

УДК (UDC) 621.86

ПОДХОДЫ К ИМИТАЦИОННОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ
КАНАТНОЙ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ РАБОТЫ НА СКЛОНАХAPPROACHES TO SIMULATION MODELING OF WORKING PROCESSES
OF A ROPE LOGGING MACHINE FOR WORKING ON SLOPESЛагерев И.А., Химич А.В., Шкурманова С.С.
Lagerev I.A., Khimich A.V., Shkurmanova S.S.Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского (Брянск, Россия)
Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University (Bryansk, Russian Federation)

Аннотация. В настоящее время в связи с уменьшением объемов возможной добычи древесины в относительно удобных районах, характеризующихся благоприятным природным рельефом, актуальной технико-экономической задачей становится разработка лесозаготовительных технологий и соответствующего лесозаготовительного оборудования для производства работ на крутых склонах. В работе рассматриваются подходы к имитационному моделированию рабочих процессов, протекающих в элементах конструкций и системах канатных лесозаготовительных машин при их эксплуатации на крутых склонах. Определены основные режимы работы, параметры нагруженности, учитываемые в ходе моделирования. Разработанные подходы могут быть использованы при разработке цифровых двойников лесозаготовительного оборудования.

Ключевые слова: лесозаготовительная машина, склон, канат, имитационное моделирование, рабочие процессы, режимы работы.

Дата принятия к публикации: 02.06.2022
Дата публикации: 25.06.2022

Сведения об авторах:

Лагерев Игорь Александрович – доктор технических наук, доцент, проректор по инновационной работе ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», e-mail: lagerev-bgu@yandex.ru.

ORCID: 0000-0002-0921-6831

Химич Анна Васильевна – аспирант ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», e-mail: annahimich14@mail.ru.

Шкурманова Софья Сергеевна – студент ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», e-mail: sofashkurmanova@mail.ru.

Abstract. Currently, due to a decrease in the volume of possible timber extraction in relatively convenient areas characterized by favorable natural relief, the development of logging technologies and appropriate logging equipment for work on steep slopes becomes an urgent technical and economic task. This paper discusses approaches to simulation modeling of work processes occurring in structural elements and systems of rope logging machines during their operation on steep slopes. The developed approaches can be used in the development of digital twins of logging equipment

Keywords: logging machine, slope, rope, simulation, workflows, operating modes.

Date of acceptance for publication: 02.06.2022
Date of publication: 25.06.2022

Authors' information:

Igor A. Lagerev – Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor, Vice rector for Innovations, Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, e-mail: lagerev-bgu@yandex.ru.

ORCID: 0000-0002-0921-6831

Anna V. Khimich – student, Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, e-mail: annahimich14@mail.ru.

Sofia S. Shkurmanova – student, Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, e-mail: sofashkurmanova@mail.ru.

Благодарности

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-29-00798)

Acknowledgements

The study was supported by the grant of Russian Science Foundation (project No. 22-29-00798)

1. Введение

Истощение запасов древесины на равнинных территориях приводит к необходимости проведения лесозаготовительных работ в холмистой местности, которая часто заболочена. Механизированная заготовка древесины на склонах усложняется за счет проблем с обеспечением устойчивости лесозаготовительных машин. Очевидными путями решения проблемы является применение специальных шасси, анкерных опор или канатных оттяжек. Также актуальным является разработка специализированных канатных лесозаготовительных машин для работы на склонах [1, 2].

Исследуемая канатная транспортно-технологическая машина в общем виде показана на рис. 1. По крутому склону 1 между верхней 2 и нижней 3 базовыми станциями (модулями) машины расположен несущий канат 7, по которому движется рабочий орган или груз 4, приводимый в движение тяговым канатом 6 с помощью лебедки 5. Верхняя станция (модуль) машины закреплена оттяжкой 8, которая зафиксирована на склоне [1].

