

А. А. Ермалицкий, ассистент; Д. В. Клоков, канд. техн. наук

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕСОПОГРУЗОЧНОЙ ТЕХНИКИ

Analysis technician-field-performance data's jaw and manipulation timber loader is given in work. For study of efficiency of the functioning the different facilities of the loading is formed simulation model with using experimental B-plan second order, which takes into account the dependency to their capacity from four running factors. On got given is built graphs of the change the output value.

Процесс погрузки древесины в общем комплексе технологических процессов лесозаготовительного производства является одним из наиболее энергоемких и дорогостоящих. На сегодняшний день уровень механизации рассматриваемых операций достигает 100%. Однако в современных условиях ключевыми проблемами, имеющими общегосударственное значение, становятся проблемы повышения экономической эффективности применяемых видов техники, улучшения экологического состояния окружающей среды на разных фазах технологического процесса, ресурсосбережения и многие другие.

На лесных погрузочных пунктах в настоящее время используются гидроманипуляторы различной грузоподъемности, установленные на лесовозных автомобилях и сортиментовозах, и гусеничные челюстные погрузчики перекидного типа ПЛ-1.

Анализ динамики наличия и использования лесопогрузочной техники на предприятиях Республики Беларусь, ведущих заготовку древесины, позволяет сделать вывод о неуклонном ежегодном увеличении количества агрегатированных гидроманипуляторами автомобилей. Данное перераспределение приоритетов в выборе техники объясняется многими причинами. Главной из них является значительное увеличение доли сортиментной заготовки древесины по сравнению с хлыстовой, так как большинство марок манипуляторов, установленных на автомобили, предназначено для погрузки сортиментов. Однако и предприятия, традиционно ведущие хлыстовую заготовку, переходят к использованию таких механизмов (в основном из-за плохого технического состояния гусеничных погрузчиков перекидного типа, эксплуатируемых на территории нашей страны многие годы). Примером тому является применяющаяся, в частности, в ОАО «Житковичлес» и ОАО «Мозырьлес» технология погрузки хлыстов древесины 2-го и 3-го разряда высот гидроманипуляторами класса 70, 90 и 130 кНм, предназначенными для погрузки сортиментов.

Следует также отметить, что многочисленными исследованиями доказана неэффективность погрузки гусеничными машинами при суточном объеме хлыстов на верхних складах менее 180 м³. Во время рабочей смены на пере-

езды челюстного погрузчика затрачивается до 30% рабочего времени. Если погрузчик вышел из строя, прибывающие автомобили вынуждены ожидать его исправления или уходить на другой мастерский участок.

Наряду с этими и другими недостатками [1] перекидных лесопогрузчиков нельзя не отметить их безальтернативность при осуществлении рассматриваемых операций на грунтах с низкой несущей способностью и при погрузке крупномерных хлыстов как хвойных, так и лиственных пород.

Опыт эксплуатации агрегатированных автопоездов на вывозке хлыстов позволяет сделать вывод об эффективности их использования при разработке лесосек с небольшими запасами, где по условиям работы нельзя обеспечить сменную выработку. При использовании самозагружающихся автопоездов подтрелеванные хлысты можно укладывать вдоль лесовозного уса без какой-либо подготовки.

Анализ работы некоторых отраслевых организаций показал, что за одним лесовозом, оснащенным гидроманипулятором погрузчиком, лесозаготовительные предприятия закрепляют 2, 3, а порой и более тягачей с прицепом-ропуском. Водитель транспортно-погрузочного средства подъезжает к штабелю хлыстов, выпускает аутригеры и начинает производить погрузку пришедших с ним лесовозов. Расположение тягачей при осуществлении данной операции параллельно друг другу. При необходимости для увеличения рабочей зоны манипулятора и снижения энергетических затрат, связанных с перемещением хлыстов над кониками прицепа-ропуски, последний может быть отцеплен. Заключительной операцией в данной технологической схеме является самопогрузка агрегатированного автомобиля.

