

ОСОБЕННОСТИ ОТСЧЕТА МОДЕЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ПРИ ИМИТАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ РАБОТЫ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

А.К. РЕДЬКИН, *проф. каф. технологии и оборудования лесопромышленного производства МГУЛ, д-р техн. наук,*

А.В. МАКАРЕНКО, *доц. каф. технологии и оборудования лесопромышленного производства МГУЛ, канд. техн. наук*

makarenko@mgul.ac.ru

При решении многих технологических задач в лесной промышленности, предусматривающих получение комплексных оценок эффективности применения систем машин (экономических, производственных, экологических) для данных природно-производственных условий, существует необходимость построения сложных математических моделей функционирования отдельных машин и их взаимодействия между собой. Имитационное моделирование в этом случае традиционно является одним из часто используемых и хорошо проверенных методов исследования технологических и технических процессов лесозаготовительного производства. Объектами и элементами имитационного моделирования могут быть различные по крупности сложные производственные системы: весь лесозаготовительный процесс предприятия, отдельные его фазы (лесосечные и нижнескладские работы, лесообрабатывающие цехи и их технологические линии), системы машин или отдельные машины, установки и оборудование.

Построение модели сложной системы связано с выбором объектов, входящих в систему, выделением необходимых и интересующих состояний этих объектов, последовательностью и порядком смены состояний и взаимодействия и взаимовлиянием объектов друг на друга. В зависимости от цели построения модели системы одни из ее объектов могут быть действующими, а другие вспомогательными (буферными). Действующими объектами при моделировании технологических процессов, к примеру, лесосечных работ, могут быть непосредственно лесозаготовительные машины и оборудование. Возможные состояния для этих объектов разделяются на

два основных вида: простои по тем или иным причинам и выполнение соответствующих операций, представленных с определенной степенью подробности по элементам. Вспомогательными объектами для рассматриваемого примера будут являться объекты труда, распределенные по степени обработки, месту нахождения (складирования) и способу накопления. Это может быть лесосека в целом или разделенная на делянки, пасеки, с учетом (разыгрыванием) параметров каждого дерева, штабеля деревьев, хлыстов или сортиментов на территории пасек или на погрузочном пункте и др. Кроме перечисленных, вспомогательными объектами могут быть и другие объекты, испытывающие определенные воздействия от активных объектов, протекание процессов в которых представляет интерес для исследования.

Важной структурной особенностью построения имитационной модели является выбор способа отсчета модельного времени, на основании которого строится последовательность смены состояний действующих объектов и отслеживание состояний вспомогательных. Основными способами отсчета модельного времени (1) являются: моделирование по особым состояниям, при известном списке ближайших возможных состояний объектов, моделирование с постоянным шагом, когда поиск ближайших состояний происходит во время моделирования, с постоянным шагом и при известном списке ближайших состояний. Одним из важных отличий указанных способов отсчета модельного времени является особенность отслеживания параллельных процессов объектов, составляющих имитационную модель. Первый способ предполагает предварительное определение

