как техническим, так и естественно-научным и общественным законам. Конкретно-исторические условия, имеющиеся ресурсы, наличие в обществе ценностных ориентаций, как правило,

принимаются во внимание при разработке транспортной политики государства. Исследование современных транспортных технологий и тенденций развития транспорта показывает, что эта новая форма организации знания может существовать и иметь свои формы и законы, учитывающие действующие механизмы развития общества, культуры, науки.

Глобализация транспорта, рост негативных транспортных последствий в конце 70-х годов XX века с необходимостью приводят к мысли об интеграции научных исследований в области коммуникационных процессов. Основная задача таких исследований – решение проблемы оптимальной технологической связи общества с природой комплексным подходом к изучению возможностей транспорта, его влияния на природные и социальные процессы.

В рамках данной идеи транспорт предстает в виде развивающейся системы со всеми законами строения, функционирования и развития внутреннего характера, а также во взаимосвязи со структурно-функциональными компонентами общества. Это новый, только еще формирующийся подход к транспорту, который включает в себя следующие основные направления.

1. Философско-методологический анализ транспорта как универсальной коммуникационной системы. Место транспорта в системе общественного производства, роль труда в саморазвитии и самоорганизации системы человек–транспорт. Транспорт превратился в «часть бытия человека», поэтому философия человека будет неполной без транспортной составляющей.

2. Социология транспорта – влияние транспорта на развитие цивилизации.

3. Экономика транспорта – место и роль транспорта в системе материального производства.

4. Техника транспорта – технические закономерности транспортного прогресса.

5. Транспортная эстетика и эргономика – раскрытие законов строения и создания новых видов транспорта через удовлетворение транспортных потребностей человека.

6. Транспортная психология – изучение проблемы взаимосвязи оператора в системе человек–транспорт, проблемы информационно-психологического взаимодействия человека с современным транспортом; взаимодействие человека и автоматизированной системы управления транспортом, создание «психологически приемлемого транспорта».

7. Политологические аспекты транспорта – глобализация транспорта предполагает рассматривать его как важнейший фактор внешней политики государств.

8. История транспорта – анализ источников, движущих сил и закономерностей развития транспорта в истории общества.

Определенные шаги в этом направлении уже сделаны. Существуют научные транспортные подразделения, занимающиеся экономическими и психологическими проблемами транспорта. Так, усилиями ученых-транспортников, а также Международной и Российской Академий транспорта создается категориальная база транспортной науки, а также предпринимаются попытки коллективных исследований общей теории транспорта.

Сейчас формируется целый ряд исследований, принципиально ориентированных на синтез технологий с целью достижения определенных целей или системы ценностей, результаты которых, по существу, не учитывают различий в видах транспорта: логистика, инфология, теория услуг, диакоптика и т. п. Каждый вид транспорта в сформированных этими науками моделях определяется только своими техническими характеристиками.

Наконец, сам факт появления Международной Академии транспорта, национальных и региональных академий транспорта, а также успешная их деятельность говорят о том, что и научное сообщество признает приоритет интеграционных процессов в науках о транспорте.

2 Заключение

В нашем Университете начата с подготовка специалистов, деятельность которых будет осуществляться в «пограничных» с транспортом областях человеческой деятельности. Организация учебного процесса требует при подготовке таких специалистов основательного знакомства с проблемами транспорта как целостной развивающейся системы.

Для реализации этого проекта необходимо создать в рамках Университета научно-исследовательские структуры по координации системных транспортных исследований.

УДК 338

МИНИМИЗАЦИЯ ТРАНСАКЦИОННЫХ ИЗДЕРЖЕК КАК ФАКТОР СОЗДАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНО ИНТЕГРИРОВАННЫХ ОБЪЕДИНЕНИЙ В РОССИЙСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

А.Н. Спасскова

Аннотация

Причины расширения границ промышленных предприятий вследствие замещения рыночной контрактации внутрифирменной требуют пристального внимания и изучения. Рассмотрены теоретические аспекты вертикальной интеграции в рамках транзакционного подхода. Приведены результаты исследования процессов вертикальной интеграции, проходящих в России в период трансформации экономики, с точки зрения экономической теории транзакционных издержек.