С применением автопоездов, оборудованных манипуляторами погрузчиками, появилась реальная возможность организации двух- и трехсменной работы автотранспорта при односменной работе на валке и трелевке хлыстов на лесосеках небольших площадей и проходных рубках. Кроме того, увеличилась выработка на лесовозный автомобиль за счет наиболее эффективного использования времени.

Вышеприведенная качественная оценка технико-эксплуатационных показателей лесо-

погрузочных машин не позволяет сделать однозначный вывод о целесообразности применения того или иного вида техники в определенных производственных условиях.

В данной работе эксплуатационная эффективность погрузочных машин и механизмов оценивается их сменной производительностью.

Для более корректного сравнения выбран технологический процесс погрузки хлыстов гусеничным лесопогрузчиком перекидного типа ПЛ-1Г и манипуляторным лесопогрузчиком фирмы LIV марки L 24.81, установленным на лесовозе КрАЗ-255Л. Данный гидроманипулятор имеет грузовой момент 240 кНм и хорошо зарекомендовал себя как альтернативное средство погрузки хлыстов в течение двух лет работы в Микошевичском леспромхозе ОАО «Лунинецлес».

Как известно, основными факторами, влияющими на производительность лесопогрузчика являются: его грузоподъемность (Q); высота подъема груза (h); расстояние перемещения погрузчика в процессе погрузки лесоматериалов (L); ритмичность подачи автотранспорта, которая определяется коэффициентом (φ_1); грузоподъемность лесовозного транспорта ($Q_{лт}$) [2]. Целью задачи является определение влияния вышеперечисленных факторов на производительность лесопогрузчика, которая для конкретных производственных условий может быть определена по следующим зависимостям:

для челюстных лесопогрузчиков

$$P_{см}^ч = \frac{(T - t_{п-3})\varphi_1 Q_{лт}}{\left(\frac{2L}{v_{ср}} + t_{зах} + t_{укл}\right) \cdot \frac{Q_{лт}}{Q\varphi_2} + t_2 + t_3};$$

для манипуляторных лесопогрузчиков

$$P_{см}^м = \frac{(T - t_{п-3})\varphi_1 Q_{лт}}{k \left(\frac{4h}{v_n} + \frac{2\alpha}{\omega} + t_{зах} + t_{укл}\right) \cdot \frac{Q_{лт}}{Q \cdot \varphi_2} + t_2 + t_3};$$

Здесь T – продолжительность смены, с ($T = 25200$ с); $t_{п-3}$ – время на выполнение подготовительно-заключительных операций, с ($t_{п-3} = 2400$ с); φ_1 – коэффициент использования рабочего времени смены, учитывающий отдых оператора, переезды погрузочного механизма с одной погрузочной площадки на другую, устранение технических неисправностей, ожидание порожнего подвижного состава и др.; $Q_{лт}$ – грузоподъемность единицы лесовозного транспорта, м³; Q – грузоподъемность лесопогрузчика, м³; φ_2 – коэффициент использования грузоподъемности лесопогрузчика в зависимости от среднего объема хлыста ($\varphi_2 = 0,8-0,9$); t_2 – время подготовки подвижного состава к погрузке, с; $t_2 = 120-240$ с; t_3 – время оправки и крепления воя после погрузки, с (при погрузке хлыстов $t_3 = 180-240$ с); L – расстояние перемещения гусеничного погрузчика, м; $v_{ср}$ – средняя скорость передвижения погрузчика, ($v_{ср} = 0,9$ м/с); $t_{зах}$ и $t_{укл}$ – соответственно время захвата груза и время укладки пачки на подвижной состав, с (для челюстных погрузчиков сюда входит также время на подъем и опускание груза), $t_{зах} + t_{укл} = 120$ с; для манипуляторных погрузчиков $t_{зах} + t_{укл} = 60$ с; h – средняя высота подъема и опускания груза, м; v_n – средняя скорость подъема и опускания груза, м/с ($v_n = 0,85$ м/с); α – угол поворота стрелы, рад ($\alpha = 3,14$ рад); ω – средняя скорость поворота стрелы, рад/с ($\omega = 0,63$ рад/с).

