

На правах рукописи



Бальде Тьерно Мамаду Джюльде

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА
КРУГЛОГО ЛЕСА В РЕСПУБЛИКЕ ГВИНЕЯ НА ОСНОВЕ
СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ИННОВАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

05.21.01. Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург - 2021

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова» (СПбГЛТУ).

Научный руководитель: **Беленький Юрий Иванович**
доктор технических наук

Официальные оппоненты: **Рябухин Павел Борисович**
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры технологии
лесопользования и ландшафтного
строительства, ФГБОУ ВО
«Тихоокеанский государственный
университет»

Мехренцев Андрей Вениаминович
кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой технологии и
оборудования лесопромышленного
производства ФГБОУ ВО
«Уральский государственный
лесотехнический университет»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования
«Братский государственный университет»

Защита диссертации состоится «23» сентября 2021 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета Д.212.220.03 при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова» по адресу: 194021, Санкт-Петербург, Институтский пер.5, главное здание, зал заседаний диссертационного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета на сайте ФГБОУ ВО «СПбГЛТУ имени С.М.Кирова»: <http://spbftu.ru/dissertatsionnye-sovety-pospetsialnostyam/d-212-220-03/zashhity-dissertatsij/>

Автореферат разослан « ____ » июля 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических
наук



Хитров
Егор Германович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Основные представления системного анализа как составной части теории систем становятся неотъемлемой частью научно-технических исследований в лесном комплексе: построение целостности и системной связности технологических операций во внутреннем функциональном пространстве-времени, выстраиваемом целевыми функциями системы и её элементами. В системной связности технологического процесса, выполняемого комплексом машин, между основными технологическими (валка, раскряжевка и др.) и переместительными (трелевка, погрузка и др.) операциями имеет место междуоперационная задержка времени перехода от одной операции к другой. Поэтому при системном подходе к анализу динамики работы комплекса временной переход от предыдущей операции (подоперации) к последующей следует рассматривать как операцию (подоперацию), дополняющую основные и характеризующейся производительностью. Системный анализ позволяет выстраивать единое функциональное пространство-время выполнения производственных операций для различных уровней связности технологических процессов. При системном подходе выстраивается двухуровневая иерархическая производственная структура комплекса: комплекс, как система связанных машинных операций, и операции машин, как системы связных подопераций. Связности операций и подопераций выполняются соответственно между операционным и между подоперационным ожиданием движения предмета труда в производственном цикле. При таком системном подходе становится возможным получать достаточно полную информационную картину единой динамики технологического цикла производства лесоматериалов комплексом, как глубоко интегрированной пространственно-временной структуры. Повышение технологической эффективности производства круглых лесоматериалов комплексами машин путем применения системного подхода к раскрытию динамической картины связности операций технологического цикла в едином функциональном времени производства востребовано и актуально.

Степень разработанности темы исследования. На рынке лесного машиностроения имеется широкий спектр машин, механизмов и оборудования лесозаготовки: бензиномоторные пилы, валочные и валочно-пакетирующие машины, трелевочные трактора, харвестеры (многооперационные машины), форвардеры (сортиментовозы), скиддеры, процессоры, рубительные машины для измельчения вторичного сырья,

лесовозные автомобили и др. На основании этой техники возможна организация комплексов различной композиции производства лесоматериалов. Формирование комплексов машин, как композиций лесозаготовительной техники, рассмотрено В.А.Барановским, Р.М.Некрасовым. Исследованию технологической эффективности лесной техники посвящены работы С.Ф. Орлова, В.А. Александра, В.Б. Прохорова, В.Г. Кочегарова, Г.Ш. Гасымова Г.Ш. и др..Аддитивный подход представления энергетической эффективности технологического процесса выполнен М.В. Коломиновой, П.Б. Рябухиным. Представление оптимальных процессов на основе исследования интегральных функционалов перемещения предмета труда с позиции решения задач синтеза конечных моделей дано С.Б.Якимовичем. Производительность дискретного цикла работ комплексов машин на основе суммирования времени производства одного кубического метра древесины в последовательно выполняемых технологических операциях машин представлена В.Н.Меньшиковым, И.Р. Шегельманом, В.И. Скрыпником, О.И.Галактионовым. Системно-динамическая связанность процессов лесозаготовки на основе определения функциональных времен производства единицы продукции, затраты единицы энергии и представление критериев эффективности лесозаготовительных комплексов даны С.М. Базаровым, Ю.И. Беленьким, А.В. Кожемякиным. Исследование синхронизации комплексов в статистически детерминированных режимах работы выполнено Ю.И.Беленьким. Не смотря на научную и практическую значимость выполненных исследований, вопрос представления циклов технологических операций, выполняемых комплексами, как единых системно связанных функциональным пространством-временем многоступенчатых структур, оптимально выполняющими свои целевые функции, требует дальнейшего рассмотрения.

Цель и задача исследования. Целью работы является повышение производительности труда на основе определения системного принципа оптимизации технологических процессов, выполняемых комплексами машин на лесосеке. Для решения поставленной задачи необходимо исследовать следующие вопросы:

- раскрыть операцию, как систему связанных подопераций;
- раскрыть функциональную связанность между операциями;
- определить технологическую эффективность связности между подоперациями;
- сформулировать функциональное время связности операций, подопераций, между операциями и между подоперациями всего

цикла;

- определить единое функциональное время выполняемых операций, подопераций, между операциями и между подоперациями как общее время производства предмета труда комплексом;
- сформулировать критерий эффективности технологического процесса, как единой глубоко интегрированной функциональным временем целевой функцией производственной структуры.

Значимость для теории и практики. Теоретическая значимость исследования заключается в применении системного подхода для определения критериев эффективности технологий в функциональном времени производства, как наиболее информативных и достоверных.