В работе рассматриваются вопросы имитационного моделирования рабочих процессов и режимов работы исследуемых машин с целью использования при оценки нагруженности.

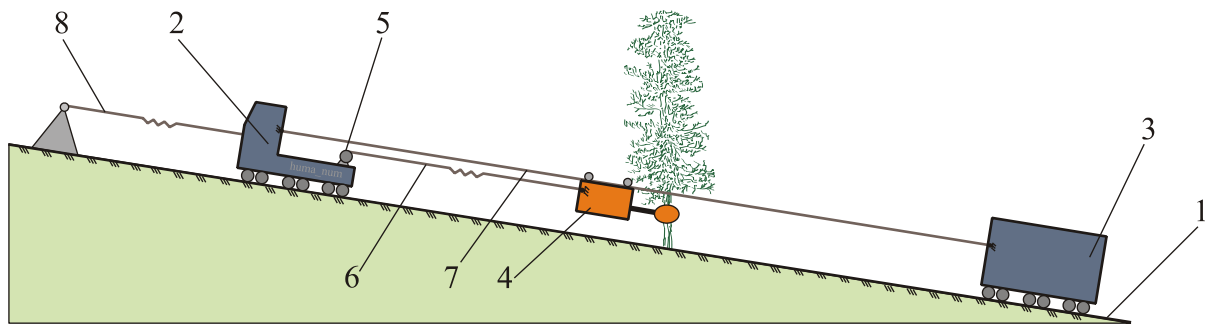


Рис. 1. Общая схема канатной лесозаготовительной машины:

1 – склон; 2 – верхняя базовая станция (модуль); 3 – нижняя базовая станция (модуль); 4 – рабочий орган; 5 – лебедка; 6 – тяговый канат; 7 – несущий канат; 8 – оттяжка [1]

2. Рабочие процессы канатной лесозаготовительной машины для работы на склонах

Конфигурация машины оказывает существенное влияние на её рабочие процессы и нагруженность. В общем виде конфигурация определяется следующими параметрами:

- координаты центра масс верхней $x_в, y_в, z_в$ и нижней $x_н, y_н, z_н$ базовых станций (модулей), заданные в локальных системах координат, связанных с базовыми станциями (рис. 2), либо координаты $x_{в0}, y_{в0}, z_{в0}, x_{н0}, y_{н0}, z_{н0}$ (соответственно) в глобальной системе координат (рис. 3);

- координаты центра масс рабочего органа, определяющее его положение между базовыми станциями $x_{ро}, y_{ро}, z_{ро}$ – в локальной системе координат (рис. 2), либо $x_{ро0}, y_{ро0}, z_{ро0}$ (соответственно) – в глобальной системе ко-

ординат (рис. 3), возможно задавать координаты рабочего органа в системе координат одной из базовых станций;

- параметры рабочего органа, например, значения обобщенных координат звеньев манипулятора (в общем виде выражается вектором параметров $\{X_{po}\}$;

- координаты точки крепления канатной оттяжки в глобальной системе координат.

Исследуемые лесозаготовительные машины являются машинами циклического действия. Поэтому для каждого из $N_{ц}$ циклов работы необходимо моделировать указанные выше параметры, определяющие конфигурацию. При этом под циклом следует понимать процесс работы машины с одним деревом. Тем не менее, при моделировании также можно выделить циклы $N_{ц0}$ установки машины на склоне, в начале которого базовые станции устанавливаются на склоне, после