В процессе погрузки пачки древесины манипуляторными погрузчиками обычно совмещают две операции: вращение и изменение вылета стрелы, вращение и подъем или опускание груза, подъем или опускание стрелы с подъемом или опусканием груза. Поэтому при расчете производительности манипуляторных погрузчиков вводится коэффициент, учитывающий совмещение операций $k = 0,8$.

Таблица

Связь нормализованных и натуральных обозначений факторов

Вид техники	Обозначения		Интервал варьирования фактора	Уровень варьирования фактора		
	Натуральное	Нормализованное		Δ_i	нижний	основной
			x_{\min}		x_i^0	x_{\max}
Гусеничный челюстной лесопогрузчик ПЛ-1Г	φ_1	x_1	0,1	0,55	0,65	0,75
	$Q_{лт}$	x_2	8	14	22	30
	Q	x_3	1	1,5	2,5	3,5
	L	x_4	18	4	22	40
Манипуляторный лесопогрузчик L 24.81	φ_1	x_1	0,1	0,55	0,65	0,75
	$Q_{лт}$	x_2	8	14	22	30
	Q	x_3	1	1,5	2,5	3,5
	h	x_4	1	1,5	2,5	3,5

Большинство из воздействующих на производительность факторов являются неуправляемыми, и чтобы набрать статистический материал для установления необходимых зависимостей в условиях производства, потребовалось бы проведение значительного объема экспериментальных исследований в лесах с различными таксационными характеристиками. Избежать такой трудоемкой работы позволяет имитационное моделирование реальных производственных процессов, которое используется для моделирования потоков с любыми статистическими закономерностями с одновременным получением большого числа показателей качества функционирования технологических систем. Используя в качестве отклика имитационного эксперимента производительность лесопогрузчика, можно дать общую оценку работы машины, рассчитать важнейшие экономические показатели: себестоимость, капитальные и приведенные затраты и обосновать область применения различных режимов работы. При детальном изучении большинства процессов лесопромышленных производств линейное описание зависимости отклика от каждого из варьируемых факторов оказывается слишком грубым. В такой ситуации наиболее простыми и удобными для исследования являются композиционные В-планы второго порядка, с помощью которых можно получить математическое описание процесса в виде полинома второго порядка [3]. Каждый фактор В-плана варьируется на трех уровнях, т. е. принимает в каждом опыте одно из трех значений: максимальное, наибольшее и среднее. Значение выбранных факторов воздействия в натуральных и нормализованных обозначениях приведено в таблице.

Для четырех факторов соответствующее уравнение регрессии записывается в виде

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{44}x_4^2,$$

где b_0 – свободный член; b_1, b_2, b_3, b_4 , – линейные коэффициенты регрессии; $b_{12}, b_{13}, b_{14}, b_{23}, b_{24}, b_{34}$ – коэффициенты регрессии при парных взаимодействиях; $b_{11}, b_{22}, b_{33}, b_{44}$ – квадратичные коэффициенты регрессии.

Рассматриваемый В-план состоит из точек полного факторного плана 2^k , к которым добавлено $2k$ звездных точек (условия, опыта в котором один из факторов принимает нормализованное обозначение (+1) или (-1), а остальные фиксируются на основном уровне). Общее число опытов В-плана, таким образом, равно $N = 2^k + 2k$ [3]. В нашем случае при $k = 4$

$N = 24$. Для увеличения точности регрессионной модели вблизи центра плана матрица дополнена несколькими опытами, поставленными в условиях $x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = 0$. В результате окончательное число опытов $N = 27$.