Построена математическая модель системно-динамической единой интегрированной связности работы лесной техники в комплексах, выполняющих производство и перемещение лесоматериалов,

Практическая значимость исследования состоит в возможности повышения производительности труда в лесной отрасли путем оптимизации технологических процессов лесозаготовок на основе определения системно-динамической связности операций, образующих единую функциональную пространственно-временную структуру.

Методы исследования. Решение поставленной задачи выполнено на базовых научных составляющих теории систем, системного анализа, кибернетики, математических методах и др. при определении технологической эффективности хронометрированных производственных операций.

Степень достоверности. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается применением современных аналитических системно-динамических методов исследования хронометрированного материала по выполнению операций производства лесоматериалов для Северо-Западного региона России.

Исследования выполнены на основе научной, учебной и методической литературы, материалах периодических изданий и сведений из сети Интернет.

Научная новизна работы.

- Представлена математическая модель определения функционального времени производства предмета труда в технологических, переместительных операциях и в связывающих их между операционных ожиданиях;
- Построена математическая модель единого функционального времени производственной операции, как системы связных подопераций;
- Сформулированы критерии технологической эффективности операций, как системно связных подопераций;

- Представление производственного цикла комплекса, как единой системы многоступенчатых операций, связанных единым функциональным временем производства;

- Аналитическое представление единого функционального времени производства предмета труда в цикле работы комплекса лесной техники;

- Сформулированы критерии технологической эффективности всего цикла работы комплекса лесной техники.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Математическая модель представления единого функционального времени связности технологических операций комплекса на основе анализа целевой функции производственного процесса.

2. Методика расчета производительности машин, механизмов и оборудования лесозаготовительного производства на основе раскрытия динамики операций, как системно связанных подопераций.

3. Математическая модель представления единого функционального времени производства предмета труда в целом цикле работы комплекса.

4. Методика расчета производительности лесозаготовительного комплекса, как единой многоступенчатой структуры системно связанных функциональным временем технологических операций,

5 Принцип оптимальности технологии производства предмета труда комплексами: минимум функционального времени производства единицы труда во всем цикле.

Личный вклад автора. Вклад автора состоит в формировании задач исследования, её математического представления, и решения на основе развития системного подхода путем нахождения интегрированной связности сложных производственных процессов лесозаготовительного производства.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и были одобрены на ежегодных научно-технических конференциях СПбГТУ (Санкт-Петербург 2018 – 2021 гг), («Леса России», 2021 г.) ; основные научные и практические рекомендации, полученные в ходе выполнения диссертационной работы, рассмотрены на ООО «СОЮЗ», Ленинградская область.

Публикации. По результатам выполненных исследований автором опубликовано 2 статьи в рецензируемом журнале ВАК и статья в «Леса России : политика, промышленность, наука, образование. Том 1 СПбГЛТУ 26-28 мая 2021г. – С. 46-49».

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы, включающего 99 наименований. Общий объём текста 111 машинописных страниц. Основной текста работы содержит 27 рисунков и 3 таблицы.

Соответствие диссертация паспорту научной специальности.

Диссертация соответствует следующим пунктам паспорта специальности 05.21.01 – Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства:

5. Оборудование и оптимизация параметров и режимов работы лесозаготовительных и лесохозяйственных машин.
6. Выбор технологий, оптимизация параметров процессов с учетом воздействия на смежные производственные процессы и окружающую среду.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задача исследований, представлены научная новизна и практическая значимость, сформулированы научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние вопроса и задачи исследования» представлено аналитическое исследование производительности по среднестатистическим параметрам состояния комплексов лесной техники заготовки круглого леса в Республике Гвинея, скандинавская технология и технологии Северо-Запада РФ. Показано, что технологическая эффективность скандинавской технологии и технологий Северо-Запада РФ существенно выше первой, поэтому они являются инновационными для Республики Гвинея. Технологии лесозаготовок исследуются как композиции машинно-механизированных операций, критерии эффективности которых определяются на основе оценки средних статистических временях выполняемых операций и объемов древесины в технологическом цикле.

Повышение производительности труда в лесной отрасли непосредственно зависит от того, насколько основные представления системного подхода и системного анализа применяются при формировании, эксплуатации и управлении комплексами лесной техники. Представлен краткий обзор элементов основ системного подхода, как совокупность методов, которые реальную структуру представляют в виде единства взаимосвязанных компонентов, и системного анализа, базирующегося на теории множеств. Общим здесь является понятие системы как целостное множество, состоящее из взаимосвязанных элементов, имеющих в своей основе единую целевую функцию. По отношению к исследованию технологической эффективности комплексов лесозаготовительной техники системный подход - это концептуальность, а системный анализ – это математические основы формулирования наиболее информативных критериев эффективности технологий. Изложено представление производственных операций как кибернетических ступеней

со своими входными и выходными параметрами, композицией которых становится возможным представить цикл работы комплекса в виде единой многоступенчатой структуры. Выполненный анализ позволил определить цель и задачу исследования и возможности их решения.

Во второй главе «Системная связность динамики производства круглого леса комплексом харвестер-форвардер» с позиции системной связности выполняемых операций цикла представлена математическая модель технологической эффективности комплекса машин для скандинавской технологии заготовки сортиментов, как единой многоступенчатой структуры, связанной единым функциональным временем производства предмета труда.

На основании хронометража технологических операций валки, очистки деревьев от сучьев, раскряжевки и сортировки, выполняемых харвестерной головкой (ХГ) многооперационной лесосечной машиной ВСРМ Ponsse Ergo 8W (Timberjack 1270D), представлена многоступенчатость цикла (рисунок 1) и математическая модель системной динамической связности операций цикла ХГ в едином функциональном времени производства единицы предмета труда.

