



ДОРОХОВ Сергей Петрович

**ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ
ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ ШАРНИРНО-
РЫЧАЖНЫМИ МАНИПУЛЯТОРАМИ В ОБРАБАТЫВАЮЩИХ
УСТАНОВКАХ**

Специальность 05.21.01. – технология и машины лесозаготовок
и лесного хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург 2010

Работа выполнена на кафедре сервиса и эксплуатации транспортных и технологических машин ГОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет»

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Панычев Анатолий Павлович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Ковалев Рудольф Николаевич

кандидат технических наук
Голенищев Александр Владимирович

Ведущая организация: Уральский научно-исследовательский институт переработки древесины
ОАО «УралНИИПДрев» (г.Екатеринбург)

Защита состоится «23» декабря 2010 года в 10-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.281.02 при ГОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет» по адресу: 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт 37, зал заседаний – аудитория 401.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет».

Автореферат разослан 22 ноября 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



Куцубина Н.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Интенсификация раскрывки хлыстов связана с уменьшением цикла работы технологического оборудования и требует уменьшения цикла подачи хлыстов манипулятором в раскрывочную установку. Поэтому сокращение времени подачи хлыстов в раскрывочную установку представляет важную техническую и экономическую задачу.

Достичь сокращения времени перемещения захвата можно оптимальным управлением движением звеньев манипулятора.

Анализ литературных источников и научно-исследовательских работ по оптимальному управлению манипуляторами в различных технологических процессах показал, что к настоящему моменту есть математические модели и методы, позволяющие оптимизировать работу манипуляторов, но в целом конкретных исследований процессов с использованием шарнирно-рычажных манипуляторов недостаточно. Несмотря на большую актуальность проблемы оптимального по быстродействию управления движением звеньев манипуляторов в обрабатываемых установках, решение ее не нашло достаточного отражения в научной литературе, чем и обусловлена актуальность проведенного исследования.

Целью работы является научное обоснование оптимальных по быстродействию процессов переноса лесоматериалов шарнирно-рычажными манипуляторами в обрабатываемых установках.

Методическая и теоретическая основы исследования. Методическую и теоретическую основы исследования составили научные труды отечественных и зарубежных авторов в таких областях и направлениях науки как технология и механизация лесного хозяйства и лесозаготовок, моделирование и оптимизация процессов лесозаготовок, теория автоматического регулирования и управления, оптимизация управления приводами манипуляторов, оптимизация процесса переноса лесоматериалов манипуляторами лесных машин, теория вероятностей и математическая статистика, оптимизация технических систем, параметрическая оптимизация проектных решений.

Предмет исследования. Предметом исследования является оптимальное по быстродействию управление движением звеньев шарнирно-рычажного манипулятора в цикле загрузки обрабатываемой установки.

Объект исследования. Объектом исследования является процесс загрузки лесоматериалов в обрабатываемые установки шарнирно-рычажными манипуляторами.

Научная новизна исследования. Теоретически обоснованы оптимальные параметры (угловые скорости звеньев, траектории захвата) процесса переноса лесоматериалов шарнирно-рычажными манипуляторами в обрабатываемых установках.

Математически смоделирован процесс переноса лесоматериалов и получены средние значения продолжительности циклов переноса лесоматериалов шарнирно-рычажными манипуляторами с различной организацией движения звеньев.

Разработана методика имитационного моделирования времени ожидания обрабатываемой установкой загрузки лесоматериалов манипуляторами с различной организацией движения звеньев.

Разработана методика автоматизированного проектирования прямолинейно-направляющего механизма шарнирно-рычажного манипулятора для раскрывочных установок.

Практическая значимость исследования. Результаты выполненных теоретических и экспериментальных исследований могут быть использованы лесопромыш-

научная библиотека
УГЛТУ
г.Екатеринбург

ленными предприятиями при выборе шарнирно-рычажных манипуляторов для тех или иных технологических процессов. Научно-исследовательскими и проектными институтами—при разработке новых и усовершенствовании известных шарнирно-рычажных манипуляторов. Теоретическое обоснование оптимального управления процессом переноса лесоматериалов шарнирно-рычажными манипуляторами, методика автоматизированного проектирования прямолинейно-направляющего механизма шарнирно-рычажного манипулятора могут быть использованы в учебном процессе учебных заведений.

Апробация результатов исследования. Методика автоматизированного проектирования прямолинейно-направляющего механизма шарнирно-рычажного манипулятора использована Уральским научно-исследовательским институтом лесной промышленности при создании манипулятора для подачи хлыстов в раскряжевочную установку МО-1 и автоматизированной системы управления манипулятором в раскряжевочной установке.

Публикации. Материалы научных исследований по теме диссертации изложены в 18 печатных работах. По материалам диссертации получено 5 авторских свидетельств.

Перечень базисных положений, выносимых на защиту:

а) концепция оптимального по быстродействию управления процессом переноса лесоматериалов шарнирно-рычажными манипуляторами в обрабатывающих установках;

б) регрессионная модель времени цикла переноса лесоматериала в обрабатывающей установке шарнирно-рычажным манипулятором;

в) результаты статистического моделирования и определения среднего времени цикла переноса лесоматериалов шарнирно-рычажными манипуляторами с различной организацией движения звеньев;

г) результаты имитационного моделирования времени ожидания раскряжевочной установкой загрузки хлыстов манипуляторами с различной организацией движения звеньев;

д) методика автоматизированного проектирования прямолинейно-направляющего механизма шарнирно-рычажного манипулятора для раскряжевочных установок.

Объем и структура диссертационной работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, выводов и предложений и списка литературы. Она включает 154 страницы машинописного текста, включая 39 рисунков, 8 таблиц, 26 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы и определены научные положения, выносимые на защиту.

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ЗАГРУЗКИ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ МАНИПУЛЯТОРАМИ В ОБРАБАТЫВАЮЩИЕ УСТАНОВКИ

Манипуляторы являются важным средством механизации первичной обработки древесины, способствуя улучшению загрузки технологического оборудования и используются для подачи деревьев в стационарные сучкорезные и сучкорезно-раскряжевочные установки, разбещения пачек и поштучной выдачи хлыстов на стационарные многопильные раскряжевочные установки и на подающие механизмы ста-

ционарных линий по разделке хлыстов, подачи хлыстов и деревьев в передвижные процессоры и харвестеры, а также для поправки хлыстов на поперечных транспортёрах стационарных обрабатывающих установок.

Анализ работ, связанных с оптимизацией процесса переноса груза манипуляторами показал, что имеющиеся работы в основном посвящены решению проблемы оптимизации параметров манипуляторов лесосечных (валочных и трелевочных) машин преимущественно из условия минимума энергетических затрат. При этом отсутствуют работы по совместному обоснованию траекторий переноса лесоматериалов и режимов движения звеньев. В то же время имеющиеся технические решения также не содержат обоснования оптимальных по быстродействию режимов работы манипуляторов в обрабатывающих установках (траекторий переноса лесоматериалов, угловых скоростей звеньев), так как в основном содержат практические соображения организации движения звеньев. Отсутствуют обоснованные методики проектирования шарнирно-рычажных манипуляторов для обрабатывающих установок.

2. ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ПЕРЕНОСА ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ ШАРНИРНО-РЫЧАЖНЫМИ МАНИПУЛЯТОРАМИ ПО КРИТЕРИЮ ВРЕМЕНИ

В качестве критерия оптимальности принят показатель времени, который в математической форме представляется интегральным функционалом

$$T = \int_0^l \frac{ds}{v_C},$$

где l — длина траектории переноса груза—лесоматериала, $v_C = \sqrt{\dot{x}_C^2 + \dot{y}_C^2}$ — скорость точки C манипулятора.

Теоретическое исследование проведено на основе плоскостной кинематической модели манипулятора (рис.1)

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_C &= -l_1 \sin \alpha_1 \omega_1 - l_2 \sin(\alpha_2 - \alpha_1)(\omega_2 - \omega_1), \\ \dot{y}_C &= l_1 \cos \alpha_1 \omega_1 - l_2 \cos(\alpha_2 - \alpha_1)(\omega_2 - \omega_1), \end{aligned} \right\}$$

где \dot{x}_C , \dot{y}_C —скорости центра захвата по осям координат.

Задача о быстродействии решена на основе классического вариационного исчисления.