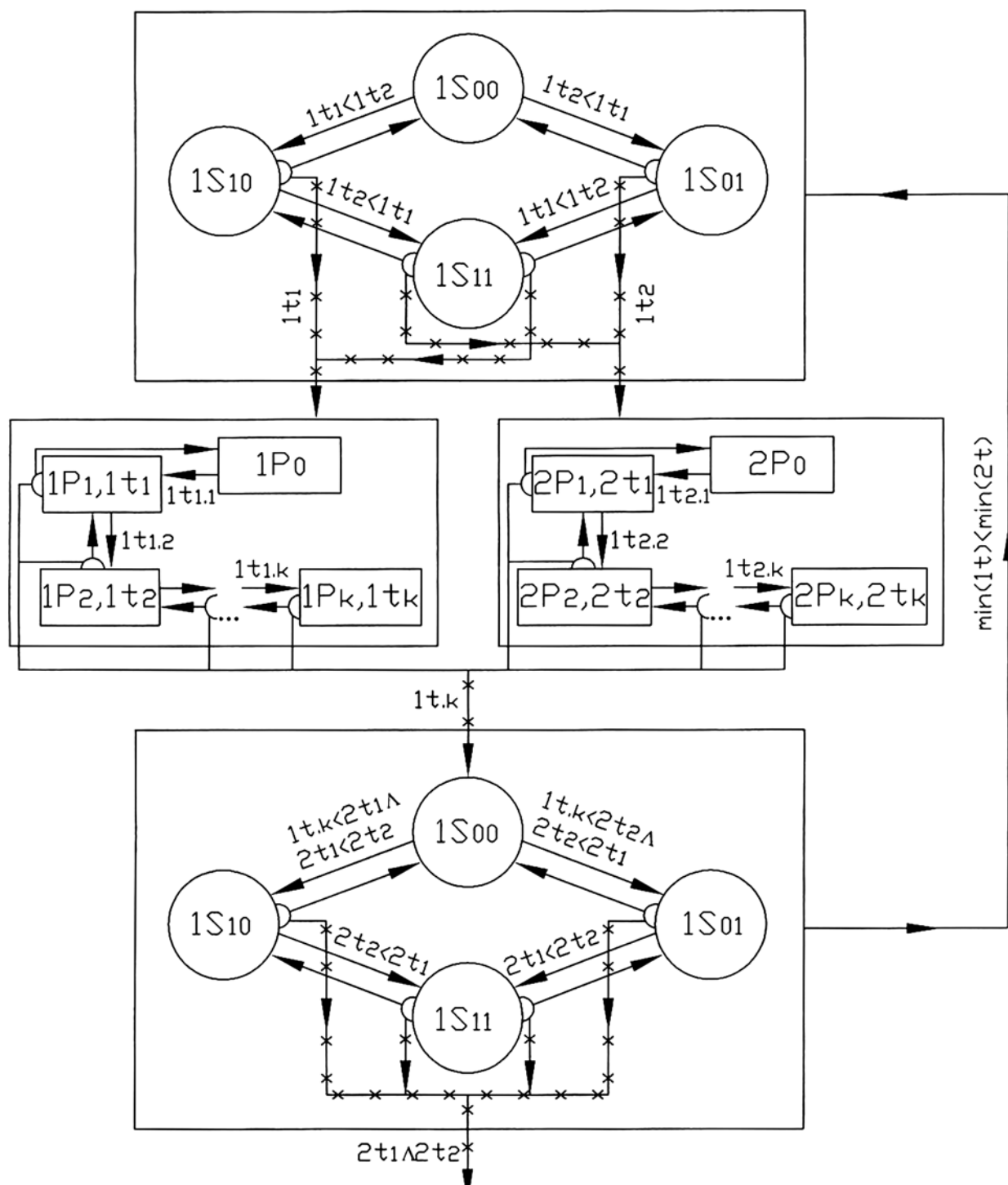


Рис. 1. Граф состояний объектов моделирования при отсчете модельного времени по особым состояниям

моментов времени начала или окончания выполнения той или иной технологической операции или ее составляющего элемента для каждого из объектов модели. Время окончания или начала какой-либо операции является моментом перехода объекта из состояния в состояние. При наличии полного списка переходов производится выбор из них ближай-

шего по отношению к текущему модельному времени. Объект, которому принадлежит ближайший по времени переход из состояния в состояние, объявляется активным (моделируемым) в данный период времени, если не наложено дополнительное ограничение или нет определенной зависимости между объектами. Подобным ограничением (зависимостью) для

объектов (машин и оборудования) модели лесосечных работ может быть условие соблюдения зоны безопасности между машинами, достаточное количество единиц заготовленного сырья для последующего использования (например объем трелюемой пачки) и т.д. Для активного действующего объекта определяются состояния связанных с ним вспомогательных объектов – размеры штабелей, длина разработанной ленты и др. Таким образом, моделирование параллельных процессов при отсчете времени по особым состояниям (моментам переходов) происходит скачкообразно от объекта к объекту.

На рис. 1 представлен примерный граф состояний системы машин для имитационной модели с отсчетом времени по особым состояниям. Граф включает две фазы воздействия на древесное сырье по две однотипные машины в каждой фазе и при наличии межоперационных запасов между фазами. Воздействие на древесное сырье в каждой фазе представляет собой определенный набор операций (обрабатывающих или переместительных), выполняемых машиной в этой фазе. Двухфазная модель соответствует работе таких систем машин для лесосечных работ, как харвестер и форвардер, валочно-пакетирующая машина и пачкоподборщик, вальщик леса и трелевочный трактор того или иного типа. При увеличении машин в системе граф может быть расширен на большее число фаз и большее число единиц техники в фазе. Обозначения, принятые на рис. 1, следующие: S – действующие объекты (машины), цифра перед символом – номер фазы, первая цифра в индексе – номер машины в фазе, вторая цифра в индексе – номер состояния (0 – простой, 1 – работа); P – вспомогательные объекты (межоперационные запасы), цифра перед символом – номер запаса (соответствует номеру машины, его создавшей), цифра в индексе (k) – количество полных пачек; ltl – момент времени смены состояния действующего объекта с указанием номера фазы (первая цифра) и номера машины в фазе (вторая цифра); $ltl.k$ – момент времени смены состояния (например изменения числа пачек) для вспомогательного объекта с указанием номера предыдущей фазы актив-

ных объектов (первая цифра), номера запаса (вторая цифра), номера состояния (третья цифра).