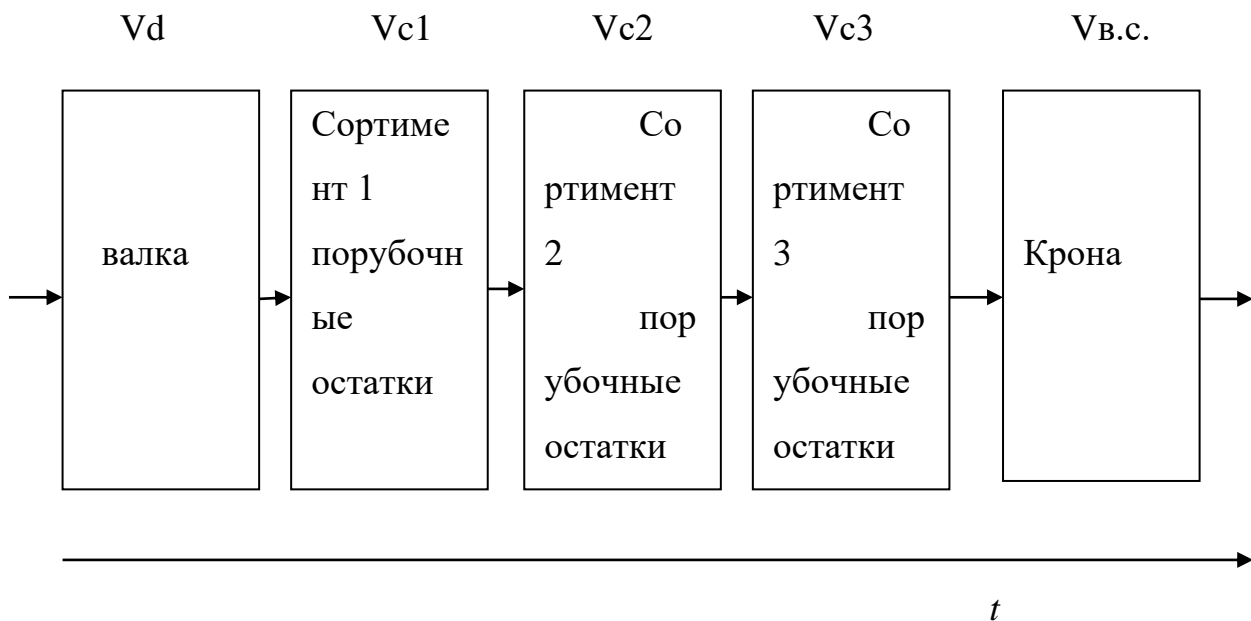


Рисунок 1. Схема последовательного процесса производства сортиментов и вторичного сырья ХГ.

Согласно представлениям системного анализа производительность (Π_i) получаемого древесного материала и функциональное время (T_i) производства единицы объема древесины по ступеням соответственно равны

- общей древесной массы (конечный продукт: дерево, первая ступень):

$$\Pi_1 = \frac{V_d}{\sum_{i=1}^7 t_i}, \quad (1)$$

- функциональное время получения единицы объема общей древесной массы (T_1)

$$T_1 = \frac{\sum_{i=1}^7 t_i}{V_d}, \quad (2)$$

- материала древесины (конечный продукт: сортименты и порубочные остатки, вторая ступень):

- первого сортимента

$$\Pi_{2c1} = \frac{V_{c1}}{\sum_{i=8}^{12} t_i}, \quad (3)$$

- функциональное время получения единицы объема древесины первого сортимента (T_{2c1})

$$T_{2c1} = \frac{\sum_{i=8}^{12} t_i}{V_{c1}}. \quad (4)$$

- порубочных остатков

$$\Pi_{2o1} = V_{o1} / t_{11}, \quad (5)$$

- функциональное время получения единицы объема порубочных остатков

$$T_{2o1} = t_{11} / V_{o1} \quad (6)$$

- функциональное время получения единицы объема древесного сырья при производстве первого сортимента

$$T_{2co1} = (\Pi_{2c1} + \Pi_{2o1})^{-1} \quad (6.a)$$

- второго сортимента:

$$\Pi_{2c2} = \frac{V_{c2}}{\sum_{i=13}^{14} t_i}. \quad (7)$$

- функциональное время получения единицы объема древесины второго сортимента (T_{2c2})

$$T_{2c2} = \frac{\sum_{i=13}^{14} t_i}{V_{c2}}. \quad (8)$$

- порубочных остатков

$$П_{2o2} = V_{o2} / t_{13}, \quad (8.a)$$

- функциональное время получения единицы объема порубочных остатков

$$T_{2o2} = t_{13} / V_{o2} \quad (8.b)$$

- функциональное время получения единицы объема древесного сырья при производстве второго сортимента

$$T_{2co2} = (П_{2c2} + П_{2o2})^{-1}, \quad (8.c)$$

- третий сортимент:

$$П_{2c3} = \frac{V_{c3}}{\sum_{i=15}^{17} t_i}. \quad (9)$$

- функциональное время получения единицы объема древесины третьего сортимента (T_{2c3})

$$T_{2c3} = \frac{\sum_{i=15}^{17} t_i}{V_{c3}}. \quad (10)$$

- порубочных остатков

$$П_{2o3} = V_{o3} / t_{16}, \quad (10.a)$$

- функциональное время получения единицы объема порубочных остатков

$$T_{2o3} = t_{16} / V_{o3}; \quad (10.b)$$

- функциональное время получения единицы объема древесного сырья при производстве третьего сортимента

$$T_{2co3} = (П_{2c3} + П_{2o3})^{-1}, \quad (10.c)$$

- функциональное время производства 1 м³ круглого леса (T_{2c}) определяется как сумма функциональных времен для единицы объема древесины сортиментов