Основные ограничения. Ограничения на угловые скорости звеньев

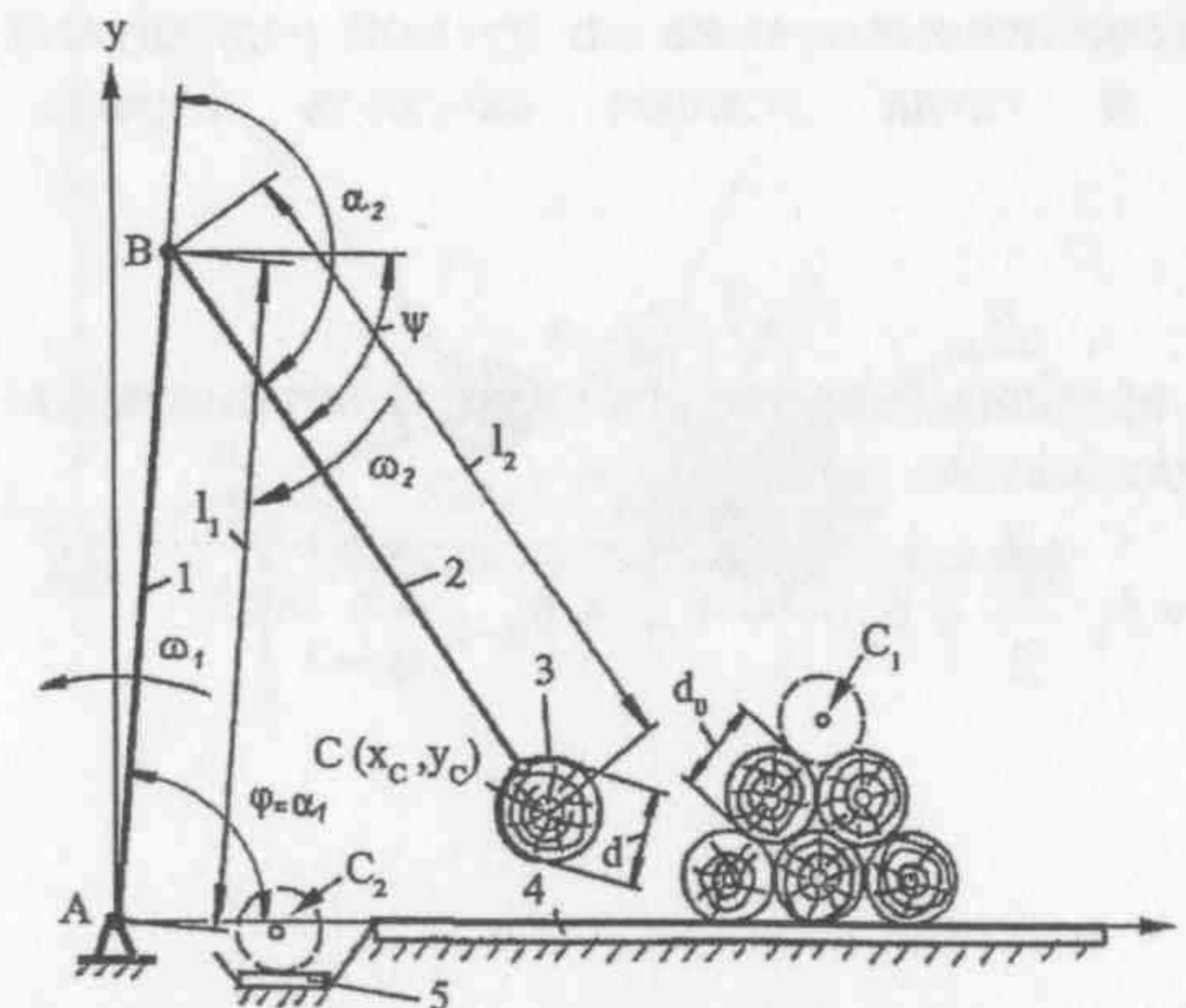


Рис. 1. Схема процесса переноса лесоматериала из пачки к продольному транспортеру раскряжевочной установки:

1 — стрела; 2 — рукоятка; 3 — захват; 4 — грузочная эстакада; 5 — продольный транспортер; φ и ψ — обобщенные координаты; α_1 — угол поворота стрелы; α_2 —

угол поворота рукоятки относительно стрелы; l_1 — длина стрелы; l_2 — расстояние от оси шарнирного соединения рукоятки со стрелой до центра C захвата; ω_1 —

угловая скорость стрелы; ω_2 — угловая скорость рукоятки.

$$|\omega_i| - \Omega_i \leq 0, \quad i = 1, 2,$$

где Ω_i – максимальное значение i -ой угловой скорости i -ого звена манипулятора.

Ограничения на координаты звеньев

$$(x_C - x_0)^2 + (y_C - y_0)^2 \geq \frac{(d + d_0)^2}{4},$$

где x_0, y_0 – координаты центра сечения лесоматериала-препятствия, лежащего в пачке, d_0 – диаметр лесоматериала-препятствия, d – диаметр переносимого лесоматериала.

Условие синхронного движения звеньев

$$\omega_1 = \omega_2 \frac{(x_C + y_C y'_C) \left(x_C^2 + y_C^2 + l_2^2 - l_1^2 \right) - (y'_C x_C - y_C) \left[4l_1^2 l_2^2 - (l_1^2 + l_2^2 - x_C^2 - y_C^2)^2 \right]^{1/2}}{2(x_C + y_C y'_C) \left(x_C^2 + y_C^2 \right)},$$

где y'_C – производная y_C по x_C .

Критерий оптимальности в зависимости от параметров процесса переноса груза записан в виде

$$T = \int_{x_{C1}}^{x_{C2}} \frac{\sqrt{1 + y_C'^2} dx_C}{\sqrt{l_2^2 \omega_2^2 + \omega_1 \omega_2 (l_1^2 - l_2^2) - \omega_1 (\omega_2 - \omega_1) (x_C^2 + y_C^2)}},$$

а для общего случая строго синхронного движения звеньев в виде

$$T = \int_{x_{C1}}^{x_{C2}} \frac{2(x_C + y_C y'_C) dx_C}{\omega_2 \sqrt{4l_1^2 l_2^2 - (l_1^2 + l_2^2 - x_C^2 - y_C^2)^2}}. \quad (1)$$

В результате решения уравнения Эйлера

$$F_{\omega_2} - \frac{d}{dx_C} F_{\omega_1} = 0,$$

где F – подынтегральная функция интеграла (1), получена угловая скорость рукоятки, равная $\omega_2 = \Omega_2$, а угловая скорость стрелы равна

$$\omega_1 = \frac{\Omega_2}{2} \left[1 - \frac{l_1^2 - l_2^2}{x_C^2 + y_C^2} - \frac{\sqrt{4l_1^2 l_2^2 - (l_1^2 + l_2^2 - x_C^2 - y_C^2)^2}}{a(x_C^2 + y_C^2)} \right].$$

В частном случае при переносе лесоматериала по прямой радиальной линии возмущающая функция $a = \infty$ и тогда угловая скорость стрелы равна

$$\omega_1 = \frac{\Omega_2}{2} \left(1 - \frac{l_1^2 - l_2^2}{x_C^2 + y_C^2} \right).$$

Интерполирующая функция, приближённо изображающая оптимальную траекторию переноса лесоматериала, представлена в виде

$$\rho_C = \text{Re xp} \left(b_0 \varphi_C + b_1 \frac{\varphi_C^2}{2} + b_2 \frac{\varphi_C^3}{3} + \dots + b_{n-2} \frac{\varphi_C^{n-1}}{n-1} \right),$$

где b_0, b_1, b_2, b_{n-2} – коэффициенты полинома

$$a = b_0 + b_1 \varphi_C + \dots + b_{n-2} \varphi_C^{n-2}.$$

В частных случаях при ограничениях по координатам центра захвата и ограничениях по угловым скоростям звеньев оптимальная траектория имеет вид (рис.2)

$$\rho_C = \text{Re xp} \left(b_0 + \frac{b_1}{2} \varphi_C \right) \varphi_C.$$

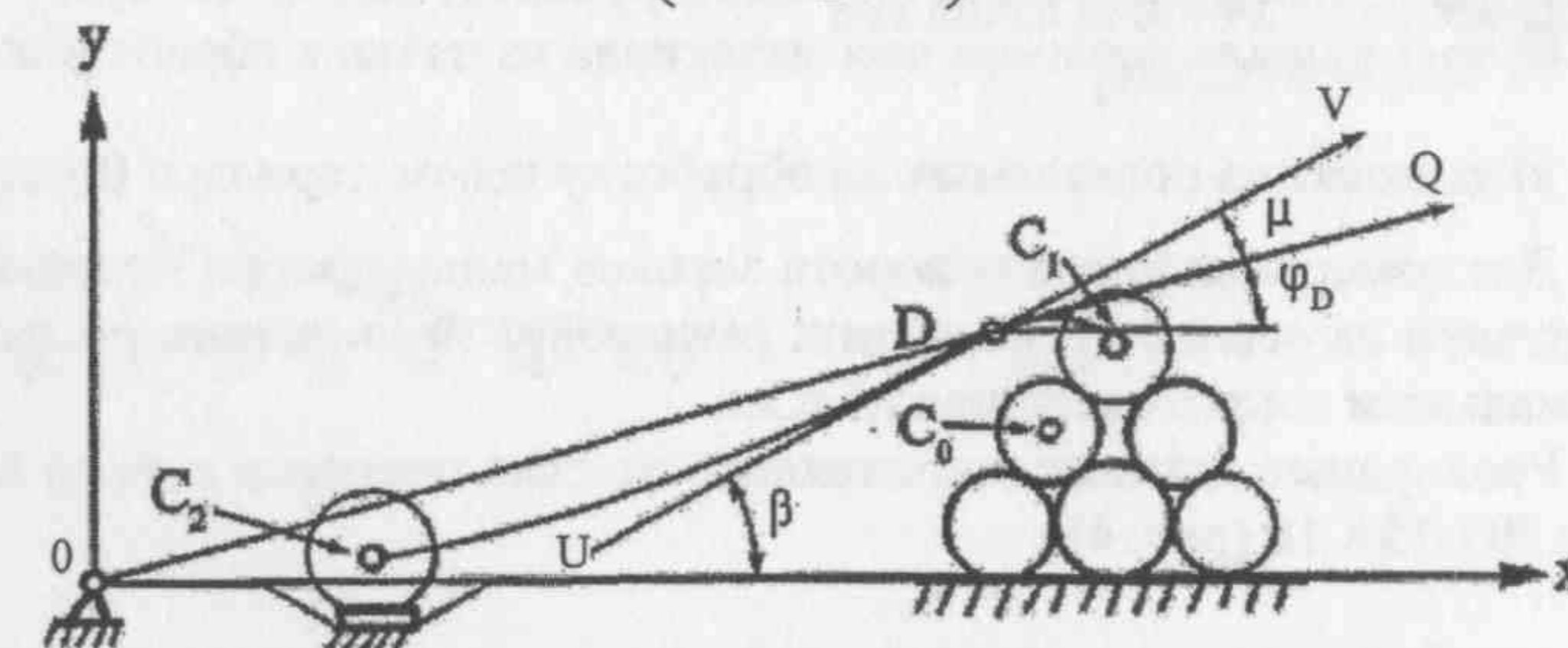


Рис. 2. Траектория переноса лесоматериала при наличии ограничений по координатам центра захвата для случая строго синхронного движения звеньев

В частном случае не строго синхронного движения звеньев плоская оптимальная траектория переноса лесоматериала содержит отрезок прямой радиальной линии, проходящей через ось опорного шарнира стрелы

$$y_C = a_0 x_C,$$

где a_0 – угловой коэффициент прямой.