Основа функционирования имитационной модели для графа на рис. 1, как указывалось ранее, строится на сравнении моментов времени начала и окончания выполнения действующими объектами тех или иных операций и поиска из них наименьшего. Параллельно производится определение состояния вспомогательных объектов (межоперационных запасов) и отдельных характеристик работы машин (например, их взаимное расположение или расположение относительно границ лесосеки, текущие показатели эффективности работы). В результате сравнения моментов времени и условий работы в текущий момент времени выбирается, для какого из действующих объектов будет произведено моделирование выполнения его операции. Окончание работы модели осуществляется при достижении текущего модельного времени определенного значения – продолжительности смены или нескольких смен. Другим способом прерывания работы модели является окончание разработки лесосеки или их группы.

Второй способ отсчета модельного времени при его изменении с постоянным шагом применяется при большом количестве состояний моделируемых объектов, входящих в сложную систему. Каждое состояние объекта, соответствующее выполнению машиной какого-либо элемента той или иной технологической операции, должно описываться определенной функцией, имеющей начальное и конечное значение. В процессе моделирования при каждом шаге изменения времени последовательно определяются значения текущих функций, что характеризует протекание соответствующих процессов каждого из составляющих моделируемой системы действующих объектов. При достижении какой-либо функции конечного значения данное состояние какого-либо объекта считается завершенным. Примером для максимального значения функции могут служить расстояние между стоянками лесозаготовительной машины, диаметр спиливаемого дерева, дли-

на ствола дерева при выполнении операции обрезки сучьев и др. При завершении одного состояния объекта и переходе его в другое производится пересчет показателей работы и характеристик связанных с ним вспомогательных объектов.

Применение второго способа моделирования для технологических процессов лесосечных работ часто бывает затруднительно из-за большого дробления выполняемых технологических операций на элементы, с описанием протекания каждого из них отдельной функцией случайных или неслучайных аргументов. В случае применения стохастических регрессионных зависимостей продолжительности по времени выполнения отдельной операции или ее элементов машиной из натурных экспериментов второй способ моделирования в чистом виде оказывается неприменимым.

Определенной модификацией второго способа отсчета модельного времени с применением отдельных принципов первого является третий способ управления временем, находящий преимущественное применение в графах особого вида – сетях Петри. Сети Петри представляют собой двудольный граф с набором вершин двух типов – позиций и переходов, соединенных ориентированными дугами. Применительно к моделям технологических процессов и машин для лесозаготовок вершины-позиции могут характеризовать те или иные состояния моделируемых объектов, а вершины-переходы смены состояний объектов при наступлении определенных событий и условий. Совокупность множеств позиций, переходов и дуг позволяет описать логические причинно-следственные связи моделируемой сложной системы технологического процесса лесозаготовок. Для описания протекания моделируемых процессов во времени в сеть Петри вводят особый элемент – так называемые фишки, которые определяют состояния моделируемых объектов системы во времени, находясь в соответствующей позиции. Срабатывание перехода, то есть продвижение фишки из позиции в позицию, происходит в том случае, если все входные позиции для данного перехода заняты фишками, а модельное время достигло необходимого значения.

Модельное время в сетях Петри отсчитывается с установленным шагом и постоянно сравнивается с продолжительностью периода нахождения моделируемого объекта в том или ином состоянии (например, продолжительностью выполнения технологической операции), который должен быть заранее определен. Определения продолжительности выполнения операции или иного действия объекта может производиться с применением какого-либо закона распределения случайных величин, регрессионной зависимости, аналитического выражения и т.д. При достижении модельного времени нужного значения переход открывается. Если же существуют позиции, связанные с данным переходом, в которых нет фишек (то есть позиции не активны), переход остается закрытым, а моделируемый объект (например лесозаготовительная машина) простаивает в ожидании открытия перехода.

На рис. 2 представлена модель в виде графа сети Петри для двух лесозаготовительных машин (ВПМ, харвестер, ВТМ, вальщик леса и др.), работающих в первой фазе. В сети графа расположены позиции трех типов: позиции состояния машин (1Р и 2Р), состояния предмета труда (W) и позиции, определяющие отсчет модельного времени. Переходы между позициями (отмечены прямоугольниками) соединяют позиции всех трех типов и определяют логическую взаимосвязь объектов между собой при осуществлении технологического процесса лесозаготовок. Срабатывание любого перехода, то есть изменение состояний моделируемых объектов, происходит в том случае, когда все входящие позиции этого перехода активны (помечены фишками).