Ключевые слова: вертикальная интеграция, транзакционные издержки, специфичность актива, оппортунистическое поведение, институциональная перестройка экономики.

Введение

Интеграционные процессы вертикального типа явились одной из важнейших тенденций реорганизации российских промышленных предприятий в период рыночной трансформации экономики. Анализ процессов расширения границ российских предприятий способствует более полному и четкому пониманию основных проблем и логики функционирования их в специфических условиях перехода к рынку, а также позволяет высказывать предположения относительно эффективности существующих интегрированных структур в дальнейшем и возможных направлений их развития.

На сегодняшний день существует два основных теоретических подхода к изучению вертикальной интеграции: технологический, с точки зрения неоклассической экономической теории, и институциональный, с точки зрения новой институциональной экономической теории (НИЭТ). Бурное развитие НИЭТ в последние десятилетия отражает все возрастающий интерес экономистов-исследователей к причинам существования и механизмам функционирования фирмы как экономического института, альтернативного рынку, а также указывает на перспективность данного направления экономической науки в отношении возможностей теоретического обоснования процессов поведения фирм, наблюдаемых на практике.

1 Экономическая теория транзакционных издержек

Экономическая теория транзакционных издержек (ЭТТИ), являясь одним из направлений НИЭТ, опирается на следующие идеи и положения, сформулированные Р. Коузом [1].

- Основная причина существования фирмы – наличие издержек использования ценового механизма (транзакционных издержек).

- Фирма и рынок есть альтернативные способы организации одних и тех же транзакций. Выбор способа организации транзакций (фирма или рынок) должен основываться на сравнении транзакционных и операционных издержек по координации действий факторов производства на рынке и внутри фирм соответственно.

• Определяя оптимальный масштаб своих деловых операций, фирма руководствуется принципом минимизации трансакционных издержек.

Возрастающий интерес неоинституционалистов к интеграционным процессам вертикального типа становится совершенно понятным, если рассматривать вертикальную интеграцию в качестве альтернативного варианта развитию «с нуля» дополнительной стадии производственного цикла в границах существующей фирмы при разрешении проблемы «сделать самому или купить» в пользу внутрифирменной контрактации.

При этом объединение вертикального типа, заключающее в себе процесс перехода от рыночного способа организации транзакций к внутрифирменному и соответственное изменение границ фирмы-инициатора объединения, выступает в роли прекрасного объекта для проверки основных положений теории транзакционных издержек.

2 Вертикальная интеграция: транзакционный подход

Подход НИЭТ (ЭТТИ) к вертикальной интеграции отталкивается от различия возможных путей решения проблемы координации в экономических системах.

Столкнувшись с множеством неразрешенных вопросов, связанных с реализацией идеи «сравнения издержек» Р. Коуза, исследователи начали предпринимать попытки оценить не сами транзакционные издержки, а выявить факторы, влияющие на рост транзакционных издержек, сопровождающих рыночную транзакцию, то есть определить факторы, при наличии которых внутрифирменная контрактация будет являться предпочтительной.

Основанием для активного развития данного направления исследований послужили идея О. Уильямсона о параметризации транзакций и его открытие о влиянии фактора специфичности актива на рост издержек функционирования рыночного механизма. Согласно О. Уильямсону, издержки функционирования рыночного механизма сильно возрастают в условиях неопределенности и значительной степени специфичности активов, наличие которой порождает риск оппортунистического поведения партнеров. Фактору специфичности активов О. Уильямсон придает особое значение. При высокой специфичности активов привлекательность замены рынка внутренней организацией О. Уильямсон объясняет свойствами фирмы, которые он подразделяет на три категории: 1) стимулы; 2) управление; 3) неотъемлемые структурные преимущества [3].

На сегодняшний день подход к изучению причин перехода к внутрифирменной контрактации, основанный на исследовании влияния фактора специфичности актива, представляется наиболее разработанным и теоретически обоснованным среди иных подходов, существующих в рамках ЭТТИ.