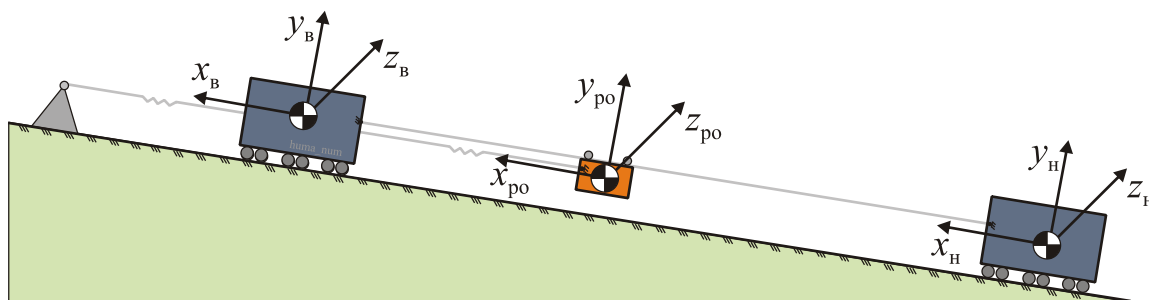


Рис. 2. Координаты элементов системы в локальных системах координат

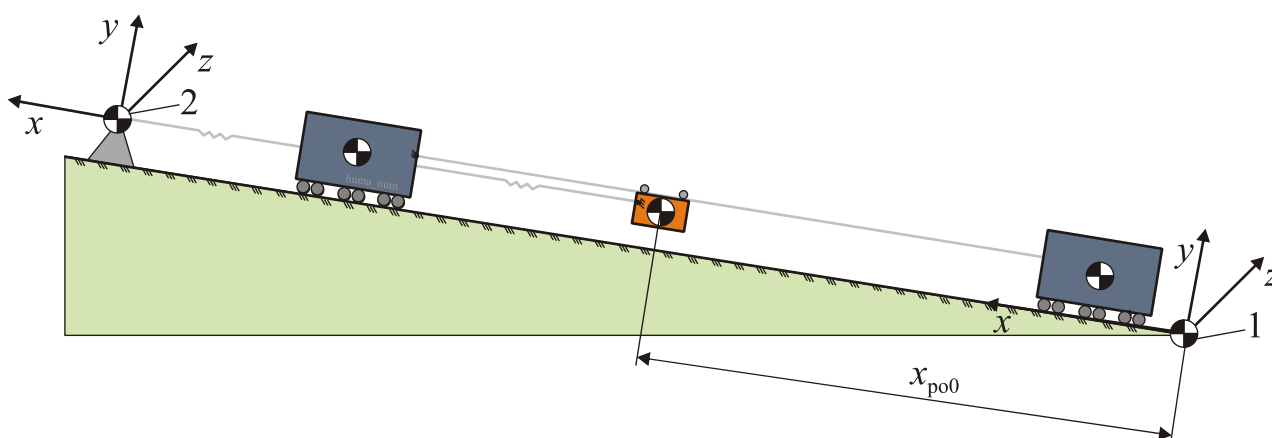


Рис. 3. Координаты элементов системы в глобальных системах координат (значение показано для координаты x_{po0}): 1 – система координат с началом в нижней точке склона; 2 – система координат с началом в точке крепления оттяжки

чего машина обрабатывает необходимое количество деревьев. В этой связи рациональным является имитационное моделирование количества циклов $N_{ц}$ для каждого цикла установки машины.

К типовым режимам работы (технологическим операциям) исследуемой лесозаготовительной машины относятся:

- установка машины на склоне на исходную позицию;
- передвижение рабочего органа к месту валки дерева;
- валка дерева;
- предварительная обработка дерева;
- транспортировка дерева в зону временного складирования;
- складывание машины;
- перемещение базовых станций на новые позиции на склоне.

Последовательности технологических операций определяются в ходе имитационного моделирования.

Каждая k -я технологическая операция описывается набором параметров $\{Y_{ток}\}$. Рассмотрим наборы основных параметров технологических операций, рассматриваемые при моделировании рабочих процессов канатной лесозаготовительной машины для работы на склонах.

