

РЕЗУЛЬТАТЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛЕСОСЕЧНЫХ РАБОТ НА ТЕРРИТОРИИ ЛЕСНОГО КВАРТАЛА

Рукомойников К.П.¹

¹ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола, Россия (424000, Респ. Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3), e-mail: RukomojnikovKP@volgatech.net

В статье приведены имитационная модель, созданная в интеграторе приложений MathConnex системы Mathcad, и результаты имитационного моделирования графика выполнения работ при поквартальной форме освоения лесных участков. Обоснована адекватность существующих математических зависимостей для расчета грузоподъемности погрузочных пунктов и продолжительности технологических простоев лесовозного транспорта в зависимости от различия природно-производственных условий нескольких осваиваемых лесосек и графика ведения работ в лесном квартале. В ходе анализа выявлено, что расхождение между теоретическими и средними экспериментальными результатами при обосновании необходимой грузоподъемности погрузочных пунктов и суммарных технологических простоев при освоении лесосек на территории лесного квартала не превысило 6%. Отклонение результатов математической модели от индивидуальных зафиксированных значений искомых показателей, вызванных разбросом полученных результатов, не превысило 12%.

Ключевые слова: лесной квартал, имитационное моделирование, эксперимент, лесозаготовка, лесосека, трелевка, вывозка лесоматериалов, MathConnex, Mathcad.

RESULTS OF IMITATING MODELING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES PERFORMANCE OF LOGGING OPERATIONS WITHIN THE FOREST COMPARTMENT

Rukomojnikov K.P.¹

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia (424000, Yoshkar-Ola, Lenin Square, 3), e-mail: RukomojnikovKP@volgatech.net

The article presents imitating model created in system integrator applications MathSonnex of system Mathcad and the results of imitating modeling of work schedule within the forest compartment. Adequacy is justified for existing mathematical relationships for calculating the tonnage of loading points and duration of technical downtime of logging transport, depending on the differences of natural production conditions of mastering of several logging sites and schedule of conducting works in the forest compartment. The analysis revealed that the discrepancy between the theoretical and the mean values of experimental results, in the justification of the necessary tonnage of loading points and total operational delays in the development of cutting areas within the forest quarter did not exceed 6%. The deviation of the results of a mathematical model of the individual fixed values of the parameters, caused by the spread of the results, did not exceed 12%.

Keywords: forest compartment, imitating modeling, experiment, harvesting, cutting area, skidding, hauling timber, MathConnex, Mathcad.

Исследованиями, посвященными поквартальному методу ведения лесного хозяйства, в разное время и различных странах (России, Белорусии, Литве, Казахстане и др.) занимались многие ученые и исследователи, в том числе В.Г. Атрохин И.К. Иевинь [1], А.И. Зевахин, А.М. Кожевников, Н.Ф. Давидович [2], И.С. Марченко [3], Н. Кенставичюс, Л.В. Овчинников [4], Ю.А. Ширнин [5; 6], Н.В. Ромашов [7] и др. Доказано, что данный вариант технологии работ обеспечивает решение различных лесоводственных, технологических и экономических задач лесного комплекса.

Данные исследования уделяют недостаточное внимание вопросам обоснования технологической последовательности выполнения работ на лесосеках при поквартальном освоении лесных участков. Решению данного вопроса посвящены исследования [8; 9], дающие возможность моделирования технологии лесосечных работ при учете сезонных и производственных условий заготовки древесины и составления рациональных графиков выполнения работ в условиях лесного квартала. В работе [10] предложены математическая модель и зависимости к обоснованию времени простоев лесозаготовительной техники и требуемой грузоподъемности погрузочных пунктов при различных вариантах графиков работы в лесных кварталах. Однако данные исследования требуют экспериментальной проверки с доказательством их адекватности и возможности использования в реальных производственных условиях разрабатываемых лесосек.

Цель исследования: обоснование адекватности существующих теоретических исследований, математических моделей и зависимостей, характеризующих реализацию транспортных операций технологического процесса освоения лесосек при поквартальной форме освоения лесных участков.

Материал и методы исследования

Для достижения поставленной цели в интеграторе приложений MathConnex системы Mathcad составлена модель для имитации множества реализаций технологического процесса с получением на выходе итоговых значений показателей необходимой грузоподъемности погрузочных пунктов ($\sum_{p=1}^{p=r} Q_p^{\max}$) и суммарной продолжительности технологических простоев лесовозного автотранспорта ($\sum_{i=1}^m ZW_i$) по итогам освоения нескольких лесосек на территории лесного квартала.

