

Полученные картины движения бумажной массы полностью соответствуют теоретическим траекториям её движения. Дальнейшая работа будет направлена на оптимизацию размеров элементов вихревого очистителя: высоты, диаметры, размеры входных патрубков и др.

## Список источников

1. Теория и конструкция машин и оборудования отрасли. Бумаго- и картоноделательные машины : учеб пособие; под ред. В. С. Курова, Н. Н. Кокушина. СПб. : Изд-во политехн. ун-та, 2006. 588 с.

2. Технология целлюлозно-бумажного производства : справоч. материалы // Всерос. научно-исслед. ин-т целлюлозно-бумаж. пром-сти (ВНИИБ). Санкт-Петербург : Политехника, 2002. В. 3 т. Т. 2: Производство бумаги и картона, ч. 1 : Технология производства и обработки бумаги и картона. 2005. 423 с.

3. Часовников В. В., Исаков С. Н. Анализ вибрации вихревого очистителя // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : матер. XVI Всерос. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. – Екатеринбург, 2020. С. 276–278.

Научная статья

УДК 004.232:658.527

## ЗАДАНИЕ СИСТЕМ КООРДИНАТ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ

**Татьяна Евгеньевна Воронцова<sup>1</sup>, Татьяна Сергеевна Демакова<sup>2</sup>, Владимир Андреевич Лозовой<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М. Ф. Решетнева, Красноярск, Россия

<sup>1</sup>tanyavorontsov@mail.ru

<sup>2</sup>t.demakova98@yandex.ru

<sup>3</sup>lva\_sstu@mail.ru

**Аннотация.** В данной статье предложен метод задания систем координат для моделирования технологических процессов поточных линий в формате 4D. Главная отличительная особенность метода заключается в размещении координатных систем на предмете труда, перемещающегося в процессе выполнения технологических операций. При этом базовая система координат является нестационарной, то есть каждый новый предмет

труда, поступивший на обработку, имеет свою базовую систему координат (в общем случае отличную от предыдущей системы).

**Ключевые слова:** матричные преобразования координат, моделирование, «плавающие» системы координат, матрицы

Scientific article

## SETTING COORDINATE SYSTEMS FOR MODELING PRODUCTION LINES

**Tatiana E. Vorontsova<sup>1</sup>, Tatiana S. Demakova<sup>2</sup>, Vladimir A. Lozovoy<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>Siberian State University of Science and Technology named after Academician M. F. Reshetnev, Krasnoyarsk, Russia.

<sup>1</sup>tanyavorontsov@mail.ru

<sup>2</sup>t.demakova98@yandex.ru

<sup>3</sup>lva\_sstu@mail.ru

**Abstract.** This article proposes a method for setting coordinate systems for modeling technological processes of production lines in 4D format. The considered method of "floating" coordinates is much simpler than existing methods. The main distinguishing feature of the method is the placement of coordinate systems on the object of labor moving in the process of performing technological operations. At the same time, the basic coordinate system is not stationary, that is, each new object of labor received for processing has its own basic coordinate system (in general, different from the previous system).

**Keywords:** matrix transformations of coordinates, modeling, «floating» coordinate systems, matrices

Моделирование технологических процессов поточных линий является первым этапом синтеза структуры и предполагаемых размеров, скоростей перемещения предмета труда как основных параметров. При моделировании технологических дискретно-непрерывных процессов основным инструментом исследования применён в работах [1,3] метод переходных матриц, который вошел в практику в связи с широким внедрением вычислительной техники практически во всех областях промышленного производства. Метод матриц применяется в различных модификациях: с вещественными  $4 \times 4$ ,  $6 \times 6$  и дуальными  $2 \times 2$ ,  $3 \times 3$  матрицами [2]. Разработан метод применения матриц  $5 \times 5$  для описания континуальных технологий [3].

Очень широко применяется метод переходных матриц в робототехнике. Для применения рассматриваемого метода моделирования конструктор, прежде всего, выбирает ориентацию всех систем координат, при этом задается неподвижная система координат, в большинстве случаев связанная со стойкой, и системы координат, связанные со звеньями. Если с каждым

звеном связать системы координат, то относительная ориентация звеньев определяется переходными матрицами – матрицами перехода от одной системы координат к другой.

Рассмотрим базовые понятия, которые позволят объяснить наиболее распространенный, широко применяемый метод задания координат для применения переходных матриц.

Современные методы задания координат базируются на понятиях трех линейно независимых векторов, по количеству независимых векторов определяется размерность пространства. При трех независимых векторах размерность пространства равна трем и обозначается через  $L_3$  [4].