$$T_{2c} = \sum_{i=1}^3 T_{2ci}. \quad (11)$$

- производительность круглого леса ($П_{2c}$) в рассматриваемом цикле

$$П_{2c} = \frac{1}{T_{2c}}. \quad (12)$$

- функциональное время производства единицы объема древесины во второй ступени

$$T_{2co} = T_{2co1} + T_{2co2} + T_{2co3} \quad (12.a)$$

- получение кроны (конечный продукт: крона, третья ступень):

$$П_3 = \frac{V_{кр}}{t_{17}}. \quad (13)$$

- функциональное время получения единицы объема древесины кроны (T_3)

$$T_3 = \frac{t_{17}}{V_{кр}}. \quad (14)$$

Функциональное время производства 1 м^3 древесного сырья ($T_{\text{дс}}$) в рассматриваемом трехступенчатом процессе равняется:

$$T_{\text{дс}} = T_1 + T_{2\text{с}} + T_3, \quad (15)$$

Производительность получаемого древесного сырья ($\Pi_{\text{дс}}$) определяется формулой

$$\Pi_{\text{дс}} = (T_1 + T_{2\text{с}} + T_3)^{-1}, \quad (16)$$

из которой видна гиперболическая связность функционального времени и производительности.

Обобщенное математическое моделирование технологической эффективности харвестера выполнено на основании формул (1) – (16). С позиции системного подхода к рассматриваемому комплексу машин время цикла производства сортиментов харвестером, должно быть дополнено временем их складирования до момента погрузки форвардером. Математическая модель цикла динамической картины работы харвестера-форвардера, отстоящих друг от друга на расстоянии L , состоит из двух фаз: 1-ой - валки-обрезки сучьев-раскряжевки-первичной сортировки древесины, и 2-ой – ожидания подбора произведенной древесины форвардером. В этой связи исследована технологическая эффективность ХГ в подсистеме операций: валка-раскряжевка и ожидание подбора сортиментов форвардером (рисунок 2)

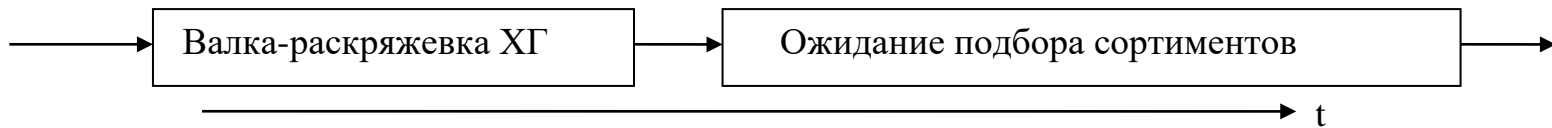


Рисунок 2. Схема подсистемы операций: валка-раскряжевка ХГ и ожидание подбора сортиментов.

Технологические операции, выполняемые форвардером, представлены в виде трехступенчатой структуры связанных операций: загрузка – транспортировка – разгрузка (рисунок 3).

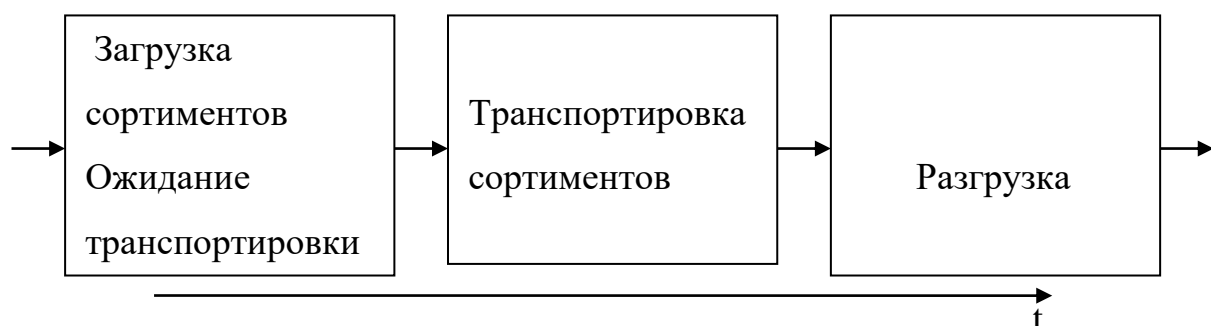


Рисунок 3. Схема трехступенчатой структуры связанных операций загрузка – транспортировка – разгрузка

Функциональная связность подопераций операции «разгрузка» выполнена на основе хронометража работы колесного сортиментоподборщика Ponsse Buffalo 8W [User manual, 2012]. Данные были получены в ходе работы КС на Бортомском участке Южного отделения АО «Монди СЛПК» (квартал № 561, делянка № 3, Куратовское участковое лесничество, Средняя тайга Республики Коми). Данные были получены в наиболее типичных природно-производственных условиях арендной базы предприятия: смешанный елово-березовый лес (породный состав 4Е4Б1С1П), тип леса — черничный.

Технологическая эффективность форвардера исследована в подсистеме операций: разгрузка КС - хранение (рисунок 4).

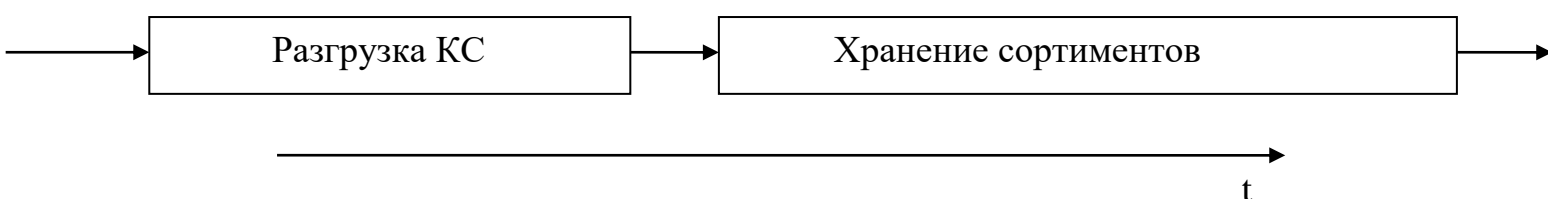


Рисунок 4. Схема подсистемы операций: разгрузка КС – хранение.