Для технологической операции «установка машины на склоне на исходную позицию»: угол наклона, координаты точки крепления оттяжки, начальные координаты базовых станций, конечные координаты базовых станций (после установки), начальное натяжение несущего каната (канатов), начальное положение рабочего органа, максимальные скорости движения базовых станций, параметры опорной поверхности, силы тяги базовых станций, силы сопротивления движению базовых станций, скорости и усилия лебедок натяжения канатов (несущих и тягового).

Для технологической операции «передвижение рабочего органа к месту валки дерева»:

- координаты рабочего органа при спилке дерева;
- максимальная скорость движения рабочего органа;
- скорости и усилия лебедки привода тягового каната.

Для технологической операции «валка дерева»:

- параметры конфигурации рабочего органа (например, обобщенные координаты манипулятора);
- порода дерева;
- масса дерева исходная;
- влажность древесины;
- сопротивление резанию;
- острота лесопильного инструмента;
- длительность валки.

Для технологической операции «предварительная обработка дерева»:

- масса дерева после валки;
- масса дерева после обработки;
- длительность процессов обработки.

Для технологической операции «транспортировка дерева в зону временного складирования»:

- координаты точки временного складирования.

На данном этапе исследований технологическая операция «складывание машины» при моделировании не рассматривается.

Для технологической операции «перемещение базовых станций на новые позиции на склоне» используются те же параметры, что и для технологической операции «установка машины на склоне на исходную позицию».

Для всех технологических операций может выполняться моделирование жесткостей и параметров диссипации канатов.

3. Имитационное моделирование режимов работы канатной лесозаготовительной машины для работы на склонах

Типовым способом представления исходной информации для имитационного моделирования является блок распределения параметра. Такие блоки строятся для каждого рассматриваемого параметра на основе данных наблюдений, или на основе технического задания на проектирование машины. Так-

же возможно использование детерминированных выражений.

Переход от одного уровня нагрузки к другому осуществляется согласно условным вероятностям перехода P_{ij} от i -го уровня к j -го уровню. Вычисление этих вероятностей осуществляется после каждого вычислительного опыта (после каждого перехода). Число переходов равно числу циклов работы машины за исследуемый период времени. Схема моделирования приведена на рис. 4.

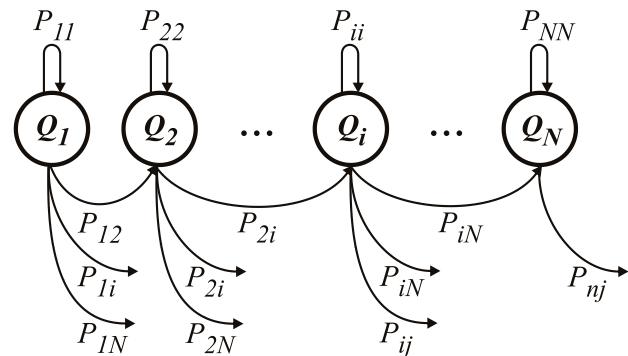


Рис. 4. Схема моделирования переходов при имитационном моделировании

В вычислительном опыте с номером s переход к значению фактора нагруженности, соответствующего i -й ступени блока распределения определяется следующим образом:

$$Q_s = \begin{cases} Q_1 & \text{при } x_R \leq P_{s-1,1}; \\ \dots \\ Q_i & \text{при } \sum_{k=1}^{i-1} P_{s-1,k} \leq x_R \leq \sum_{k=1}^i P_{s-1,k}; \\ \dots \\ Q_N & \text{при } \sum_{k=1}^{N-1} P_{s-1,k} \leq x_R \leq 1, \end{cases}$$

где Q_s – результат s -го вычислительного опыта ($s=1 \dots N_{\text{ИЦ}}$); x_R – случайное число, распределенное равномерно в интервале от 0 до 1 [3].

Если требуется не указать интервал, а определить точное значение параметра, то необходимо пересчитывать значение пропорционально x_R .