В основу модели анализируемой системы массового обслуживания положен принцип последовательной проводки заявок, поступающих в систему, по всем этапам их обработки. Рассматривается одноканальная система массового обслуживания, в которую поступают заявки, образующие поток однородных событий с заданным законом распределения интервалов между моментами поступления заявок. Заявки в виде пачек лесоматериалов поступают в случайные моменты времени t_i , формируются на погрузочных пунктах в виде запасов и поступают на дальнейшее обслуживание при формировании на погрузочном пункте запаса сырья, достаточного для загрузки лесовозного автотранспорта. В дальнейшей обработке участвует одновременно несколько заявок, поступивших на погрузочный пункт с завершением процесса в момент времени, соответствующий их выгрузке на лесопромышленном складе. Если в момент поступления очередной заявки необходимого объема канал свободен, т.е. на погрузочном пункте находится лесовозный автотранспорт, то заявка принимается к немедленному обслуживанию. В противном случае заявка становится в

очередь на обслуживание, т.е. складывается на погрузочном пункте до следующего прибытия лесовоза. Таким образом, продолжительность перемещения каждой заявки зависит от момента формирования на погрузочном пункте необходимого объема лесоматериалов относительно момента окончательного обслуживания предыдущей группы заявок. Отклонение данных моментов времени в ту или иную сторону приводит либо к увеличению необходимой грузоподъемности погрузочных пунктов либо, напротив, к увеличению простоев лесовозного автотранспорта.

Процесс функционирования системы рассматривался за период времени, предусматривающий одновременное прибытие на лесосеку лесовозных и трелевочных машин с последующим освоением нескольких участков на территории лесного квартала. Функционирование модели завершалось при условии завершения вывозки с территории всех осваиваемых пасек.

С целью ограничения числа факторов в процессе моделирования введено ограничение на количество анализируемых лесосек. В рамках эксперимента рассматривался вариант последовательного освоения трех лесосек, примыкающих к двум погрузочным пунктам. В частности, технологический процесс освоения лесосек № 1 и № 2 предусматривал трелевку к погрузочному пункту № 1, а лесосеки № 3 – к погрузочному пункту № 2.

Последовательность выполнения работ в лесном квартале задавалась на начальном этапе работы модели с последующим соблюдением заданного графика. В итоге моделирования было рассмотрено два варианта реализации графиков технологического процесса.

Имитационная модель, представленная на рис. 1, предусматривает освоение участков в следующей последовательности: первоочередная трелевка к погрузочному пункту № 1 с первого, а затем со второго лесного участка, с последующей трелевкой к погрузочному пункту № 2 с третьего лесного участка. Данная модель оформлена в интеграторе приложений MachConnex системы Machcad. При этом в составном блоке Machcad 7 предложенной имитационной модели осуществлялась имитация длины ленты набора пачки и времени цикла функционирования форвардера.