Технологическая эффективность комплекса исследована с позиции системной связности всех операций цикла производства сортиментов, представленного в виде обобщенной многоступенчатой структуры (рисунок 5).

В соответствии с многоступенчатой системной связностью операций цикла производства сортиментов комплексом харвестер – форвардер единое функциональное времени является суммой функциональных времен последовательно выполняемых операций (рисунок 5)

$$T_{\Sigma} = T_c + T_{co} + T_z + T_{om} + T_m + T_p + T_u + T_{uo}, \quad (17)$$

аналитическое представление слагаемых (17) дано в работе.

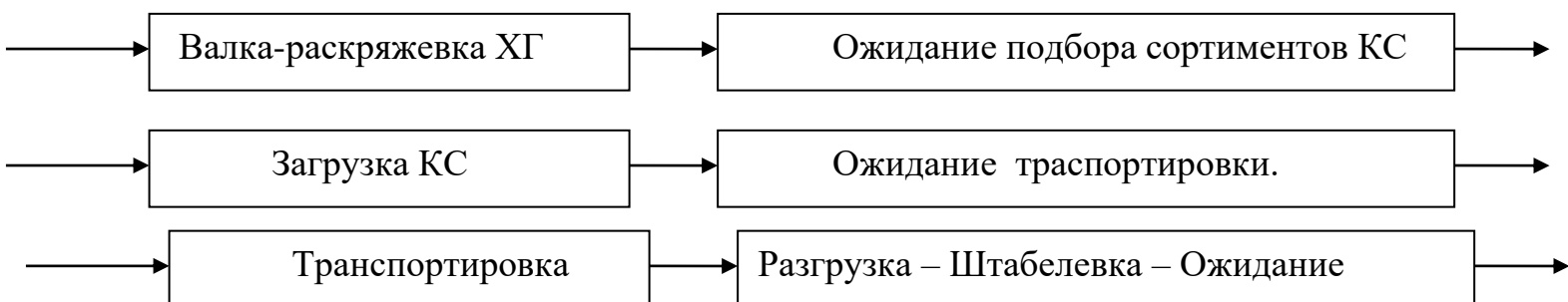


Рисунок 5. Схема системной связности технологических операций цикла комплекса харвестер-форвардер.

Из анализа технологических операций многооперационной лесосечной машины сформулированы условия повышения ее производительности.

В третьей главе «Системная связность операций комплекса бензопила – форвардер» технологический процесс заготовки круглого леса данным комплексом представлен в виде многоступенчатой структуры системно связанных производственных операций (рисунок 6).

В многоступенчатой производственной структуре имеют место подсистемы последовательно выполняемых связанных операций: валка – раскряжевка, раскряжевка - формирование пачек сортиментов – загрузка, загрузка – транспортировка, транспортировка – разгрузка. Системная связность в подсистемах заключается в том, что время производства предмета труда, выполненное предшествующей операцией, дополняется временем ожидания последующей операции при определении её производительности.

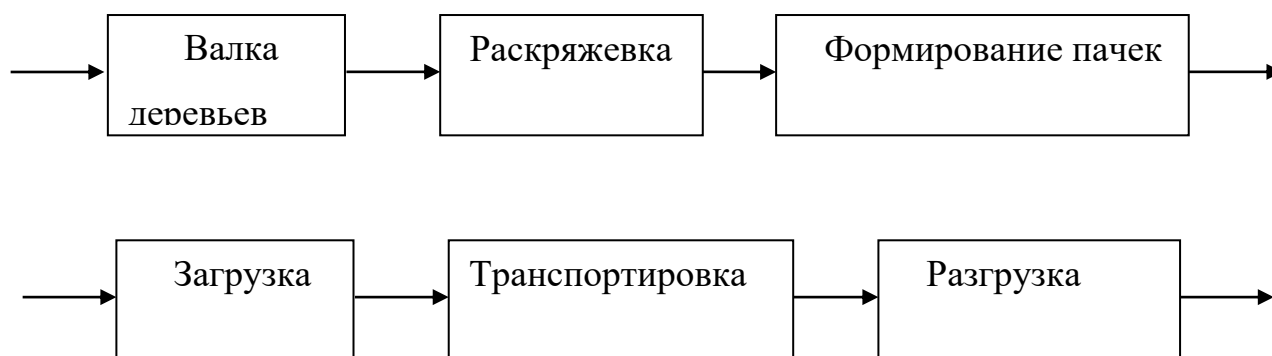


Рисунок 6. Схема многоступенчатой структуры системно связанных производственных операций комплекса бензопила – форвардер.

Обобщенная математическая модель технологической эффективности многоступенчатой структуры связанных производственных операций комплекса бензопила – форвардер построена как суперпозиция последовательно выполняемых подсистем и их взаимной системной связности.

Операция валки деревьев представлена в виде простой многоступенчатой системно связанной структуры (рисунок 7).

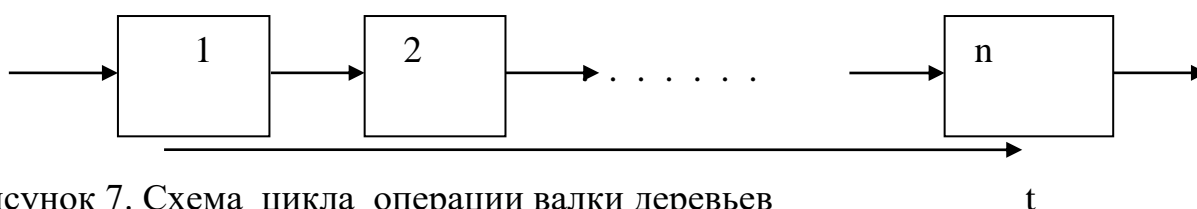


Рисунок 7. Схема цикла операции валки деревьев (n – число деревьев).