В структуру траектории входят также отрезки окружностей $x_{C1}^2 + y_{C1}^2 = R_{C1}^2$, $x_{C2}^2 + y_{C2}^2 = R_{C2}^2$, проходящие через начальную и конечную точки положения центра захвата (рис. 3).

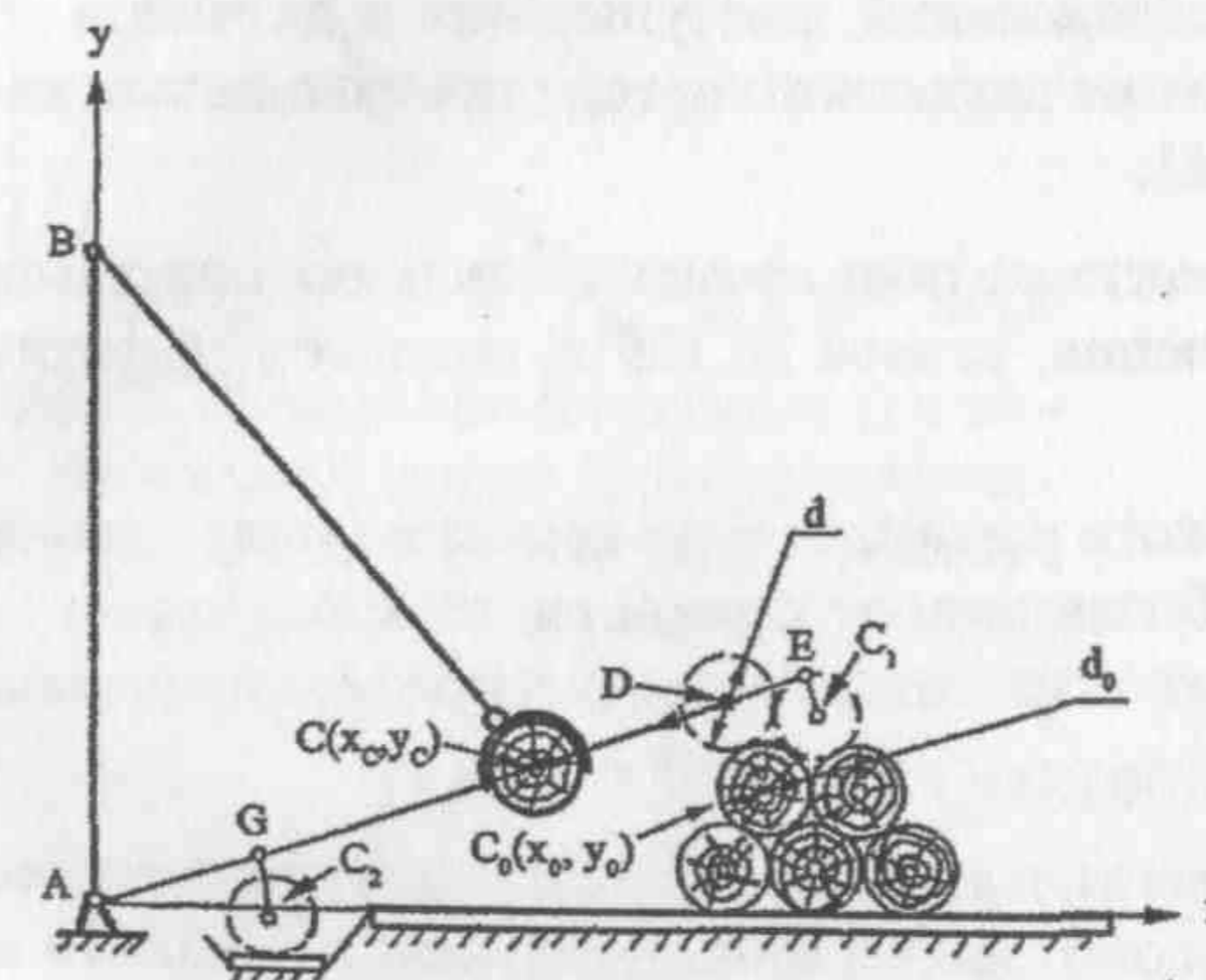


Рис.3. Траектория, состоящая из отрезков C_1E и GC_2 окружностей и отрезка EG прямой радиальной линии

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СВЯЗИ ВРЕМЕНИ ЦИКЛА С УГЛАМИ ПОВОРОТА ЗВЕНЬЕВ МАНИПУЛЯТОРА

Целью экспериментальных исследований являлось получение данных для прогнозирования времени цикла переноса лесоматериала в обрабатывающей установке манипуляторами с различной организацией движения звеньев.

В процессе экспериментальных исследований замерялись следующие величины:

- углы поворота звеньев (стрелы и рукояти) манипулятора;
- время цикла переноса лесоматериала из пачки к обрабатывающей установке;
- количество подаваемых на обработку лесоматериалов (число циклов).

Для измерения углов поворота звеньев манипулятора использовались реохордные датчики на основе проволочных резисторов переменного сопротивления ППЗ-11 максимальным сопротивлением 1,5кОм.

Реохордные датчики закреплялись на осях поворота стрелы и рукояти манипулятора ЛО-15А.10 (рис. 4).

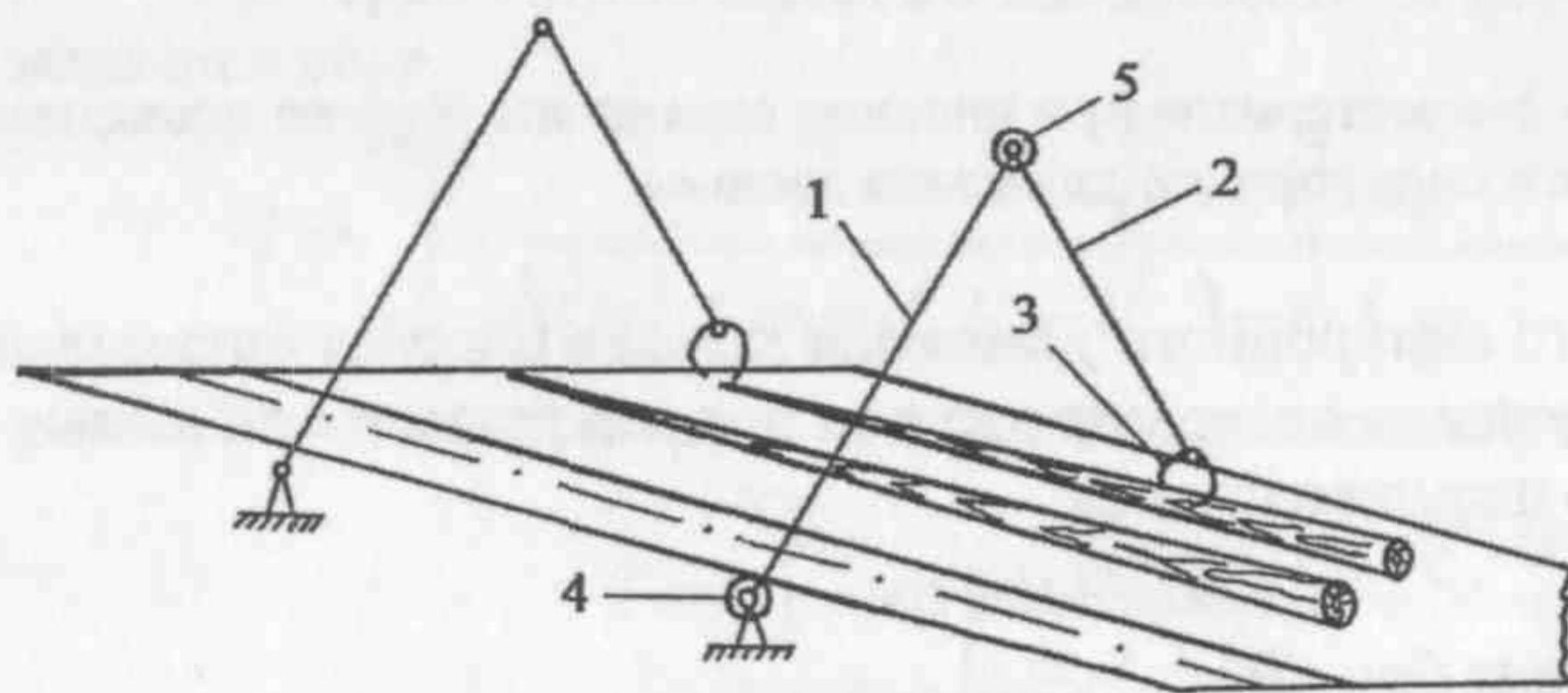


Рис. 4. Схема установки реохордных датчиков на стреле манипулятора:

- стрела;
- рукоять;
- захват;
- реохордный датчик стрелы;
- реохордный датчик рукояти

Для определения времени работы захватного органа гальванометры в осциллографе подключались к источнику питания постоянного тока через нормально замкнутые контакты реле, подключаемых параллельно катушкам электромагнитов гидрораспределителя зажима-разжима захватного органа.