В трехмерном пространстве  $L_3$  базис определяется тремя ортогональными (взаимно перпендикулярными) единичными векторами  $i, j, k$ . Такой базис называется ортонормированным (прямоугольным), а составляющие его векторы  $i, j, k$  – ортами.

Принято, что все векторы имеют общую точку  $O_i$ , которую называют началом координат (рис. 1).

А оси, построенные на ортах, называются координатными осями, которые образуют прямоугольную систему координат OXYZ.

Каждый (любой) вектор  $R$  исходит из начала координат  $O_i$  системы координат OXYZ и называется такой вектор радиус-вектором  $R$  с координатами  $x, y, z$  по осям координат (рис. 2).

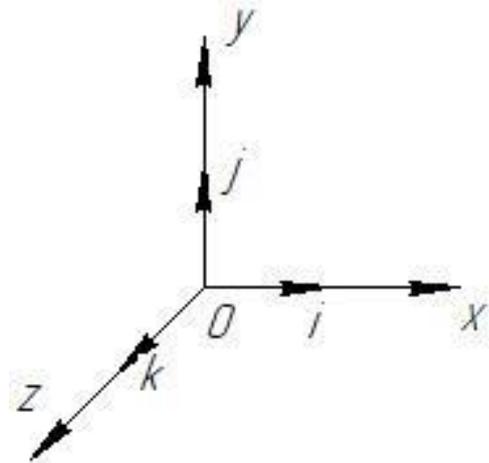


Рис. 1. Система координат O; X; Y; Z

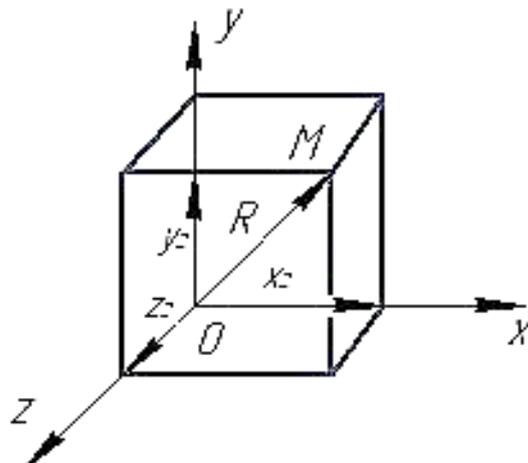


Рис. 2. Радиус-вектор OM (R) в координатной системе OXYZ

При перемещении предмета труда параллельно координатным осям радиус-вектор равен проекции вектора перемещения от начала координат  $O_i$  к началу координат  $O_{i+1}$ .

При задании системы координат по способу Денавит – Хартенберга [4] применяется четырехмерная система координат, которая определяет положения звеньев манипулятора координатами  $x, y, z$ , а четвертая координата для упрощения вычислений принимается равной единице. Матрица для вычислений применяется  $4 \times 4$ , каждое звено нумеруется, начиная со

стойки, имеющей номер один, ведущего звена, имеющего номер два и так далее вдоль кинематической цепи. Кинематические пары также пронумерованы, причем пара  $i$  связывает звено  $i + 1$ . Каждой кинематической паре соответствует прямоугольная система координат. Далее определяется направленность осей координат по осям кинематических пар и звеньев манипулятора. После расстановки координатных систем определяются параметры Денавит – Хартенберга, которые сводятся в таблицу. Исходной точкой описания перемещений манипулятора является неизменное (постоянное) звено – стойка. При этом технологический процесс циклический, совмещение перемещений звеньев весьма желательны. Для каждого типа манипуляторов применяется своя специальная система координат, которая позволяет проводить вычисления по заданному алгоритму.

Для моделирования поточных технологий методом матричных преобразований координат метод задания координат по Денавит – Хартенбергу не подходит, поскольку процесс дискретно-непрерывный (имеется ввиду предмет труда лесозаготовительной промышленности, например древесные хлысты). Для задания систем координат поточных технологий предлагается метод плавающих координат. Метод позволяет успешно применить матричные преобразования координат с применением переходных вещественных матриц  $4 \times 4$  с предварительным структурным анализом и при определении основных заданных параметров оборудования поточных линий. А также обеспечивает моделирование технологического процесса дискретно-непрерывного характера с применением матриц  $5 \times 5$  для модели континуального технологического процесса.