3 Исследование процессов вертикальной интеграции в российской промышленности с точки зрения теории транзакционных издержек

Следование принципу методологического индивидуализма в рамках НИЭТ предполагает применение микроаналитического подхода при изучении фирм и обуславливает тот факт, что основу исследования процессов изменения границ предприятий в российской промышленности составил анализ конкретной экономической организации, а именно «Северсталь-групп» – одной из ведущих интегрированных бизнес-групп

(ИБГ) в российской промышленности. В ходе исследования проанализированы интеграционные процессы, инициируемые компанией ОАО «Северсталь» в период с 1993 по 2004 г.

3.1 Цели исследования

- Определить значимость фактора экономии на трансакционных издержках при создании вертикально интегрированных объединений.
- Установить, действительно ли специфичность активов и трансакционные издержки оппортунистического поведения являются одним из основных факторов, влияющих на решение о вертикальной интеграции.
- Выявить особенности интегрирования предприятий в России и сопоставить результаты данного исследования с результатами ранее проводимых исследований подобного рода за рубежом.
- Исследовать границы применения положений экономической теории трансакционных издержек при анализе интеграционных процессов.
- Определить перспективы вертикальной интеграции в российской промышленности.

3.2 Информационная база исследования

Учитывая проблемы операционализации теории трансакционных издержек, а также трудности получения производственно-финансовой информации (отчетности), анализ влияния трансакционных издержек на интеграционные процессы ОАО «Северсталь» был основан на подробном рассмотрении изменения состава ИБГ и ее организационной структуры, сопоставлении возможных мотивов, фактических результатов интеграционных процессов и условий внешней среды функционирования компании. Источниками информации для анализа являлись публикации в прессе, сайты ИБГ (головной компании и дивизионов), годовые отчеты ОАО «Северсталь», личные интервью с заместителем генерального директора по развитию ООО «Группа компаний "Северстальмаш"».

3.3 Результаты исследования

Выявлено многообразие факторов, влияющих на принятие решения о замене рыночного способа организации трансакций внутрифирменным.

Подтверждена гипотеза о значительном влиянии на создание вертикально интегрированных объединений в российской промышленности факторов, имеющих институциональную природу и определяющих уровень трансакционных, а не производственных издержек. При этом установлено, что наибольшее влияние оказали трансакционные издержки спецификации и защиты прав собственности и издержки функционирования государственного механизма, существование которых связано с институциональной перестройкой экономики, а не со

специфическими проблемами, возникающими в процессе контрактации экономических агентов. Отличительной особенностью данных издержек является то, что влияние их может носить повсеместный характер, то есть данные издержки могут определять действия экономических агентов, выступая в роли факторов внешней институциональной среды.

Другой отличительной особенностью трансакционных издержек спецификации и защиты прав собственности, а также издержек функционирования механизма является их способность при достижении определенного уровня блокировать (делать неактуальной, ненужной) саму возможность сравнения институциональных альтернатив. При этом решение о переходе к внутрифирменной контрактации принимается экономическими агентами не на основе сравнения трансакционных издержек при различных институциональных альтернативах, а на понимании того, что контрактация любым альтернативным способом приведет к катастрофическим убыткам. То есть институциональная перестройка экономики обусловила практически повсеместное существование такого уровня данных трансакционных издержек, при котором замена рыночной контрактации внутрифирменной является единственно возможным способом разрешения проблем взаимодействия экономических агентов.

Особенности экзогенной институциональной среды, обусловленные трансформацией экономики, предопределили установленное в ходе исследования отсутствие заметного влияния на интеграционные процессы трансакционных издержек, отражающих наличие специфических проблем взаимодействия хозяйствующих субъектов, в частности издержек ведения переговоров и оппортунистического поведения несмотря на наличие фактора специфичности активов.

4 Заключение

- Стремление минимизировать трансакционные издержки не является единственным фактором, определяющим переход от рыночного способа организации трансакций к внутрифирменному.