Регистрация сигналов в ходе исследований, поступающих с датчиков углов и датчиков времени включения-выключения захватного органа производилась на бумагу светолучевого осциллографа Н004М1.

Определены статистические характеристики времени цикла подачи хлыста манипулятором ЛО-15А.10: среднее значение, равное 26,129 с; среднее квадратическое отклонение, равное 15,848 с.

Получены кривая 1 статистического распределения времени цикла подачи хлыста манипулятором ЛО-15А.10, работающим в угловой системе координат с раздельным по времени движением звеньев и кривая 2 теоретического распределения, описываемая функцией вида $f(t_n) = 0,00136t_n^{1,718} e^{-0,104t_n}$ (рис.5).

На основе результатов экспериментальных исследований получена регрессионная модель времени цикла переноса лесоматериала манипулятором ЛО-15А.10 вида

$$Y = 17,679X_1 + 10,371X_2 - 0,599, \quad (2)$$

где X_1 – угловой путь стрелы в цикле переноса лесоматериала; X_2 – угловой путь рукояти в цикле переноса лесоматериала; Y – время цикла переноса лесоматериала в обрабатывающей установке.

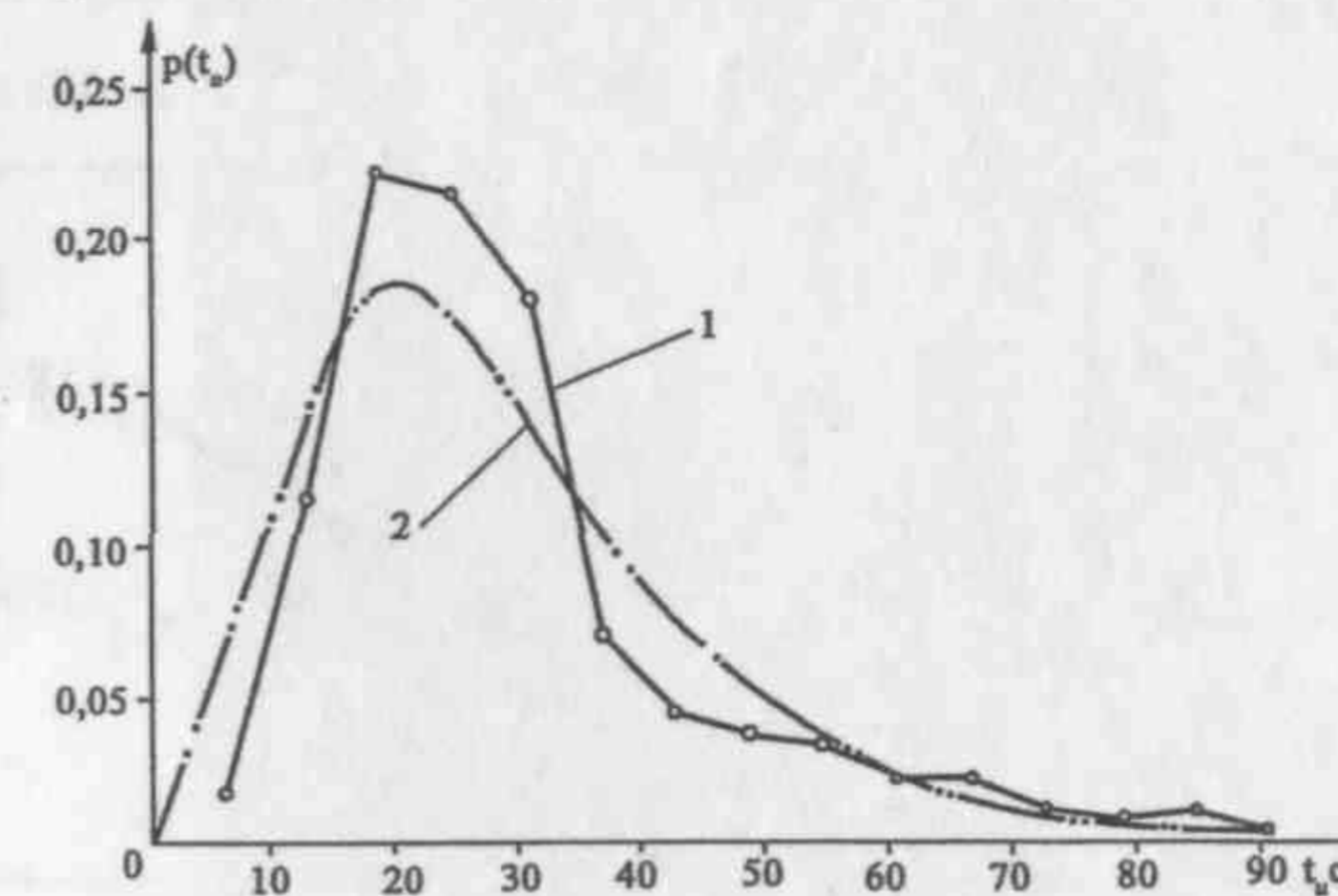


Рис. 5. Статистическое (кривая 1) и теоретическое (кривая 2) распределения цикла подачи хлыста манипулятором ЛО-15А.10

4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕНОСА ЛЕСОМАТЕРИАЛА ШАРНИРНО-РЫЧАЖНЫМ МАНИПУЛЯТОРОМ

С использованием полученной регрессионной модели (2) проведено статистическое моделирование времени цикла манипулятора на основе прямолинейно-направляющего механизма и манипулятора со строго синхронным движением звеньев.

Получены соответствующие кривые 1 статистического и кривые 2 теоретического распределений времени циклов манипуляторов (см. рис. 6 и рис. 7). Функции плотности распределения вероятностей времени цикла подачи хлыста манипуляторами приведены в табл. 1

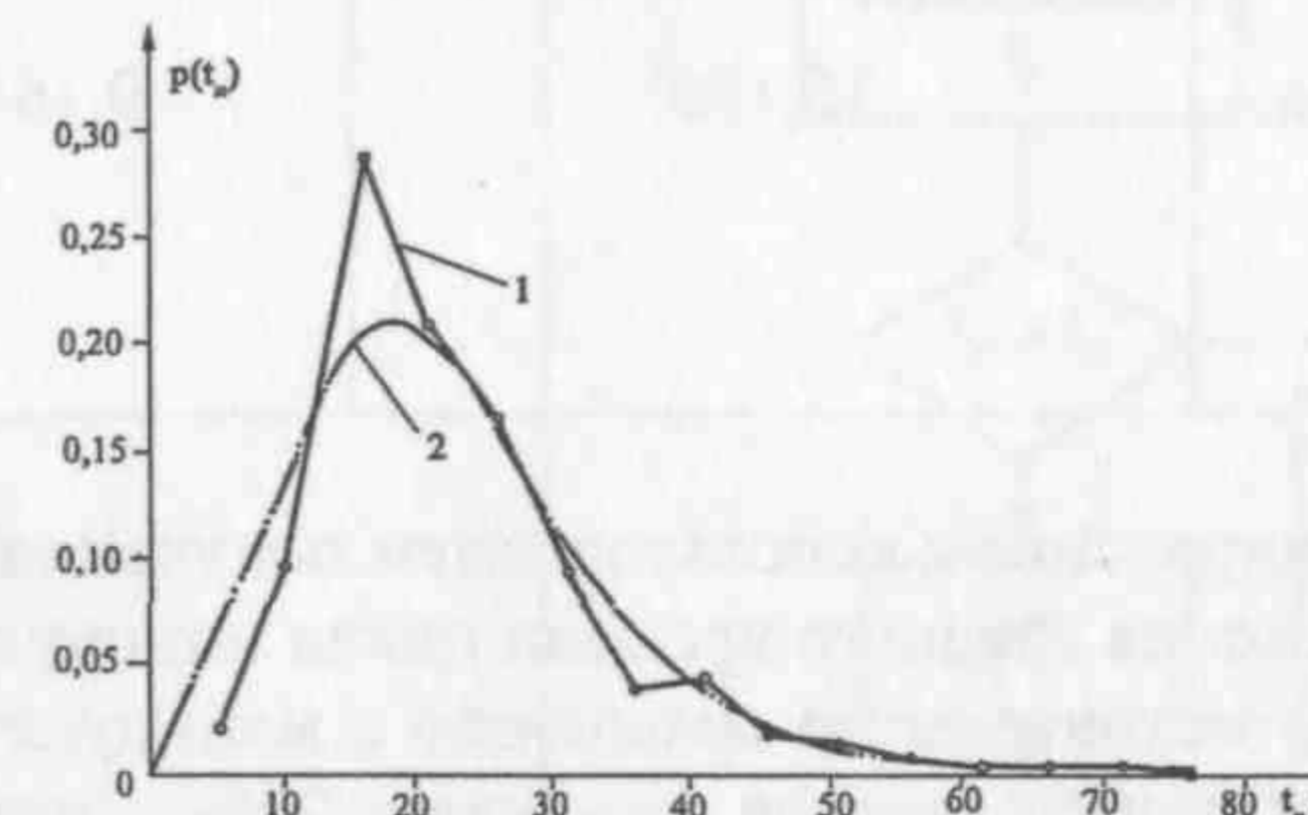


Рис. 6. Статистическое (кривая 1) и теоретическое (кривая 2) распределения времени цикла подачи хлыста манипулятором на основе прямолинейно-направляющего механизма