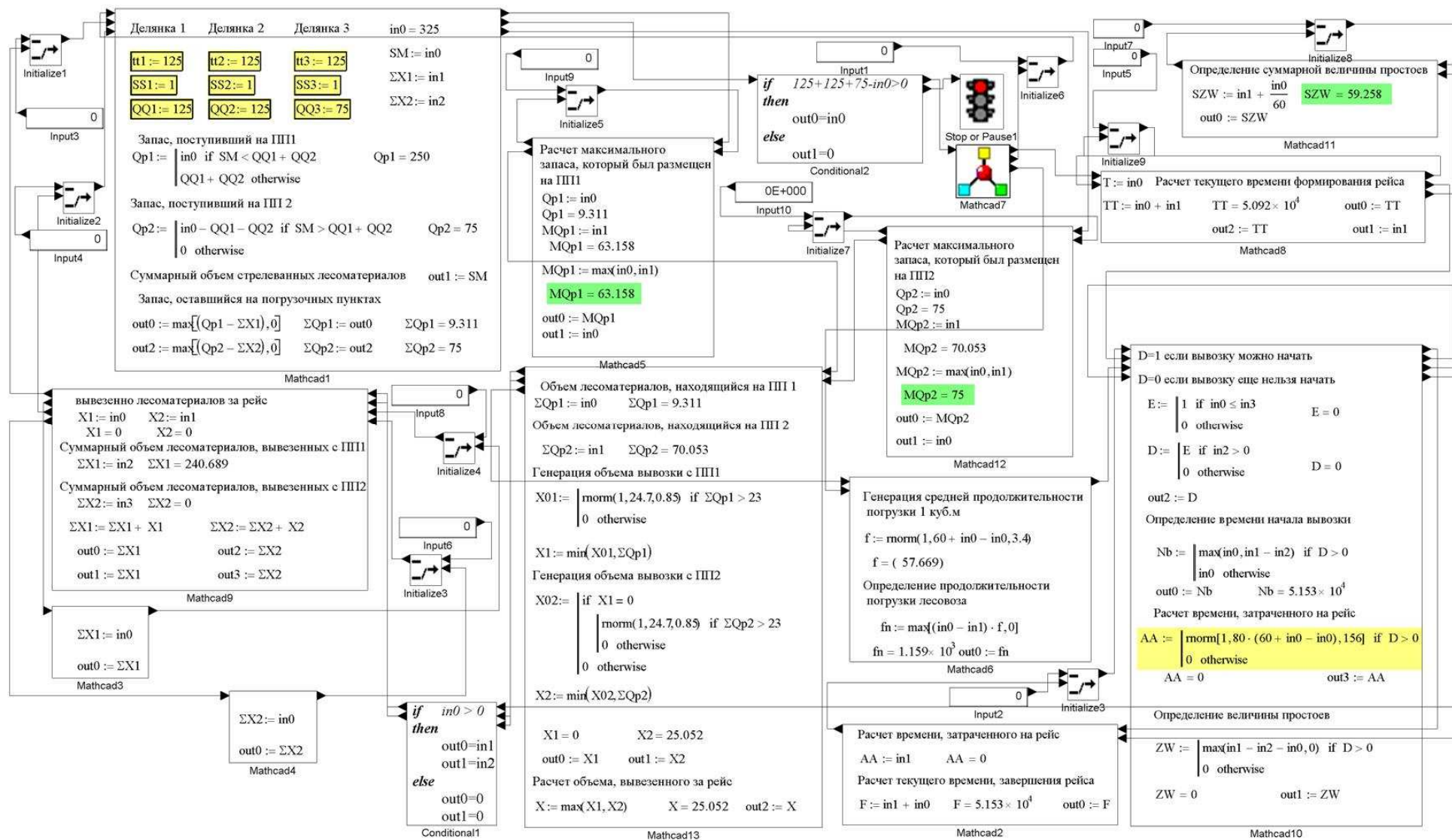


Рис. 1. Результаты построения имитационной модели в интеграторе приложений MachConnex системы MachCad.

Известно, что производительность трелевочной техники оказывает линейное влияние на накопление лесоматериалов на территории погрузочных пунктов, в то же время сокращение интервала времени между прибытиями лесовоза на погрузочный пункт не оказывает линейного влияния на объемы вывозки лесоматериалов ввиду появления на определенном этапе простоев по причине отсутствия на погрузочных пунктах достаточных объемов лесоматериалов.

Ввиду значительного числа использованных в анализе факторов, с целью сокращения числа опытов, экспериментальные исследования выполнялись на базе, составленной в программе Statistica матрицы планирования дробного факторного эксперимента. Варьирование факторов осуществлялось в форме смешанного экспериментального плана типа 2^9+3^1 . В частности, варьирование факторов, оказывающих воздействие на производительность трелевочных машин, проводилось в двух уровнях, а факторов, влияющих на показатели вывозки лесоматериалов, – в трех уровнях.

В рамках эксперимента моделировался процесс освоения лесосек в различных природно-производственных условиях, базирующихся на использовании машин и механизмов с заданными техническими характеристиками. В качестве варьируемых факторов приняты: вырубаемые запасы q_1, q_2, q_3 , соответственно, на лесосеках № 1, 2, 3; их площади S_1, S_2, S_3 , среднее время сбора и выгрузки 1 м^3 (t_1, t_2, t_3) при трелевке сортиментов на каждой из анализируемых лесосек, а также интервал времени A между прибытиями на лесосеку лесовозного автотранспорта. Комплексное использование данных показателей позволило косвенно учесть такие характеристики лесосек, как доля вырубаемого компонента, объем сортиментов, так как эти величины оказывают непосредственное влияние на использованные в модели факторы. Предложенный перечень показателей позволил варьировать производительность форвардера на осваиваемых территориях в разнообразных природно-производственных условиях, оставляя неизменными показатели, характеризующие технические характеристики машины. Для обеспечения статистической устойчивости искомых результатов процесс моделирования повторялся неоднократно.