С учетом связности операций валка – раскряжевка, когда поваленные деревья ожидают раскряжевки, формулы расчета производительности валки деревьев принимают вид

$$\begin{aligned}
 P_{\partial 1} &= V_{\partial 1} / (t_1 + t_{op1}) , \\
 P_{\partial 2} &= V_{\partial 2} / (t_2 + t_{op2}) , \\
 P_{\partial 3} &= V_{\partial 3} / (t_3 + t_{op3}) , \\
 &\cdot \\
 &\cdot \\
 &\cdot \\
 P_{\partial j} &= V_{\partial j} / (t_j + t_{opj}) , \\
 &\cdot \\
 &\cdot \\
 &\cdot \\
 P_{\partial n} &= V_{\partial n} / (t_n + t_{opn}) ,
 \end{aligned} \tag{18}$$

Здесь t_{op} – время ожидания раскряжевки дерева.

Функциональное время валки деревьев и ожидание ими раскряжевки в системе валка – раскряжевка принимает вид

$$T_{\partial p} = \sum [(t_j + \sum t_{opj}) / V_j] \tag{19}$$

ему соответствует среднее значение

$$T_{\partial pc} = T_{\partial p} / n , \tag{20}$$

и производительность

$$P_{\partial pc} = 1 / T_{\partial pc} . \tag{21}$$

Полученные формулы показывают динамическую связность операции валки с раскряжкой, когда время ожидания последующей операции влияет на производительность предшествующей в системе связных операций.

В соответствии с представленной многоступенчатой структурой технологических операций каждой операции и её связности с последующей соответствует свое функциональное время, их сумма определяет единое функциональное время цикла производства

$$T_{\partial \phi} = T_{\partial} + T_p + T_n + T_z + T_T + T_r , \tag{22}$$

и соответствующую производительность всего цикла производства комплекса бензопила – форвардер

$$P_{\partial \phi} = 1 / T_{\partial \phi} . \tag{23}$$

Согласно (23) среднее функциональное время на операцию равно

$$T_{\partial \phi c} = T_{\partial \phi} / 6 , \tag{24}$$

ему соответствует производительность

$$P_{\partial \phi c} = 6 P_{\partial \phi} . \tag{25}$$

которая определяет условия синхронизации операций в комплексе.

В четвертой главе «Системная связность динамики производства круглого леса комплексом валочно-пакетирующая машина – скиддер – процессор» технологическая связность машинных операций представлена простой трех ступенчатой структурой (рисунок 8).

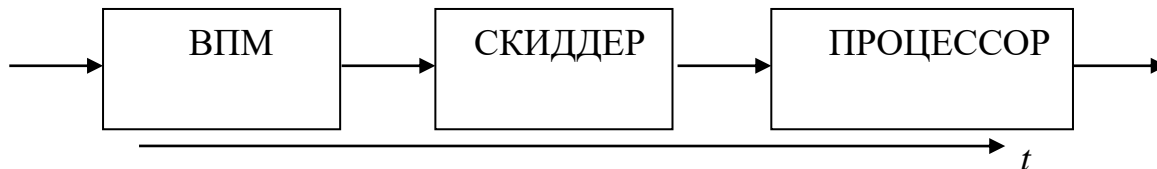


Рисунок 8. Трехступенчатая связность операций комплекса ВПМ-скиддер-процессор.

Трехступенчатую связность технологических операций комплекса представляется суперпозицией двух ступенчатых (рисунки 9, 10),

Технологические схемы рисунков отражают интегрированную связность протекания процесса производства круглого леса рассматриваемым комплексом и показывают связность подсистем ВПМ – скиддер и скиддер – процессор. Согласно системного подхода в подсистемах имеет место между операционное складирования предметов производства предыдущих операций машин до начала действия последующих операций машин комплекса.

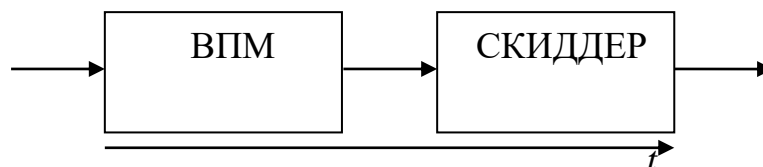


Рисунок 9. . Двух ступенчатая структура подсистемы ВПМ – скиддер.

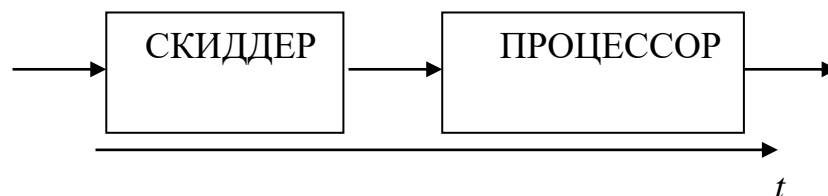


Рисунок 10. Двух ступенчатая структура подсистемы скиддер - процессор.

При системном анализе производительности комплекса ВПМ – скиддер – процессор принят своего рода квантовый подход к производству предмета труда. В качестве общего кванта производства принимается

пачка деревьев, формируемая ВПМ, которая последовательно проходит через все последующие операции комплекса, выполняемые скиддером и процессором.

Формирования пачки деревьев ВПМ на одной стоянке можно представить как простую многоступенчатую структуру, представленную рисунком 7 (n – число деревьев в пачке).