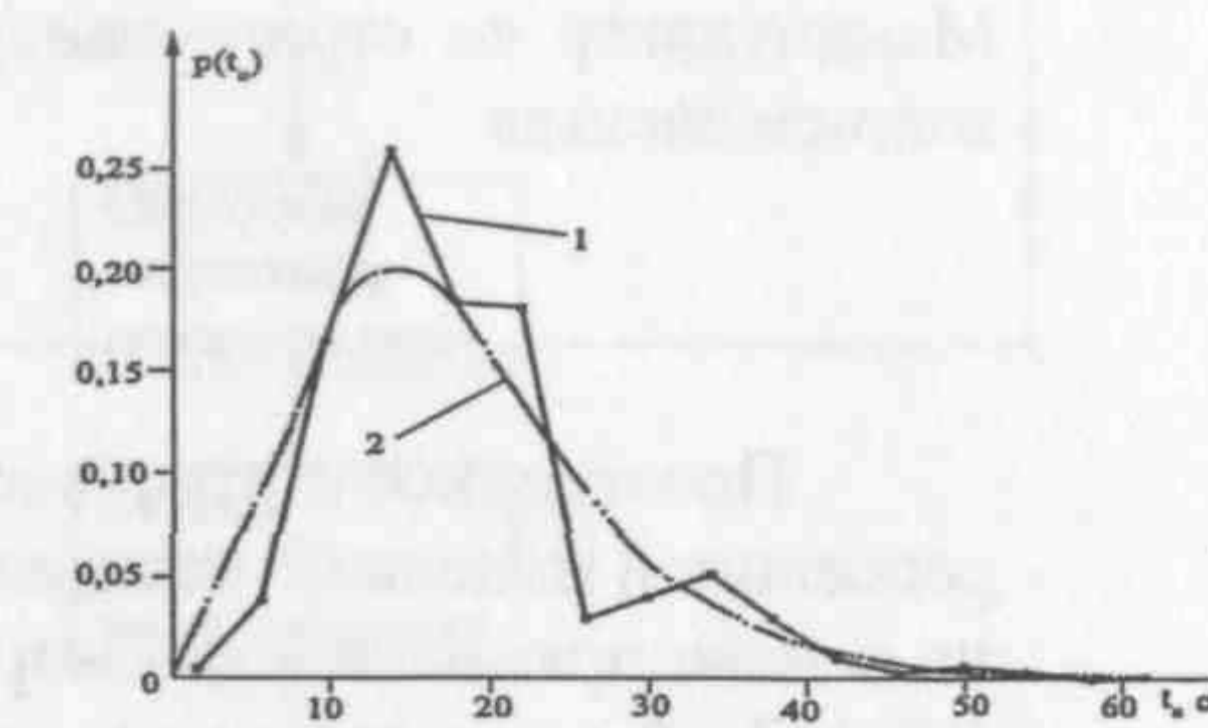


Рис. 7. Статистическое (кривая 1) и теоретическое (кривая 2) распределения времени цикла подачи хлыста манипулятором со строго синхронным движением звеньев

Таблица 1

Функции плотности распределения вероятностей времени цикла подачи хлыста

Вариант загрузки раскряжевочной установки	Плотность распределения
Манипулятор с частично синхронным движением звеньев на основе прямолинейно-направляющего механизма	$f(t_n) = 0,00041t_n^{2,75} e^{-0,186t_n}$
Манипулятор со строго синхронным движением звеньев	$f(t_n) = 0,0023t_n^{2,188} e^{-0,195t_n}$

Получены статистические характеристики времени цикла подачи хлыста манипулятором на основе прямолинейно-направляющего механизма и манипулятора со строго синхронным движением звеньев (см. табл. 2).

Таблица 2

Статистические характеристики времени цикла подачи хлыста

Вариант загрузки раскряжевочной установки	Среднее арифметическое, с	Среднее квадратическое отклонение, с
Манипулятор с частично синхронным движением звеньев на основе прямолинейно-направляющего механизма	19,949	10,428
Манипулятор со строго синхронным движением звеньев	16,195	9,164

Проведенное статистическое моделирование с использованием полученной регрессионной модели (2) показало, что снижение среднего времени цикла манипулятора на основе прямолинейно-направляющего механизма по сравнению с манипулятором ЛО-15А.10 с отдельным по времени движением звеньев составляет 24%. Снижение среднего времени цикла манипулятора со строго синхронным движением звеньев по сравнению с манипулятором ЛО-15А.10 составляет 38% (рис. 8)

Проведено имитационное моделирование процесса загрузки лесоматериала манипулятором с целью определения времени ожидания раскряжевочной установкой, блок-схема которого показана на рис. 9. На рисунке обозначено N – количество испытаний (количество циклов загрузки манипулятором раскряжевочной установки), B – интервал времени, на котором проводится исследование, M , – количество точек деления интервала B , C, A, L – параметры распределения времени цикла подачи хлыста манипулятором, $C1, A1, L1$ – параметры распределения времени цикла раскряжевки, t_n - время цикла подачи хлыста манипулятором, t_p - время цикла раскряжевки, $t_{ож}$ - время ожидания загрузки раскряжевочной установкой.

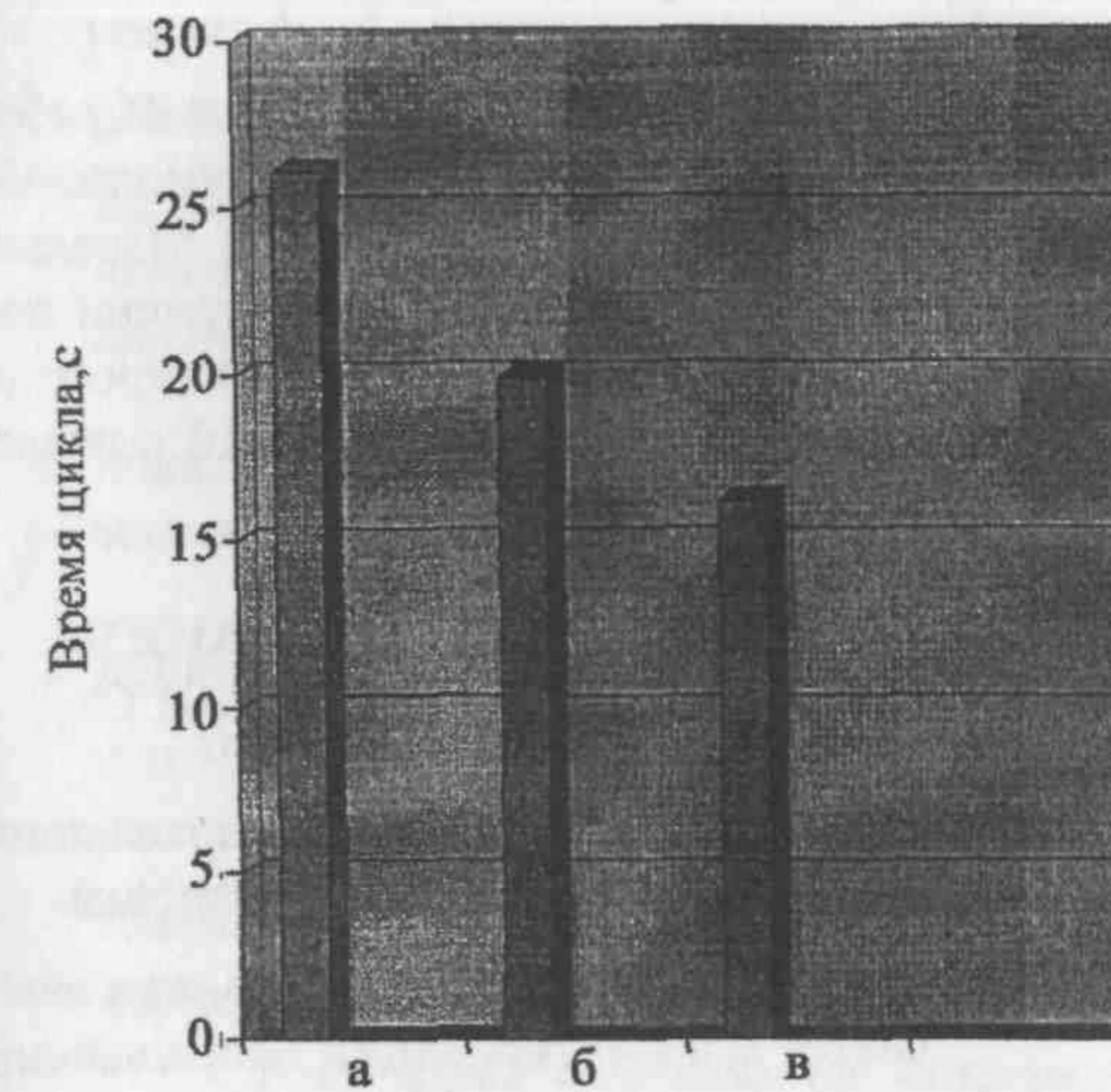


Рис. 8. Время цикла в зависимости от организации движения звеньев манипулятора: а-время цикла для отдельного движения звеньев; б-время цикла манипулятора на основе прямолинейно направляющего механизма; в-время цикла для строго синхронного движения звеньев