В плавающей системе координат базовая система размещается на предмете труда, перемещаемом в процессе выполнения технологических операций, и существует до тех пор, пока предмет труда находится в обработке. Далее, с поступлением в обработку следующего предмета труда на первый станок (агрегат) назначается новая базовая система координат, у которой начало координат  $O$ , как правило, не совпадает с предыдущим. Этот момент соответствует, например, расположению сортиментов (бревен) в разобщаемом пакете. То есть, имеется существенная разница в задании систем координат для поточных технологий и известном методе задания координат для манипуляторных систем. Перемещения предмета труда совершаются всегда параллельно координатным осям, что существенно упрощает формализацию процесса и расчеты. Метод «плавающих координат» позволяет на начальном этапе с применением матриц  $4 \times 4$  создать модель идеальной поточной линии с постоянными параметрами, то есть модель работает без простоев на станках, поскольку все операции подчинены одному циклу – циклу задающего ритм оборудования (агрегата). Дальнейшее приближение модели к реальным условиям осуществляется вводом в процесс моделирования переменных параметров древесного сырья и конструктивных особенностей оборудования.

В плавающей системе координат отсутствует неподвижная система координат, от которой будет проводиться отсчет изменения координат предмета труда. Для этого необходимо ввести нулевую координатную систему (1):

$$M_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где  $M_0$  – матрица состояния координатной системы OXYZ; координаты  $x = y = z = 0$  первые три элемента четвертого столбца.

Матрицу  $M_0$  можно получить из обобщенной матрицы, объясняющей геометрический смысл ориентации и расположения системы координат относительно какого-то основного базиса (2):

$$M_n = \begin{bmatrix} \cos(\vec{i}_n \wedge \vec{i}_o) & \cos(\vec{j}_n \wedge \vec{i}_o) & \cos(\vec{k}_n \wedge \vec{i}_o) & x^* \\ \cos(\vec{i}_n \wedge \vec{j}_o) & \cos(\vec{j}_n \wedge \vec{j}_o) & \cos(\vec{k}_n \wedge \vec{j}_o) & y^* \\ \cos(\vec{i}_n \wedge \vec{k}_o) & \cos(\vec{j}_n \wedge \vec{k}_o) & \cos(\vec{k}_n \wedge \vec{k}_o) & z^* \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где первые три элемента первого, второго, и третьего столбцов представляют собой направляющие косинусы осей  $X_n, Y_n, Z_n$ , соответственно в системе O; а три элемента четвертого столбца – это координаты  $x^*, y^*, z^*$  какой-то точки.

То есть, матрица (2), полностью определяет возможные изменения положения системы в пространстве.

Если вектор OM (см. рис. 2) неподвижен и не изменяет ориентацию в пространстве, то он описывается как базовая система матрицей (1). То есть изменение углов между осями координат  $O, X_0, Y_0, Z_0$  и системой  $O_n, X_n, Y_n, Z_n$  равно нулю. Подставим значение углов  $\vec{i}_n \wedge \vec{i}_o, \vec{j}_n \wedge \vec{i}_o$  и так далее, равным нулю и вычислим значение косинусов. В результате вычислений получим нулевую матрицу (1).

Таким образом, в результате изучения технологических особенностей процессов обработки и переработки древесного сырья в СибГУ им. М. Ф. Решетнева, в частности под руководством профессора В. А. Лозового, предложен новый способ задания систем координат для моделирования поточных технологий с последовательно установленным оборудованием в количестве более двух. Новый метод задания системы координат является основополагающим для моделирования поточных технологий в формате 4D.

## Список источников

1. Лозовой В. А. Моделирование технологического процесса линий для первичной обработки хлыстов // Лесозаготовка : межвуз. сб. научн. тр. Красноярск: СибГТУ, 1998. С. 91–95.
2. Воробьев Е. И., Попов С. А., Шевелева Г. И. Механика промышленных роботов : в 3 кн. Кн. 1. Кинематика и динамика. М. : Высш. шк., 1988. 304 с.
3. Лозовой В. А. Структурно-кинематический анализ лесозаготовительного оборудования // Лесозаготовка : межвуз. сб. научн. трудов. Красноярск: КГТА, 1995. С. 150–158.
4. Аквис М. А., Гольдберг В. В. Тензорное исчисление. М. : Наука, 1972. 351 с.
5. Denavit J., Hartenberg R.S. A Kinematic Notation for lower Pair Mechanisms Based on Matrices. Journal of Applied Mechanics, vol.22, trans.ASME, vol.77,series E., 1955, p. 215-221.

Научная статья

УДК 630.52:587/588

## КОНЦЕПЦИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ДАТЧИКА МОНИТОРИНГА ДРЕВОСТОЕВ С FRID-МЕТКОЙ

**Александр Андреевич Деменьшин<sup>1</sup>, Сергей Петрович Санников<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup> Demenshin.1998@mail.ru

<sup>2</sup> sannikovsp@m.usfeu.ru

**Аннотация.** Проведен обзор общих сведений технологии радиочастотной идентификации применительно к получению дистанционной информации о состоянии древостоев с разработкой многофункционального датчика параметров для автоматизированной системы сбора данных.

**Ключевые слова:** радиочастотная идентификация, параметры, древостой, датчик