Объем пачки деревьев, формируемых ВПМ, определим как сумму объемов деревьев

$$V_w = \sum V_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (26)$$

Каждому дереву в формируемой пачке соответствует своя производительность, определяемая объемом древесины дерева V_i и суммарным временем его формирования в пачку t_i и временем t_{pi} пребывания его в пачке до конца её формирования. Последнее слагаемое времени является следствием системного подхода к технологическому процессу формирования ВПМ пачки деревьев.

Технологический процесс формирования пачки деревьев происходит в связанном функциональном времени производства 1 м^3 древесины для каждого дерева, поэтому можно записать цепочку формул производительности Π и соответствующего ей функционального времени T для каждого дерева:

$$\begin{aligned} \Pi_1 &= V_1 / (t_1 + t_{p1}), \\ T_1 &= (t_1 + t_{p1}) / V_1, \end{aligned} \quad (27)$$

Здесь время пребывания дерева в формируемой пачке

$$t_{p1} = \sum t_{pi}, \quad i = 2, 3, \dots, n,$$

$$\begin{aligned} \Pi_2 &= V_2 / (t_2 + t_{p2}), \\ T_2 &= (t_2 + t_{p2}) / V_2, \end{aligned} \quad (28)$$

Здесь

$$t_{p2} = \sum t_{pi}, \quad i = 3, 4, \dots, n,$$

.

.

.

$$\begin{aligned} \Pi_n &= V_n / t_n, \\ T_n &= t_n / V_n. \end{aligned} \quad (29)$$

Таким образом, суммарное функциональное время производства $n \text{ м}^3$ древесины деревьев при формировании пачки ВПМ равно

$$T_m = \sum T_i, \quad i=1, 2, \dots, n, \quad (30)$$

тогда производительность формирования пачки деревьев ВПМ равна

$$\Pi = 1 / T_m. \quad (31)$$

Формула (31) описывает производительность формирования пачки деревьев ВПМ при системном подходе к технологическому процессу в суммарном функциональном времени его связного протекания.

На лесосеке работа ВПМ и скиддера разнесена друг от друга на расстояние безопасности. На этом расстоянии происходит складирование пачек деревьев, формируемых ВПМ. С позиции системного подхода время ожидания пачки деревьев подбора её скиддером становится слагаемым временем при определении её производительности ВПМ.

Поэтому производительность ВПМ должна определяться в подсистеме операций формирование пачки – ожидание трелевки (рисунок 9).

В подсистеме ВПМ-скиддер производительность формирования пачки деревьев ВПМ следует оценивать формулами:

$$\begin{aligned} P_{*1} &= V_1 / (t_1 + t_{p1} + t_o), \\ T_{*1} &= (t_1 + t_{p1} + t_o) / V_1, \\ t_{p1} &= \sum t_{pi}, i = 2, 3, \dots, n, \end{aligned} \quad (32)$$

$$\begin{aligned} P_{*2} &= V_2 / (t_2 + t_{p2} + t_o), \\ T_{*2} &= (t_2 + t_{p2} + t_o) / V_2, \\ t_{p2} &= \sum t_{pi}, i = 3, 4, \dots, n, \end{aligned} \quad (33)$$

·
·
·

$$\begin{aligned} P_{*n} &= V_n / (t_n + t_o), \\ T_{*n} &= (t_n + t_o) / V_n. \end{aligned} \quad (34)$$

Суммарное функциональное время производства n м³ древесины деревьев пачки в единой подсистеме ВПМ - скиддер равно

$$T_{M*} = \sum T_{*i}, i=1, 2, \dots, n, \quad (35)$$

При системном подходе производительность технологического процесса формирования пачки деревьев ВПМ зависит от суперпозиции времен: валки и пакетирования дерева, ожидания формирования пачки и ожидания подбора пачки скиддером.

В двух ступенчатой подсистеме скиддер - процессор имеет место складирование скиддером пачки деревьев в штабель и её пребывания в штабеле до начала переработки процессором. Поэтому с позиции системного подхода производительность скиддера следует оценивать с учетом времени пребывания пачки деревьев в штабеле до начала времени работы с ней процессором. В обобщенном представлении единое функциональное время цикла операции скиддера определяется на

основании промежутка времени от начала формирования пачки для трелевки и до начала раскряжевки процессором.

Процесс раскряжевки пачки деревьев можно рассматривать с позиции простого много ступенчатого процесса (рисунок 11)

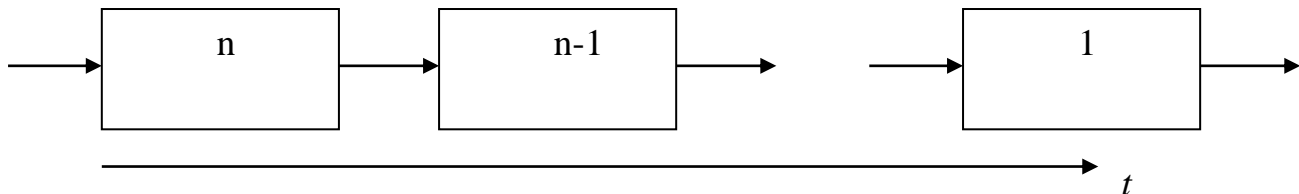


Рисунок 11. Схема раскряжевки пачки деревьев как простого многоступенчатого процесса.

Каждому дереву в пачке соответствует своя производительность, определяемая объемом древесины дерева V_i , суммарным временем его раскряжевки t_i и временем t_{pi} пребывания его в пачке до конца её раскряжевки. Последнее слагаемое времени является следствием системного подхода к технологическому процессу раскряжевки пачки деревьев процессором. Технологический процесс раскряжевки пачки деревьев процессором происходит в связанном функциональном времени производства 1 м^3 древесины для каждого дерева.