Численные значения, использованные при реализации имитационной модели, их законы распределения и интервалы варьирования взяты на основе результатов, полученных при наблюдении за реальным процессом лесосечных работ с использованием форвардера Valmet 862 в Учебно-опытном лесхозе ПГТУ.

Результаты исследования и их обсуждение. По итогам эксперимента проведена статистическая обработка полученных результатов, в ходе которой для проверки воспроизводимости опытов по критерию Кохрена на выбранном уровне значимости $q=0,05$ в каждой точке факторного пространства вычислены средние значения и дисперсии

исследуемых параметров. Полученные результаты оценки расчетного значения коэффициента Кохрена при анализе $\sum_{p=1}^{p=r} Q_p^{max}$ и $\sum_{i=1}^m ZW_i$ составили, соответственно, $G_p = 0,027$ и $G_p = 0,028$. При анализе грузместимостей $Q_{p=1}^{max}$ и $Q_{p=2}^{max}$ отдельно взятых погрузочных пунктов коэффициенты Кохрена получились равными $G_p = 0,028$. Данные значения не превысили критического значения, определенного по таблице распределения Кохрена при числе степеней свободы знаменателя $f = K - 1 = 8$ (где K - число опытов в каждой точке факторного пространства), знаменателе $f = N = 128$ и уровне значимости $q=0,05$, равного $G_{кр} = 0,029$. Полученное соответствие $G_p < G_{кр}$ позволило принять гипотезу об однородности дисперсий.

Анализ эффектов взаимодействия и дисперсионный анализ результатов показали высокую значимость включенных в модель факторов. Полученные результаты свидетельствуют, что наиболее значимым фактором при обосновании обоих искомых результативных признаков является интервал времени между прибытиями лесовозного автотранспорта на погрузочные пункты. Факторы, характеризующие производительность при использовании трелевочной техники, можно расположить в порядке убывания значимости следующим образом: показатели производительности при сборе и разгрузке лесоматериалов; объемные показатели величины вырубаемого запаса на лесосеках; размерные характеристики лесосек.

Результаты имитационного моделирования, сформированные на основе статистической обработки результатов отдельных реализаций технологического процесса, сопоставлялись с результатами, полученными на основе предложенных ранее [9] теоретических зависимостей, представляющих собой систему рекуррентных соотношений, позволяющих использовать в каждом расчете последовательность значений ранее полученных результатов.

Анализ полученных коэффициентов детерминации R^2 (табл. 1) показывает, что почти 99% общей вариации результативных признаков объясняется вариацией использованных в модели факторов.

Таблица 1

Регрессионная статистика полученных результатов

Статистические показатели	Анализируемый показатель			
	$Q_{p=1}^{max}$	$Q_{p=2}^{max}$	$\sum_{p=1}^{p=r} Q_p^{max}$	$\sum_{i=1}^m ZW_i$
Множественный R	0,988	0,995	0,986	0,991
R-квадрат	0,977	0,990	0,973	0,982

Точечные графики сравнительного анализа наблюдаемых и предсказанных значений анализируемых показателей (рис. 2) позволяют отметить, что точки полученных графиков располагаются вдоль прямой линии, что свидетельствует о хорошем соответствии предложенных математических зависимостей результатам имитационного моделирования.