Модель, отражающая параллельную работу двух лесозаготовительных машин, необходимо требует механизма согласования их работы во времени. Согласование работы заключается в логически правильной активизации последовательных состояний (отражающих выполнение операций или их элементов) каждой машины, независимо от того, имеют ли эти состояния непосредственное взаимовлияние друг на друга или нет. Это позволяет четко выравнять работу машин одной фазы

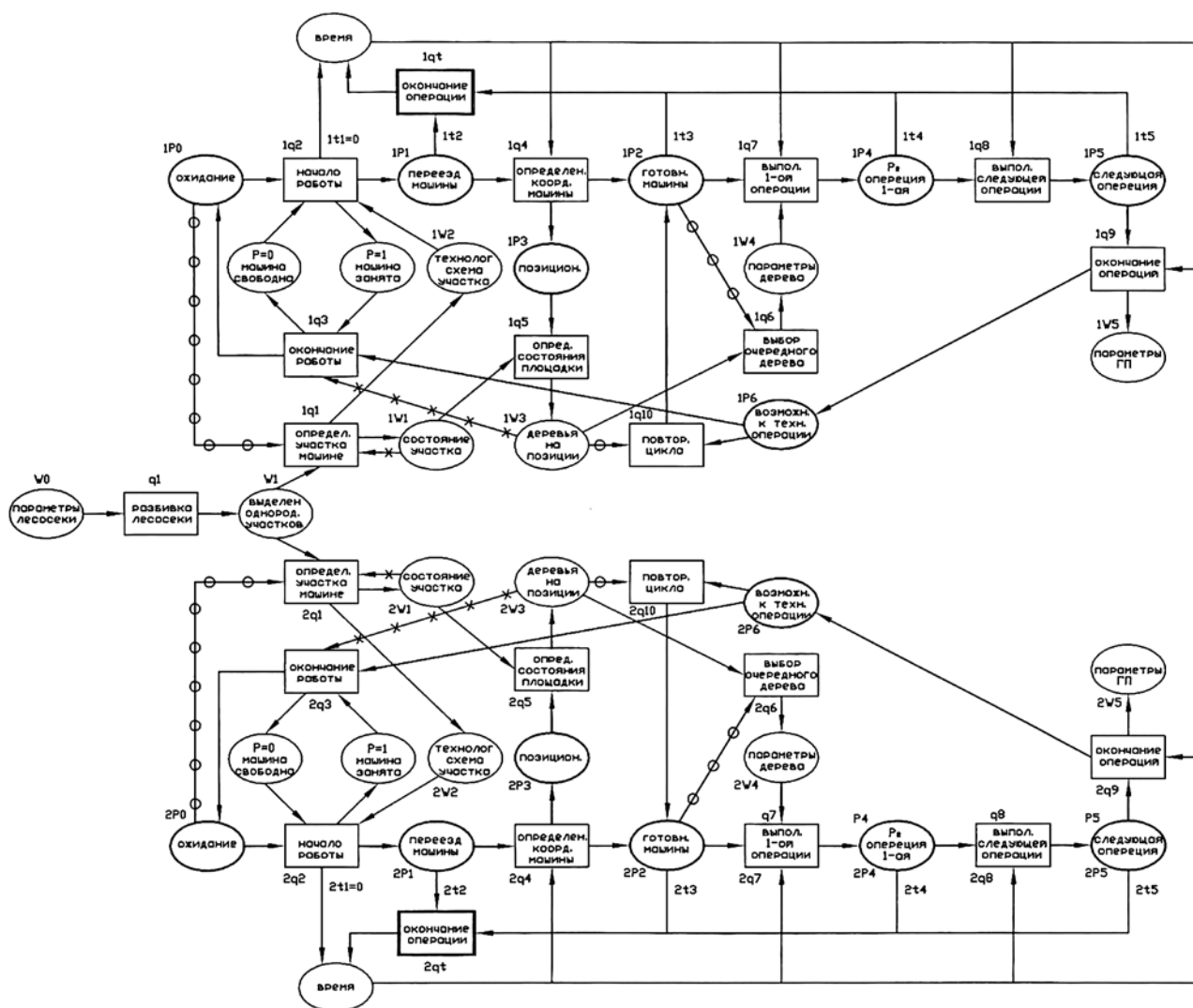


Рис. 2. Сеть Петри, моделирующая работу двух лесозаготовительных машин и состояние лесосеки: W0, W1 – позиции состояний лесосеки до выделения участков лесозаготовительными машинами; 1W1...1W5, 2W1...2W5 – позиции состояний предмета труда до и после выполнения технологических операций машинами (первая цифра – номер машины, вторая цифра – номер состояния); 1P0...1P6, 2P0...2P6 – позиции состояний машин во время работы; q1, 1q2...1q10, 2q1...2q10, 1qt, 2qt – обозначения переходов между состояниями для первой и второй машин; 1t1...1t5, 2t1...2t5 – моменты времени окончания выполнения отдельных операций (пробытия машины в каком-либо состоянии)

во времени и получать правильную выходную информацию для моделей машины машин последующих фаз.