- Применение экономической теории трансакционных издержек для анализа изменения размеров организации имеет свои границы. Для получения более точных результатов необходимо изучение других возможных факторов, влияющих на решение о вертикальной интеграции.

- Концепция минимизации трансакционных издержек взаимодействия экономических агентов является убедительной при объяснении факта существования фирмы, но имеет ограниченные возможности в отношении обоснования целей ее функционирования.

- Учитывая мировые тенденции интеграции компаний и концентрации их на ключевых ресурсах с целью достижения экономии на масштабах производства, можно предположить, что по мере оздоровления

русской экономики будет возрастать число объединений горизонтального типа. Кроме того, можно ожидать, что наряду с ростом числа горизонтальных объединений будут проходить процессы дезинтеграции, связанные с отказом компаний, представляющих сегодня крупный бизнес России, участвовать в развитии непрофильных видов бизнеса.

Процессы дезинтеграции, скорее всего, коснутся тех видов бизнеса, в приобретении которых значительную роль играл спекулятивный мотив. Что касается существующих вертикальных связей с предприятиями-поставщиками ресурсов или предприятиями последующей стадии переработки ключевого продукта, созданных с целью поддержания и развития основного бизнеса, то, на наш взгляд, они достаточно оптимальны и устойчивы. Поэтому в отношении данных вертикальных объединений какие-либо серьезные изменения в ближайшее время вряд ли возможны.

Библиографический список

1. Коуз Р. Фирма, рынок и право. – М.: Дело, 1993.
2. Уильямсон О.И., Уинтер С.Дж. Природа фирмы. – М.: Дело, 2001.
3. Уильямсон О.И. Вертикальная интеграция производства: соображения по поводу неудач рынка (1971) // Вехи экономической мысли. Теория фирмы. Т. 2; Под ред. В.М. Гальперина. – СПб.: Экономическая школа, 1999.
4. Уильямсон О.И. Экономические институты капитализма. Фирмы, рынки, «отношенческая» контракция. – СПб.: Лениздат, 1996.

УДК 515 (09):515 (69)

ОСНОВЫ ТЕОРИИ АКСОНОМЕТРИИ В РУКОПИСНОМ НАСЛЕДИИ ПРОФЕССОРА Д.И. КАРГИНА

Н.А. Елисеев

Аннотация

Одним из основных видов проекций, применяемых в машиностроении, является аксонометрия. К середине XX века трудами русских учёных были созданы основы отечественной теории метода аксонометрических проекций. Работы профессора Д.И. Каргина (1880–1949) стали значительным вкладом в исследование истории и теории аксонометрии, являясь и сегодня актуальными. Многие из результатов его исследований периода 1941–1945 гг. не были напечатаны и недоступны широкому кругу читателей. Исследование рукописного наследия Каргина, хранящегося в Петербургском филиале Архива Российской Академии наук, позволяет дать полную картину его исследований в этой области начертательной геометрии.

Ключевые слова: наглядные изображения, история методов проецирования; теория аксонометрии, теорема Польке–Шварца, теорема Чевы, теорема Дезарга.

Введение

Более 450 научных трудов, монографий и учебных курсов представляют профессора Дмитрия Ивановича Каргина (1880–1949) как талантливого инженера, крупного учёного и педагога с широким кругозором, научная деятельность которого не ограничивалась рамками какой-либо одной узкой отрасли науки¹.

Дмитрий Иванович внёс большой вклад в развитие электрической связи и радиотехники на железнодорожном транспорте, истории науки и техники, начертательной геометрии и прикладной графики.

Из более 100 работ по различным вопросам начертательной геометрии 15 значительных трудов учёного посвящено теории параллельных проекций, в том числе 6 – основной теореме аксонометрии (теореме Pohlke), кроме того, 16 работ отражают историю методов изображения.

К сожалению, большинство работ профессора Каргина по теории аксонометрии недоступно широкому кругу читателей, так как в виде рукописей находятся в Петербургском филиале Архива Российской Академии наук (ПФА РАН).