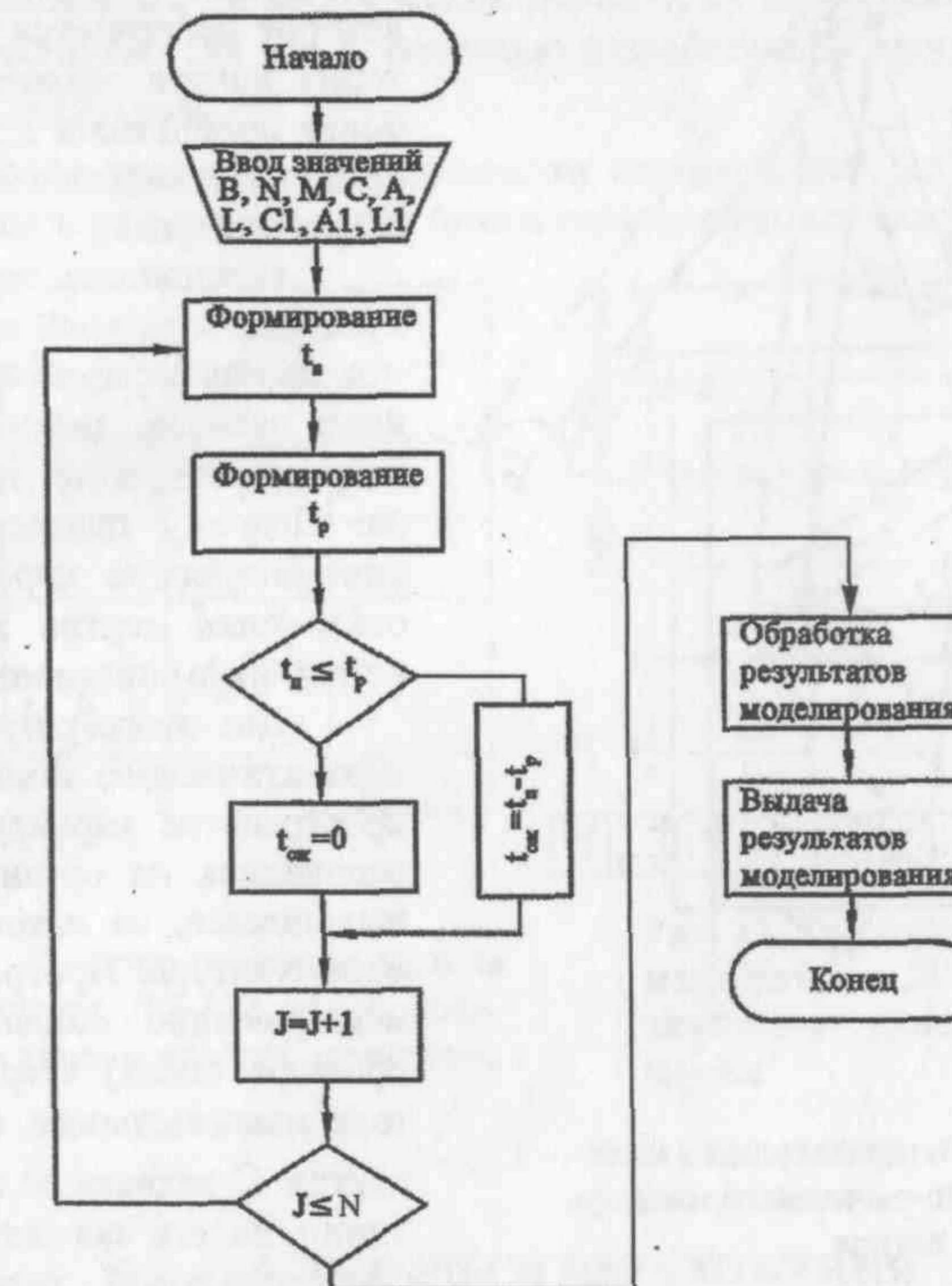


Рис. 9. Блок-схема моделирования времени ожидания загрузки раскряжевочной установкой

Моделирование показало, что уменьшение среднего времени цикла обработки хлыста РУ ЛО-15С при загрузке установки манипулятором на основе прямолинейно-направляющего механизма по сравнению с манипулятором ЛО-15А.10 с отдельным движением звеньев составляет 1,8 с или 4,1%. Уменьшение среднего времени цикла обработки хлыста РУ ЛО-15С при загрузке установки манипулятором со строго синхронным движением звеньев по сравнению с манипулятором ЛО-15А.10 с отдельным движением звеньев составляет 2,9 с или 6,6%.

5. МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НАПРАВЛЯЮЩЕГО МЕХАНИЗМА ШАРНИРНО-РЫЧАЖНОГО МАНИПУЛЯТОРА

Разработана методика автоматизированного проектирования направляющего механизма шарнирно-рычажного манипулятора для обрабатываемой установки.

Основная задача методики заключается в проектировании направляющего механизма шарнирно-рычажного манипулятора по кинематическому условию, которое заключается в том, чтобы траектория центра захвата была как можно более приближена к прямой радиальной линии, проходящей через ось опорного шарнира стрелы.

Отклонение центра захвата манипулятора от прямой линии зависит от соотношения кинематических параметров: длин звеньев, параметров закрепления гидроцилиндров на звеньях манипулятора. Поэтому целесообразно подбирать кинематические параметры так, чтобы отклонение центра захвата от прямых линий было минимальным.

Для этого разработана программа автоматического поиска в метрическом пространстве варьируемых параметров, основанная на организации итерационных циклов, на математической модели манипулятора. Программа осуществляет модификацию модели манипулятора и проводит оценку критериального показателя максимального отклонения Δ_{\max} центра C захвата от прямой радиальной линии на его соответствие требуемому (минимальному) значению. Процедура поиска останавливается по достижении

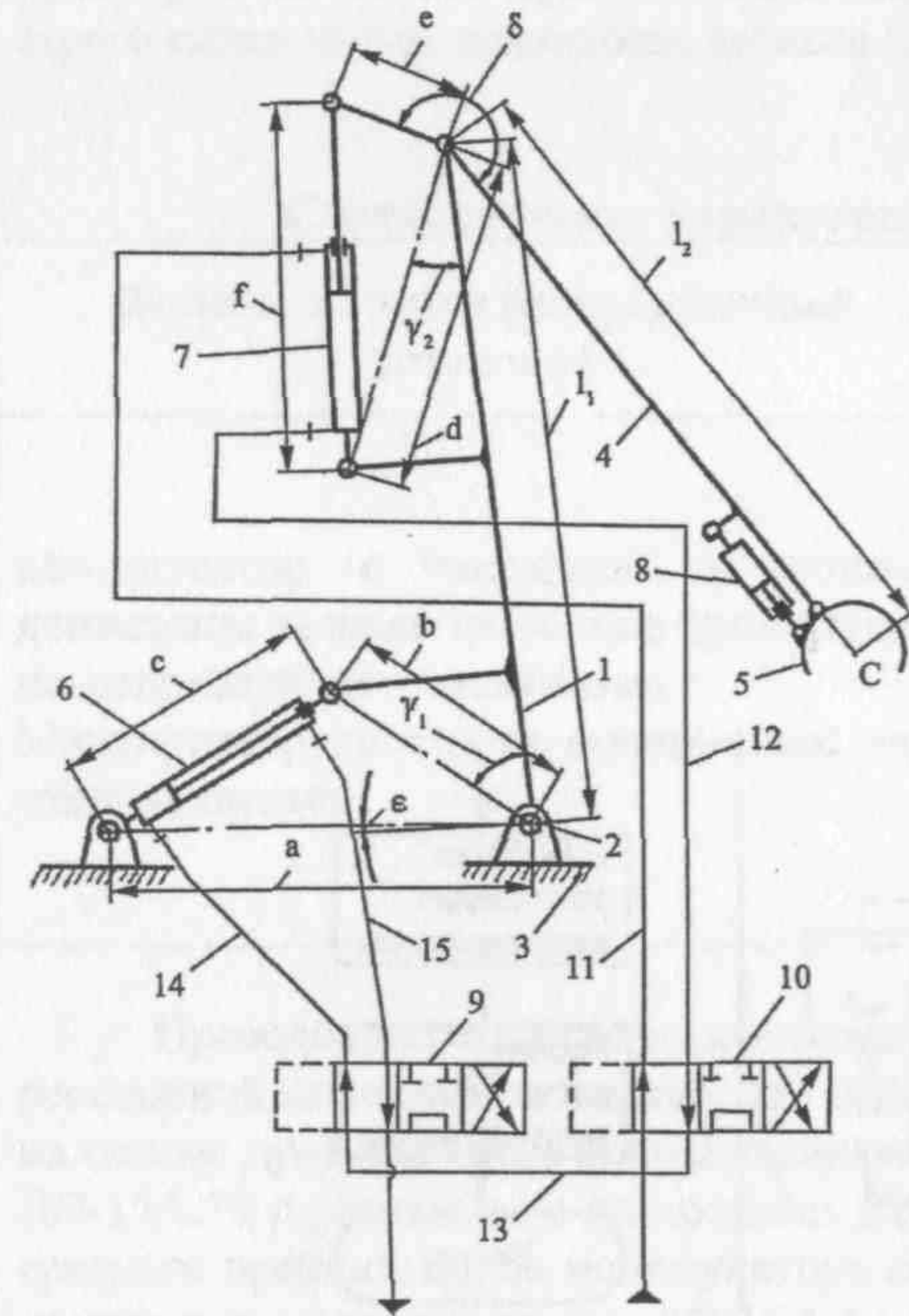


Рис. 10. Схема направляющего механизма шарнирно-рычажного манипулятора

критериального показателя требуемого уровня.