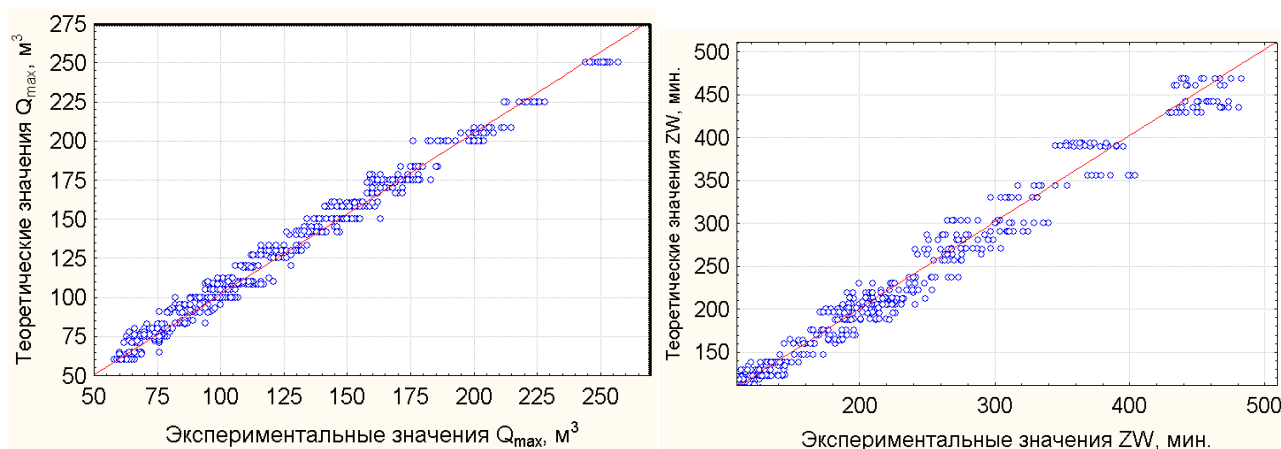


Рис. 2. Сравнительный анализ наблюдаемых и теоретических значений $\sum_{p=1}^{p=r} Q_p^{max}$, $\sum_{i=1}^m ZW_i$, полученных с использованием математических зависимостей [9].

Дальнейший анализ предусматривал исследование второго варианта последовательности освоения анализируемых делянок, предусматривающего первоочередную трелевку к погрузочному пункту № 2 с третьего лесного участка, а затем последовательную трелевку с первого и второго лесного участка к погрузочному пункту № 1. Результаты моделирования позволили сопоставить полученные значения с вышерассмотренным вариантом последовательности освоения делянок в каждой точке факторного пространства.

В ходе анализа выявлено, что расхождение между теоретическими и средними экспериментальными результатами при анализе необходимой грузоподъемности погрузочных пунктов и суммарных технологических простоев при освоении лесосек на территории лесного квартала не превысило 6%. Отклонение результатов математической модели от индивидуальных зафиксированных значений искомых показателей, вызванных разбросом полученных результатов, не превысило 12%.

Эксперимент показал, что за счет рационально выбранного графика освоения лесных участков появляется возможность избежать увеличения требуемой грузоподъемности погрузочных пунктов на величину, до 57% превышающую показатели эффективного варианта ведения работ, а также трехкратно сократить технологические простои лесовозного транспорта. При этом экономия рабочего времени на вывозке за счет сокращения продолжительности простоев в ряде случаев достигла 13% от общего времени, необходимого для вывозки всего объема заготовленной древесины.

Выводы. Таким образом, результаты анализа подтверждают адекватность предложенных ранее математических зависимостей и возможность их эффективного использования для практических расчетов при обосновании графика движения транспортных средств в условиях поквартального освоения лесных участков.

Список литературы

1. Атрохин В.Г., Иевинь И.К. Рубки ухода и промежуточное лесопользование. - М. : Агропромиздат, 1985. - 255 с.
2. Кожевников А.М., Давидович Н.Ф. Расчетно-технологические карты на механизированный уход за лесом. – Гомель : БелНИИЛХ, 1977. - 43 с.
3. Марченко И.С. Поквартальная организация рубок ухода. - Брянск : БТИ, 1978. - 28 с.
4. Овчинников Л.В. Производительность труда на предприятиях лесного хозяйства // Лесное хозяйство. – 1975. - ДО 8. - С. 27-30.
5. Ширнин Ю.А., Царев Е.М., Крицкая Н.А., Рукомойников К.П. Способ освоения участков лесного фонда : Патент России № 2175830.2001. Бюл. № 32.
6. Ширнин Ю.А., Царев Е.М., Рукомойников К.П. Способ освоения участков лесного фонда : Патент России № 2234832.2004. Бюл. № 24.
7. Ромашов Н.В. Поквартальная система ведения лесного хозяйства и ее эффективность // Тез. док. на рес. сем. - Харьков, 1978. - С. 33-35.
8. Рукомойников К.П. Графоаналитическое моделирование технологии поквартального освоения лесосек в нечетких динамических природно-производственных условиях // Современные проблемы науки и образования. – 2014. - № 6. - URL: www.science-education.ru/120-16417.
9. Рукомойников К.П. Имитационное моделирование взаимосогласованной работы комплектов адаптивно-модульных лесных машин // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. - 2013. - 3(95). – С. 154-159.
10. Рукомойников К.П. Обоснование последовательности выполнения основных переместительных операций лесозаготовительных работ при поквартальном освоении участков лесного фонда // Современные проблемы науки и образования. – 2014. - № 6. - URL: www.science-education.ru/120-16401.

Рецензенты

Войтко П.Ф., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола;

Царев Е.М., д.т.н., доцент, профессор, ФГБОУ ВПО «ПГТУ», г. Йошкар-Ола.