1 Д.И. Каргин – историк методов изображения

К числу трудов, раскрывающих историю развития методов изображения, в том числе аксонометрии, относятся следующие: «Образование чувств линейной формы у человека», «К истории графики», «Изображения у народов Древнего Востока архитектурных форм», «Техническая графика античной Греции», «Искусство Древнего Востока», «Очерк развития технической графики», «Чертёжные инструменты. Чертёжное дело», «Техническая графика в допетровской Руси», «Чертёжное дело в России в XVIII в.», «Успехи науки технической графики за 30 лет Советской власти».

Анализируя исторический материал, Каргин исследовал возникновение методов изображения в различные периоды развития человеческого общества, что не только способствовало изучению теории методов, но и служило методологической основой преподавания начертательной геометрии в вузе.

Дмитрий Иванович был настолько уверен в необходимости обязательного изучения истории науки и техники, что обратился в письме во Всесоюзный комитет по делам Высшей школы при СНК СССР от 10 июня 1940 года с предложением о включении в учебные планы вузов преподавания истории техники и введении подготовки преподавателей по этой дисциплине. К сожалению, в то время этот проект не был осуществлён.

¹ Павлов В.Е., Тарасов Б.Ф. Дмитрий Иванович Каргин (1880–1949). – М.: Наука, 1998.

2 Д.И. Каргин – исследователь основ теории аксонометрии

Большое внимание Дмитрий Иванович Каргин уделял развитию основ теории аксонометрии – основной теореме проецирования.

Одной из важнейших проблем теории аксонометрических проекций (как и других методов изображения) является определение аппарата проецирования при заданном объекте проецирования (пространственном образе) и проекции (плоском образе) так, чтобы плоский образ являлся изображением пространственного образа. Иными словами, может ли данная система координат D с отнесённым к ней пространственным образом K иметь данное изображение D' , связанное с плоским образом K' ? Что на этом изображении можно взять произвольно, а что нельзя? Причём эти вопросы достаточно решить только для системы координат.

Теорема, отвечающая на поставленные вопросы, носит название основной теоремы. Впервые для прямоугольной аксонометрии она была сформулирована без доказательства немецкими учёными К. Гауссом (1777–1855) в 1840 г., а для общего случая – К. Польке (1810–1877) в 1853 г. В 1864 г. ученик Польке профессор Г. Шварц (1843–1921) обобщил теорему Pohlke и дал ей элементарное доказательство.

Уделяя в своих работах значительное внимание рассмотрению теоремы Польке–Шварца, профессор Каргин считал, что её правильное понимание определяет логическую завершённость всей теории аксонометрии, а следовательно и практическое применение этого метода изображения. Начало изысканий в этой области положили работы «О наивыгоднейшем выборе аксонометрических осей» и «Выбор наивыгоднейших аксонометрических проекций».

В последующей работе «Элементарное доказательство теоремы Pohlke» Дмитрий Иванович дал очень простое доказательство теоремы, основанное на курсе элементарной геометрии. Стереометрическую задачу автор свёл к решению планиметрической, при этом рассмотрел три способа решения этой задачи: два точных и один приближённый (графическим и аналитическим способами).

В 1939 году в своём докладе на ежегодной научно-технической конференции ЛИИЖТа Каргин среди других вопросов начертательной геометрии вынес на обсуждение учёных своё доказательство теоремы Польке.

В другой своей работе «Об основаниях аксонометрии» Каргин показал истинную природу основной теоремы и предупредил о недопустимости неправильного её трактования. Он исследовал основания аксонометрии, определяя элементы проецирования. При этом автор дал новые соотношения между ними (заменяя угол между направлением проецирования и плоскостью аксонометрических проекций σ на угол между направлением проецирования и нормалью к картинной плоскости

φ , то есть известную формулу $p^2 + q^2 + r^2 = 2 + \operatorname{ctg}^2 \sigma$ на $p^2 + q^2 + r^2 = 1 + \operatorname{sec}^2 \varphi$ и так далее).

Каргин предлагал метод определения элементов аксонометрического проецирования, отличный от излагавшихся. Формулы, выражающие аналитическую зависимость между основными элементами, имели также иную форму, более простую и целесообразную.