Математическая модель направляющего механизма манипулятора (рис. 10) включает длины звеньев манипулятора l_1, l_2 ; параметры закрепления гидроцилинд-

ров a, b, d, e ; углы $\gamma_1, \gamma_2, \delta, \epsilon$, характеризующие форму звеньев; площади поршней гидроцилиндров стрелы и рукояти F_{nc}, F_{np} ; уравнения связи кинематических параметров с координатами центра захвата манипулятора, уравнение связи между длинами гидроцилиндров привода стрелы и рукояти, явные и неявные ограничения на кинематические параметры.

Математическая модель направляющего механизма манипулятора включает показатель качества проекта—целевую функцию, в качестве которой принят модуль максимального отклонения центра C захвата от прямой радиальной линии.

Такие кинематические параметры направляющего механизма манипулятора как длины звеньев l_1, l_2 ; параметры закрепления гидроцилиндров a, b, d, e ; углы $\gamma_1, \gamma_2, \delta, \epsilon$, характеризующие форму звеньев, являются варьируемыми параметрами.

Площади поршней гидроцилиндров стрелы и рукояти F_{nc}, F_{np} ; начальные длины гидроцилиндров стрелы и рукояти c_0, f_0 ; конечные длины гидроцилиндров стрелы и рукояти c_1, f_1 образуют совокупность независимых параметров.

Программа основана на модифицированном последовательном симплексном методе оптимизации, известном под названием «комплексный метод» Бокса.

При найденных кинематических параметрах манипулятора ЛО-15А.10 значение Δ_{\max} составило 194 мм. С помощью разработанной программы удалось уменьшить Δ_{\max} в 18,6 раз.

На рис. 11 представлены траектории центра захвата манипулятора ЛО-15А.10 до оптимизации, а на рис. 12 после оптимизации кинематических параметров.

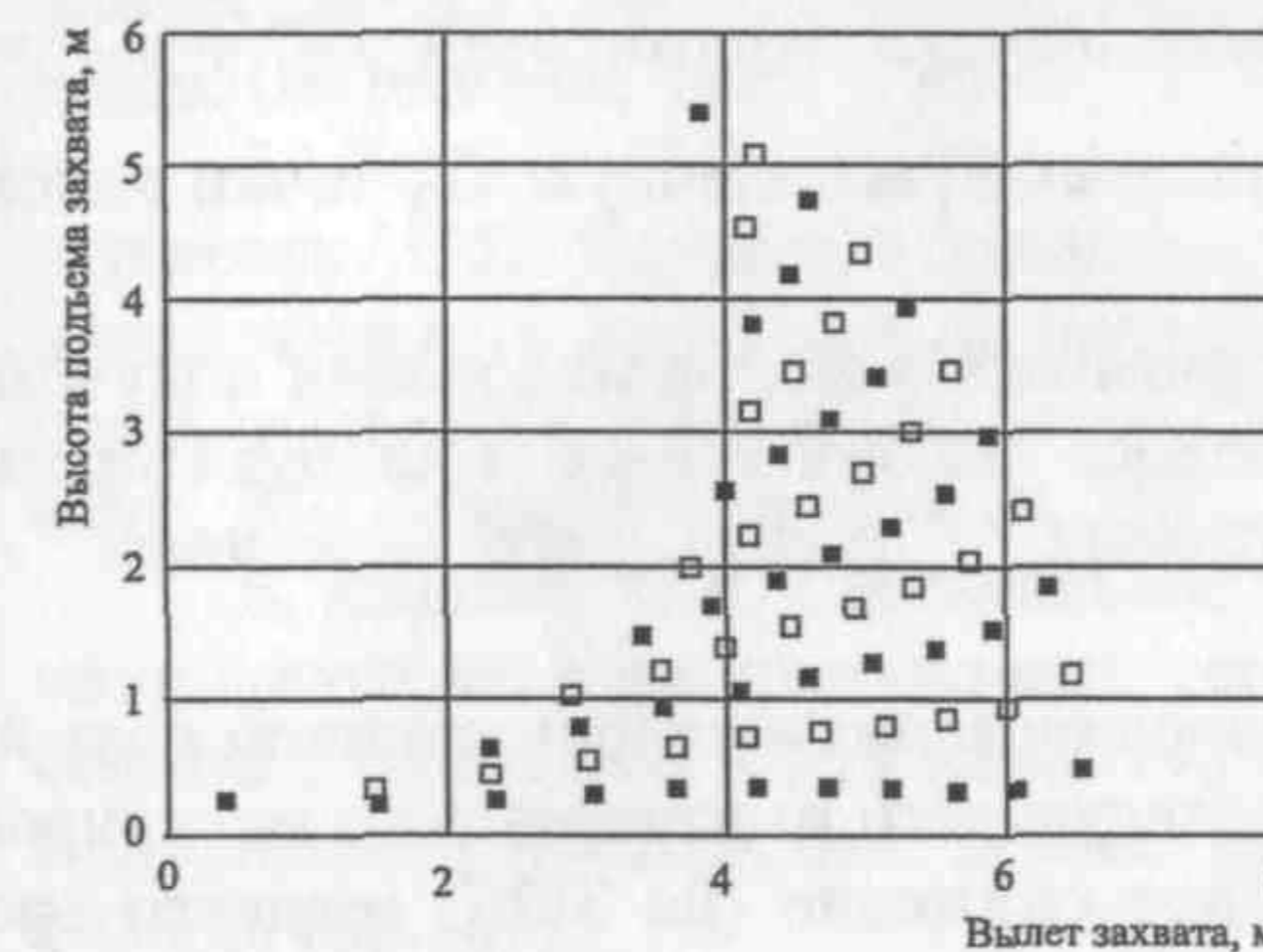


Рис. 11. Траектории центра захвата манипулятора ЛО-15А.10 до оптимизации кинематических параметров

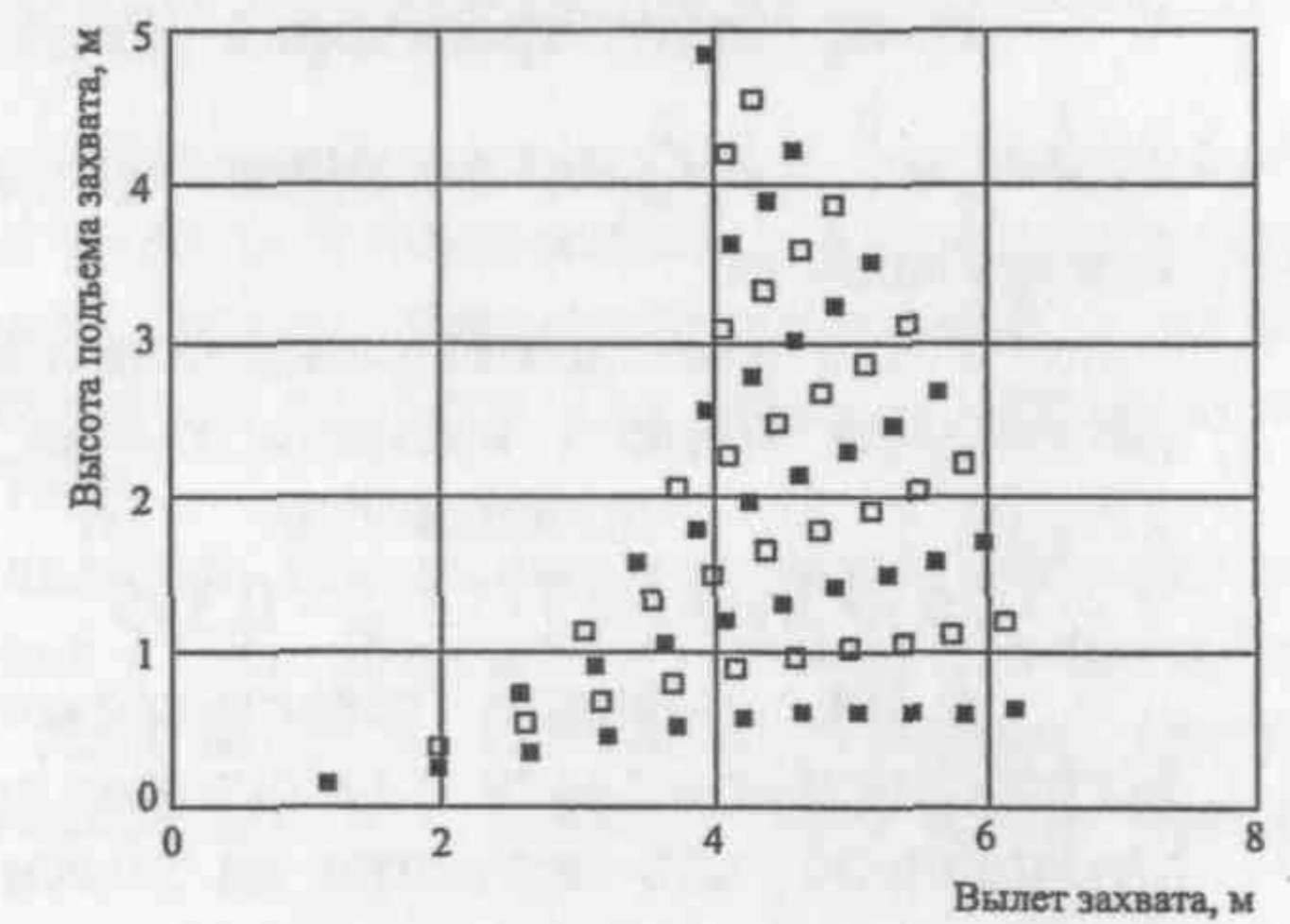


Рис. 12. Траектории центра захвата манипулятора ЛО-15А.10 после оптимизации кинематических параметров

6. ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Исследование процесса загрузки лесоматериалов в обрабатываемые установки шарнирно-рычажными манипуляторами позволяет сделать следующие выводы:

1. Оптимальным в случае плоского движения звеньев является такой режим, при котором угловая скорость рукояти поддерживается на максимальном уровне

$\omega_2 = \Omega_2$. При этом угловая скорость стрелы равна

$$\omega_1 = \frac{\Omega_2}{2} \left[1 - \frac{l_1^2 - l_2^2}{x_C^2 + y_C^2} - \frac{\sqrt{4l_1^2 l_2^2 - (l_1^2 + l_2^2 - x_C^2 - y_C^2)^2}}{a(x_C^2 + y_C^2)} \right].$$

В частном случае при переносе лесоматериала по прямой радиальной линии возмущающая функция $a = \infty$ и тогда угловая скорость стрелы равна

$$\omega_1 = \frac{\Omega_2}{2} \left(1 - \frac{l_1^2 - l_2^2}{x_C^2 + y_C^2} \right).$$

2. Плоская оптимальная траектория переноса лесоматериала в общем случае может быть представлена уравнением вида $\rho_C = \text{Re} \exp \int a d\varphi_C$. Интерполирующая функция, приближённо изображающая оптимальную траекторию переноса лесоматериала может быть представлена в виде

$$\rho_C = \text{Re} \exp \left(b_0 \varphi_C + b_1 \frac{\varphi_C^2}{2} + b_2 \frac{\varphi_C^3}{3} + \dots + b_{n-2} \frac{\varphi_C^{n-1}}{n-1} \right).$$

В частном случае не строго синхронного движения звеньев плоская оптимальная траектория переноса лесоматериала содержит отрезок прямой радиальной линии $y_C = a_0 x_C$, проходящей через ось опорного шарнира стрелы. Здесь a_0 — угловой коэффициент прямой.

В структуру траектории входят также отрезки окружностей $x_{C1}^2 + y_{C1}^2 = R_{C1}^2$, $x_{C2}^2 + y_{C2}^2 = R_{C2}^2$, проходящие через начальную C_1 и конечную C_2 точки положения центра захвата.

3. На основании проведенных экспериментальных исследований получена регрессионная модель времени цикла переноса лесоматериала манипулятором ЛО-15А.10 в зависимости от угловых путей его звеньев вида $Y = 17,679X_1 + 10,371X_2 - 0,599$.

4. На основании статистического моделирования с использованием полученной регрессионной модели и на основании последующего имитационного моделирования установлено, что несмотря на значительное снижение (на 38%) среднего времени цикла подачи хлыста манипулятором путем оптимального управления, выигрыш в снижении (на 6,6%) среднего времени цикла обработки хлыста не получается значительным, поскольку технологический режим работающего в составе раскряжевочной установки ЛО-15С манипулятора не является гибким. Оптимальный режим работы манипулятора требует форсирования режима раскряжевки.

5. Шарнирно-рычажные манипуляторы для обрабатываемых установок необходимо разрабатывать на основе прямолинейно-направляющих механизмов, так как такие манипуляторы обеспечивают минимальные временные затраты по загрузке лесоматериалов в обрабатываемые установки. Причем манипулятор на основе прямолинейно-направляющего механизма должен обеспечивать траекторию центра захвата в виде прямой радиальной линии, проходящей через неподвижную ось опорного шарнира стрелы.

6. Разработана и внедрена методика автоматизированного проектирования прямолинейно-направляющего механизма шарнирно-рычажного манипулятора. Методика проверена при проектировании однострелового манипулятора МО-1.

7. Выполненное исследование позволяет определить оптимальные режимы работы шарнирно-рычажных манипуляторов в обрабатываемых установках. Это в свою очередь позволяет увеличить сменную производительность установок, снизить удельные капиталовложения и эксплуатационные затраты.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Грузоподъемное устройство: а.с. 1312060 А2 СССР, МКИ³ В66С23/06, А01G23/08, В25J18/00 / С.П. Дорохов (СССР). №3911875/29-11; заявл.11.06.85; опубл.23.05.87, Бюл. №19. 3 с.

2. Грузоподъемное устройство: а.с. 1439068 А1 СССР, МКИ³ В66С23/06 / С.П. Дорохов (СССР). №413589/30-11; заявл.20.10.86; опубл.23.11.88, Бюл. № 43. 3 с.

3. Дорохов С.П. Статистическое моделирование времени циклов переноса лесоматериалов двухзвенным манипулятором с различной организацией движения звеньев / С.П. Дорохов // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. — 2010. — №4. — С. 53 — 58.

4. Дорохов С.П. Поиск рациональных гидрокинематических параметров манипуляторов для раскряжевочных установок / С.П. Дорохов // Вклад молодых ученых и специалистов в осуществление комплексной программы механизации лесосечных и нижнескладских работ. Тезисы докладов к научно-технической конференции, 21-22 марта. Свердловск, 1983. с. 39-41.

5. Дорохов С.П. Оптимальное управление манипулятором в раскряжевочной установке / С.П. Дорохов // Вклад молодых ученых и специалистов в ускорение научно-технического прогресса на предприятиях лесной, лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности Свердловской области. Тез. докл. к науч.-технич. конф. 26-27 апреля. Свердловск, 1985. с. 47-48.

6. Дорохов С.П. Оптимальное управление процессом переноса груза-хлыста манипулятором в раскряжевочной установке / С.П. Дорохов // Тезисы докладов Всесоюзного совещания 18-19 июня 1985г. г. Архангельск. Совершенствование техники и технологии предприятий лесной промышленности и лесного хозяйства. Москва, 1985. с. 168-169.

7. Дорохов С.П. Использование микро-ЭВМ при планировании траектории оптимальной по минимуму времени переноса груза манипулятором в раскряжевочной установке / С.П. Дорохов // Вклад молодых ученых и специалистов в осуществление комплексной механизации и автоматизации лесосечных и нижнескладских работ. Тезисы докладов Областной конференции 19 июня 1987 года. Свердловск, 1987. с. 14-16.

8. Дорохов С.П. Оптимизация по быстродействию траектории переноса груза манипулятором в раскряжевочной установке / С.П. Дорохов // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. — 1988. №4. с. 48-53.

9. Дорохов С.П. Поиск оптимальной по минимуму времени пространственной траектории переноса груза-хлыста в раскряжевочной установке поворотным манипулятором / С.П. Дорохов // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. — 1988. №6. с. 41-46.

10. *Дорохов С.П.* Оптимизация программного управления манипуляторами в раскрывочных установках / С.П. Дорохов; СНПЛО. Свердловск, 1988. 19с. Библиогр.: с.19. Деп. во ВНИПИЭИлеспром 29.01.88, № 2130 – лб88.

11. *Дорохов С.П.* Выбор геометрической траектории двухзвенного манипулятора, обеспечивающей движение, квазиоптимальное по времени / С.П. Дорохов // Тезисы докладов V Всесоюзной научно-технической конференции 25–27 октября 1989 года. Механизация и автоматизация переместительных работ на предприятиях лесного комплекса. Москва, 1989. с. 110-111.

12. *Дорохов С.П.* Оптимизация движений двухзвенного манипулятора в раскрывочной установке на основе кинематической модели / С.П. Дорохов // Вклад ученых и специалистов в ускорение научно-технического прогресса химико-лесного комплекса. Тезисы докладов областной научно-технической конференции 31 января–2 февраля. Свердловск, 1989. с. 75-76.

13. *Дорохов С.П.* Влияние краевых условий на нагруженность манипулятора в раскрывочной установке / С.П. Дорохов // Труды СНИИЛП. Свердловск, 1991. №.10. с. 98-104.

14. *Дорохов С.П.* К синтезу направляющих механизмов при автоматизированном проектировании шарнирно-рычажных манипуляторов / С.П. Дорохов, А.Н. Капитанов; СНИИЛП. Свердловск, 1991. Деп. во ВНИПИЭИлеспром 26.09.91, № 9791–лб 91.

15. *Дорохов С.П.* Влияние кинематики переноса груза на нагруженность манипулятора в составе автотранспортной установки / С.П. Дорохов // Проблемы и достижения автотранспортного комплекса. Материалы 1–й Всероссийской конференции. Екатеринбург, 2003.

16. Манипулятор: а.с. 1255553 СССР, МКИ³ В66С23/14, В25J5/00, А01G23/08 / С.П. Дорохов (СССР). №3775726/27-11; заявл. 26.07.84; опубл. 07.09.86, Бюл. № 33. 3 с.

17. Робототехнический комплекс: а.с. 1726235 А1 СССР, МКИ³ В25J11/00, 13/00 / С.П. Дорохов, В.Н. Попов (СССР). №4796028108; заявл.26.02.90; опубл.15.04.92, Бюл. № 14. 10 с.

18. Способ управления рабочим органом грузоподъемного устройства: а.с. 1346420 А1 СССР, МКИ³ В25J13/00 / С.П. Дорохов (СССР). №3950244/29–08; заявл.02.09.85; опубл.23.10.85, Бюл. № 39. 5 с.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах с подписью, заверенной гербовой печатью, просим направлять по адресу: 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, Ученому секретарю диссертационного совета Куцубиной Н.В. Факс: (343) 254-62-25.
E-mail: bsovet@usfeu.ru.

Подписано в печать ____ .11.2010г. Объем 1,0 п.л. Тираж 100. Заказ № 835.

620007, г. Екатеринбург, ул. Прибалтийская, 24.

ОАО Научно-производственное предприятие «Старт».

Сектор обслуживания техдокументации на электронных и твердых носителях.

A-1612