Перед началом работы графа расставляются фишки начальных состояний позиций указанных трех типов, что означает готовность работы машин (позиции 1P0 и 2P0), состояние лесосеки (W0) и нулевой отсчет времени. Начальный этап работы сети заключается в разбивке лесосеки на отдельные однородные делянки и их участки (позиция W1). После этого моделируется переезд машин на рабочие позиции (1P1 и 2P1) и выда-

ется сигнал в счетчик времени, когда машины эти позиции заняли. После того, как счетчик модельного времени достигает значения, соответствующего ближайшему (наименьшему) моменту времени занятия одной из машин рабочей позиции, срабатывает соответствующий переход (1q4 или 2q4) и модельный объект – данная машина, переходит в состояние выполнения технологических операций. Дальнейшее последовательное срабатывание переходов происходит аналогичным образом: модельный счетчик времени достигает ближайшего значения времени окончания

выполнения одной из машин какой-либо операции, а позиции, определяющие состояние предмета труда (степень разработки лесосеки или участка, количество деревьев на рабочей позиции, размеры штабелей древесины и др.), разрешают выбранный переход или перестраивают работу модели по другому направлению (выполнение других операций).

Как видно из графа, основными его циклами являются последовательность позиций и переходов, определяющих выполнение машинами технологических операций по валке деревьев и последующей их обработке на текущей стоянке (для первой машины $1P2 \rightarrow 1q7 \rightarrow 1P4 \rightarrow 1q8 \rightarrow 1P5 \rightarrow 1q9 \rightarrow 1P6 \rightarrow 1q10 \rightarrow 1P2$). В случае, когда число деревьев, находящихся в зоне досягаемости машины, заканчивается (в позиции $1W3$ или $2W3$ нет фишек), основной цикл прерывается и по цепочке переходов активизируется позиция, моделирующая переезд машины на следующую стоянку. После разработки всех выделенных участков одной из машин на данной лесосеке активным становится исходное состояние этой машины – ожидание. Предмет труда (заготовленная древесина) будет находиться в конечном состоянии – в виде готовой продукции работы машины, служащей исходным предметом труда для машин последующей фазы (позиции $1W5$ и $2W5$). Объем и параметры готовой продукции определяются характеристиками фишек в конечном состоянии предмета труда, а окончание работы модели – отсутствием фишек в исходном состоянии предмета труда (лесосеки).

Результатом работы модели на рис. 2 могут быть все основные характеристики, определяющие эффективность работы лесозаготовительных машин при разработке лесосек. Наиболее специфичными и значимыми характеристиками для имитационных моделей являются показатели согласованности действия машин, степень их загрузки и простоев, изменения допустимых нагрузочных и скоростных параметров машин в зависимости от режима их работы и лесорастительных условий. Данные параметры, в свою очередь, представляют важную информацию для последующей оптимизации технологических процессов лесозаготовок.

Библиографический список

1. Гулятьев, А.К. Имитационное моделирование в среде Windows / А.К. Гулятьев. – СПб.: «КОРОНА принт», 1999. – 288 с.
2. Шахов, В. Моделирование программно-аппаратных «реактивных» систем раскрашными сетями Петри / В. Шахов // RSDN Magazine. – 2006. – Вып. 3. – С. 63–70.
3. Макаренко, А.В. Математическое описание силовых потоков многооперационной лесозаготовительной машины / А.В. Макаренко // Межвуз. сб. науч. тр. «Технология и оборудование лесопромышленного комплекса» – СПб.: СПбЛТА, 2010. – С. 69–74.
4. Макаренко, А.В. Имитационное моделирование работы лесозаготовительной машины с помощью сетей Петри / А.В. Макаренко // Науч. тр. МГУЛ, «Технология и оборудование лесопромышленного производства» – М.: МГУЛ, 2011. – Вып. 356. – С. 44–49.
5. Редькин, А.К. Математическое моделирование и оптимизация технологий лесозаготовок / А.К. Редькин, С.Б. Якимович. – М.: МГУЛ, 2005. – 497 с.