В работе «Рельефные проекции» (Алма-Ата, 1943) исследователь раскрыл сущность рельефного проецирования, как центрального, так и в частном случае параллельного, а также рассмотрел ограничивающие условия этого метода, вытекающие из прикладных целей, определяемые физиологическими свойствами глаза и психологическим процессом восприятия оптических образов. При помощи разработанной теории Д.И. Каргин решал основные задачи рельефного проецирования, в том числе рельефной аксонометрии, дал примеры построения барельефа методом центрального и параллельного проецирования.

Подводя итоги исследований теории аксонометрических проекций, профессор Каргин в 1944 г. завершил свой фундаментальный труд «Основания аксонометрии. (Теоретическая аксонометрия)», где углублённо рассмотрел сущность основного положения аксонометрии, исследовал определение основных элементов аксонометрического проецирования (графическим и аналитическим способами) как для косоугольной, так и для прямоугольной аксонометрии, определил пределы изменения этих элементов, а также наивыгоднейшие аксонометрические проекции.

В этой работе основным направлением исследования также была теорема Польке–Шварца. Профессор Каргин не только предложил доказательство этой теоремы, но и проанализировал все существующие у ведущих российских геометров трактовки этой теоремы. Рассматривая в отдельной главе рельефную аксонометрию как частный случай рельефной перспективы, автор сформулировал основную теорему, из которой как частный случай вытекает и теорема Польке–Шварца: «Любой заданный тетраэдр можно спроецировать в пространстве так, что он даст пространственную фигуру, подобную всякому другому данному тетраэдру». Разрабатывая проблемы наглядности аксонометрии, Дмитрий Иванович в 1945 году дополнил свой труд главой об отражениях объектов в зеркальной поверхности.

Занимаясь исследованием общих вопросов теории проецирования, профессор Каргин решил задачу о том, какая фундаментальная теорема лежит в основании этой теории. В 1945 году он ответил на этот вопрос, завершая своё главное исследование «Основная теорема проецирования». Углубляя выводы из предыдущих работ, автор рассмотрел общий случай проецирования, а именно случай рельефных конических (центральных) проекций. Получив общую теорему для этого случая, Каргин перешёл к рассмотрению приложений её к частным случаям проецирования. В стройной системе легко получилась цепь различных основных теорем для перспективы, аксонометрии и др.

В процессе вывода основной теоремы геометр несколько расширил сведения из проективной геометрии, доказав несколько теорем, вытекающих из уже известных положений (теоремы Чевы, теоремы

Дезарга). Центральное место в этой работе заняла общая основная теорема проецирования, сформулированная и доказанная Д.И. Каргиным: «Из всех многогранников в общем случае два тетраэдра произвольной формы могут служить один для другого центральной проекцией».

В 1946–48 гг. Дмитрий Иванович выступил на научно-технических конференциях ЛИИЖТа с докладами о результатах исследования основной теоремы проецирования.

3 Заключение

Труды Д.И. Каргина, показавшие новые пути решения основных вопросов теории аксонометрии и способствовавшие созданию основ этой теории в отечественной начертательной геометрии, даже через полвека не потеряли своей актуальности.

АВТОРЫ СТАТЕЙ

- Абу-Хасан Махмуд* доктор технических наук, доцент кафедры «Инженерная химия и естествознание», конт. телефон 768-821-68
- Архипов Константин Алексеевич* кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрическая тяга», конт. телефон 768-85-36
- Басовский Дмитрий Аркадьевич* кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Строительное производство», конт. телефон 768-81-75
- Бердников Ярослав Александрович* доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Физика», конт. телефон 768-82-68
- Блажко Людмила Сергеевна* доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Железнодорожный путь», декан Строительного факультета, конт. телефон 768-82-35, 713-56-77
- Боголюбов Юрий Сергеевич* кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры «Электрическая тяга», конт. телефон 768-85-36
- Буянов Александр Борисович* доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теплотехника и теплосиловые установки», конт. телефон 768-85-37