Если в ходе моделирования в течение s вычислительных опытов получено, что машина отработала \hat{N}_i циклов с значением параметра, лежащим в i -й группе, то вероят-

ность перехода в $(s+1)$ -м вычислительном опыте к грузу j -й группы равна

$$P_{ij} = \frac{N_{ЦС} \cdot Q_{Бj} - \hat{N}_j}{N_{ЦС} - s},$$

где $Q_{Бj}$ – относительная масса груза, перемещаемого в течение c_i циклов.

Эти параметры в дальнейшем служат в качестве исходных параметров динамических моделей, входящих в состав цифрового двойника объекта исследования. С помощью динамических моделей строятся реализации процессов изменения координат и усилий в течение текущего цикла работы лесозаготовительной машины.

В общем виде алгоритм имитационного моделирования рабочих процессов объекта исследования выглядит следующим образом.

1. Моделируются последовательность значений количества циклов $N_{ц0}$ за исследуемый период работы машины.

2. Для каждого значения $N_{ц0}$ моделируется значение количества циклов $N_{ц}$ (количество деревьев).

3. Для каждого цикла моделируется последовательность технологических операций. На этапе проектирования последовательность может задаваться на основе технического задания, тогда этот этап моделирования пропускается.

4. Для каждой технологической операции моделируются значения параметров $\{Y_{ток}\}$.

5. На основе результатов моделирования параметров работы машины с помощью динамических моделей строятся реализации процесса изменения характеристик нагруженности, которые можно использовать при оценке прочности и долговечности машины.

Моделирование выполняется в программном комплексе собственной разработки. Пример результатов расчет приведен в листинге.

Листинг

Результаты имитационного моделирования режимов работы

Результаты моделирования: машины ЛМК-01

huma_num - ssofi

16.06.22 23:59

Циклы установки Циклы работы

5	10 12 5 9 22
1	22
11	8 11 13 17 21 6 9 15 31 2 22

Последовательности технологических операций для циклов работы

1
2 3 4 5
2 3 4 5
2 3 4 5
2 3 4 5
2 3 4 5
6 7
...

Параметры технологических операций

5.2 0.129 0.129 100000
Сосна 6200 0.65 2400 1 90

...

4. Основные выводы

На основе результатов исследования можно сделать следующие выводы.

1. Определение значения параметров рабочих процессов канатной транспортно-технологической машины с использованием методов имитационного моделирования, позволяет оценить значения параметров нагруженности на этапе проектирования.

2. Для выполнения моделирования могут использоваться данные наблюдения за работой машины или информация из техническо-

го задания на проектирования в виде блоков распределения параметров.

3. Имитационное моделирование выполняется в программном комплексе собственной разработки. Могут также использоваться промышленные программные комплексы имитационного моделирования.

4. Для повышения точности моделирования в дальнейшем планируется более детальное экспериментальное изучение характеристик распределения параметров исследуемых машин.

Список литературы

1. Лагерев И.А., Химич А.В. Математическое моделирование динамики кабельной грузоподъемной машины // Ученые записки Брянского государственного университета. 2022. №1. С. 7-10.

2. Лагерев И.А. Динамическая нагруженность крана-манипулятора машины для сварки трубопроводов при движении с грузом // Подъемно-транспортное дело. 2011. №3. С. 7-10.

3. Лагерев И.А. Моделирование факторов нагруженности крана-манипулятора машины для сварки трубопроводов // Вестник Брянского государственного технического университета. 2012. №1. С. 62-70.

References

1. Lagerev I.A., Khimich A.V. Mathematical modeling of dynamics cable lifting machine. *Uchenye zapiski Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2022, No.1, pp. 7-10. (In Russian)

2. Lagerev I.A. Trunk pipeline welding machine crane-manipulator dynamics during freight movement. *Podemno-transportnoe delo*, 2011, No.3, pp. 7-10. (In Russian)

3. Lagerev I.A. Simulation of a crane-manipulator of mobile energy unit metal construction loading parameters. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2012, No.1, pp. 62-70. (In Russian)