Технологическая эффективность данного комплекса определена в системной связности операций цикла производства круглого леса, как многоступенчатой структуры (рисунок 12), характеризующейся единым функциональным временем.

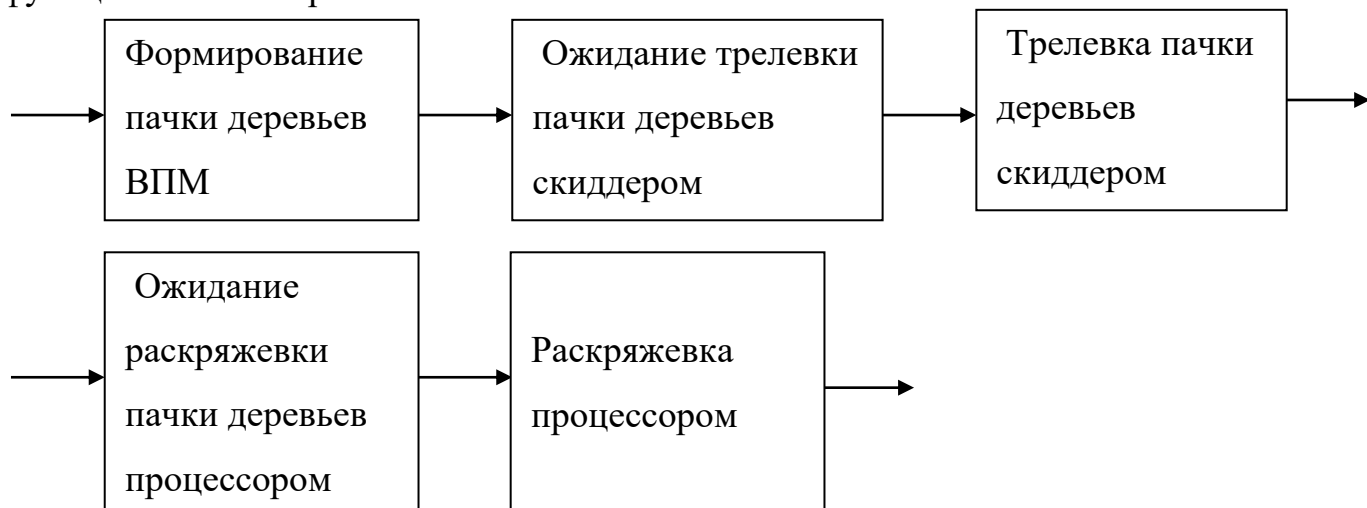


Рисунок 12. Схема многоступенчатой системной связности операций комплекса ВПМ – скиддер - процессор

Среднее значение функционального времени на одну операцию в цикле является ориентиром для его синхронизации. которая служит ориентиром синхронизированной работы машин в комплексе.

Заключение. Повышение производительности комплексов машин, механизмов и оборудования лесозаготовительного производства является необходимым условием устойчивого развития лесопромышленных предприятий. Это возможно только на представлении научных основ системного анализа, которые формулируют базовые принципы оптимизации технологических процессов в едином функциональном времени протекания операций от начала производственного цикла до его завершения.

В процессе исследования технологической эффективности комплексов с позиции системного подхода получены следующие основные результаты:

- сформулированы основные представления системно-динамической связности технологических процессов комплексов лесной техники, производственные операции которых образуют многоступенчатые структуры, системно связанных в едином функциональном времени целевой функции производства;

- представлена методика расчета функционального времени производства единицы предмета труда для операций (подопераций) и их суперпозиции единого функционального времени производственного цикла комплекса;

- из системной связности предыдущей и последующей операций цикла установлено влияние времени ожидания предметом труда предыдущей операции начала последующей на технологическую эффективность производства лесной продукции;

- сформулирован принцип оптимизации технологической эффективности комплексов, операции которых образуют многоступенчатую системно связную единую структуру: минимальное значение суммарного функционального времени цикла и дисперсии функционального времени операций относительно среднего значения, приходящегося на операцию.

Выполненные исследования можно распространить на производственные, энергетические, логистические, информационные и др. комплексы на основе раскрытия системной связанности единым функциональным временем производства единицы предмета труда.

**Основное содержание диссертации опубликовано в
следующих печатных работах:**

В изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Базаров С.М., Системный анализ технологической эффективности операции разгрузки колесного сортиментоподборщика [Текст] / С.М. Базаров , Ю.И. Беленький, Ф.В. Свойкин, **Т.М.Д. Бальде** // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 232. - С. 105–116.
2. Базаров С.М. Системный анализ технологической эффективности производства сортиментов на базе ВСРМ [Текст] / С.М. Базаров , Ю.И. Беленький, Ф.В. Свойкин, **Т.М.Д. Бальде** // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 233. - С. 177–188.
3. Базаров С.М. Системный анализ динамики работы харвестерной головки валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины (ХГ ВСРМ) [Текст] / С.М. Базаров , Ю.И. Беленький, Ф.В. Свойкин, **Т.М.Д. Бальде** // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. Вып. 235. - С. 150–164.

В прочих изданиях :

4. Базаров С.М. Производительность формирования пачки деревьев ВПМ при системном подходе к технологическому процессу в суммарном функциональном времени его связанного протекания [Текст] / С.М. Базаров , Ю.И. Беленький, **Т.М.Д. Бальде**, Ф.В. Свойкин, В.Ф. Свойкин // Материалы научно-технической конференции. Леса России : политика, промышленность, наука, образование. Том 1 СПбГЛТУ 26-28 мая 2021г. – С. 46-49.

Просим принять участие в работе диссертационного Совета или прислать Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями по адресу: 194021, г. Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5 с пометкой «в диссертационный совет Д212.220.03».