- Ватулин Ян Семенович** кандидат технических наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортные, путевые и строительные машины», конт. телефон 768-87-63
- Галанов Евгений Константинович** доктор технических наук, доцент кафедры «Физика», доцент кафедры «Теоретическая механика», конт. телефон 768-82-68
- Гиман Людмила Николаевна** аспирант кафедры «Теоретическая механика», конт. телефон 768-82-49
- Григорьева Ольга Викторовна** аспирант кафедры «Инженерная экология», конт. телефон 768-81-28
- Доев Виталий Семенович** доцент кафедры «Теоретическая механика», конт. телефон 768-82-49
- Доронин Феликс Александрович** кандидат технических наук, доцент кафедры «Теоретическая механика», конт. телефон 768-82-49
- Елисеев Николай Александрович** доцент кафедры «Начертательная геометрия и графика», конт. телефон 768-85-20
- Ермолаев Евгений Викторович** аспирант кафедры «Железнодорожный путь», конт. телефон 768-81-74
- Зальцман Геннадий Константинович** кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Охрана труда и промышленная безопасность», конт. телефон 768-88-19
- Ильин Виктор Васильевич** доктор философских наук, профессор кафедры «Философия», конт. телефон 768-85-29
- Комарова Татьяна Александровна** кандидат технических наук, старший научный сотрудник Научно-исследовательской части, конт. телефон 768-80-58
- Кондратенко Владимир Григорьевич** кандидат технических наук, ассистент кафедры «Технология металлов», конт. телефон 768-83-92

- Корнух Александр Валерьевич** студент Электромеханического факультета группы ЭТ-303
- Лебедев Сергей Александрович** заведующий лабораторией по борьбе с производственными шумами, конт. телефон 768-87-15
- Митрофанова Ирина Владимировна** старший преподаватель кафедры «Теплотехника и теплосиловые установки», конт. телефон 768-85-37
- Моисеев Владимир Иванович** кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Математика и моделирование», конт. телефон 55-732
- Морозова Лидия Евсеевна** кандидат физико-математических наук, доцент Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета, конт. телефон 316-20-26
- Неснов Валентин Иванович** доктор технических наук, профессор кафедры «Строительное производство», конт. телефон 768-81-75
- Никерова Ирина Николаевна** кандидат технических наук, ведущий инженер Службы технической политики Управления Октябрьской железной дороги, конт. телефон 768-68-33
- Никитченко Валерий Иванович** кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Физика», конт. телефон 768-82-68
- Панин Александр Васильевич** доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Инженерная экология», конт. телефон 768-81-28
- Петухов Александр Михайлович** кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Физика», конт. телефон 768-82-68
- Писарев Валерий Александрович** инженер, начальник Службы капитального строительства Управления Октябрьской железной дороги, конт. телефон 768-42-78
- Пономарев Андрей Борисович** аспирант кафедры «Водоснабжение, водоотведение и гидравлика»,

-
- конт. телефон 768-83-18
- Попков Владимир Моисеевич*** кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой», конт. телефон 768-85-25
- Сидоров Николай Михайлович*** кандидат философских наук, доцент кафедры «Философия», конт. телефон 768-85-29
- Спасскова Анна Николаевна*** аспирант кафедры «Экономическая теория», конт. телефон 768-81-23
- Титова Тамила Семеновна*** кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», конт. телефон 319-99-03
- Тихомиров Олег Игоревич*** кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана труда и промышленная безопасность», конт. телефон 768-84-59
- Тюленев Сергей Александрович*** главный конструктор ЗАО Межрегионального производственного объединения технического комплектования «Техно-комплект», конт. телефон (09621) 2-39-93
- Феоктистов Николай Александрович*** кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник ФТИ им. А.Ф. Иоффе, конт. телефон 247-93-93
- Флоринский Владимир Юрьевич*** кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Физика», конт. телефон 267-68-78
- Шулындин Валерий Иванович*** магистр, заведующий лабораторией кафедры «Строительное производство», конт. телефон 768-88-82