Расчет натуральных коэффициентов регрессии проведен на ЭВМ с помощью стандартной программы метода наименьших квадратов. В результате получены следующие зависимости производительности рассматриваемых видов техники от варьируемых факторов:

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{см}}^n &= 45,5 - 122,6\varphi_1 - 3,8Q_{\text{пр}} - 22,4Q + \\ &1,8L + 9,7\varphi_1Q_{\text{пр}} + 72,5\varphi_1Q - 2,3\varphi_1L + 2,1Q_{\text{пр}}Q - \\ &- 0,1Q_{\text{пр}}L - 0,4QL - 6,3\varphi_1^2 - 0,002Q_{\text{пр}}^2 - 3,1Q^2 + \\ &+ 0,02L^2; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{см}}^m &= 112,4 - 258,2\varphi_1 - 7,6Q_{\text{пр}} - 31,1Q + \\ &13,6h + 17,7\varphi_1Q_{\text{пр}} + 119,4\varphi_1Q - 16,1\varphi_1h + 3,5Q_{\text{пр}}Q - \\ &- 0,5Q_{\text{пр}}h - 2,2Qh + 0,9\varphi_1^2 - 0,00002Q_{\text{пр}}^2 - \\ &- 8,2Q^2 + 0,4h^2. \end{aligned}$$

При изучении влияния отдельных факторов на изменение выходной величины наиболее наглядны графики зависимостей вида $y = f(x_i, x_j)$, построенные по уравнению регрессии при различных фиксированных значениях остальных факторов. Из четырех рассматриваемых величин, оказывающих влияние на производительность лесопогрузочных машин, наиболее управляемым фактором является грузоподъемность единицы подвижного состава ($Q_{\text{пр}}$), которую целесообразно зафиксировать на среднем уровне. Остальные характеристики варьируются в двойной взаимосвязи, принимая через равное число опытов постоянное значение, соответствующее основному уровню, т. е.

$$\begin{cases} \Pi_{\text{см}}^n = f(Q, L), Q_{\text{пр}} = \text{const}, \varphi_1 = \text{const}, \\ \Pi_{\text{см}}^n = f(Q, \varphi_1), Q_{\text{пр}} = \text{const}, L = \text{const}, \\ \Pi_{\text{см}}^n = f(\varphi_1, L), Q_{\text{пр}} = \text{const}, Q = \text{const}, \end{cases}$$

и

$$\begin{cases} \Pi_{\text{см}}^m = f(Q, h), Q_{\text{пр}} = \text{const}, \varphi_1 = \text{const}, \\ \Pi_{\text{см}}^m = f(Q, \varphi_1), Q_{\text{пр}} = \text{const}, h = \text{const}, \\ \Pi_{\text{см}}^m = f(\varphi_1, h), Q_{\text{пр}} = \text{const}, Q = \text{const}. \end{cases}$$

На основании полученных уравнений регрессии и расчетных значений отклика построены графические зависимости влияния производственных факторов на производительность челюстного и манипуляторного погрузчика, представленные на рисунке.

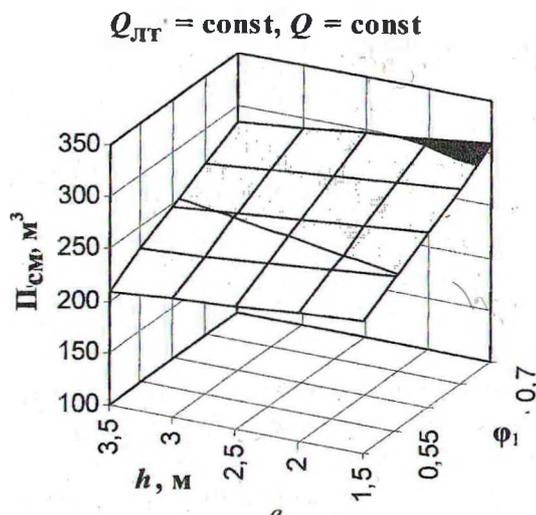
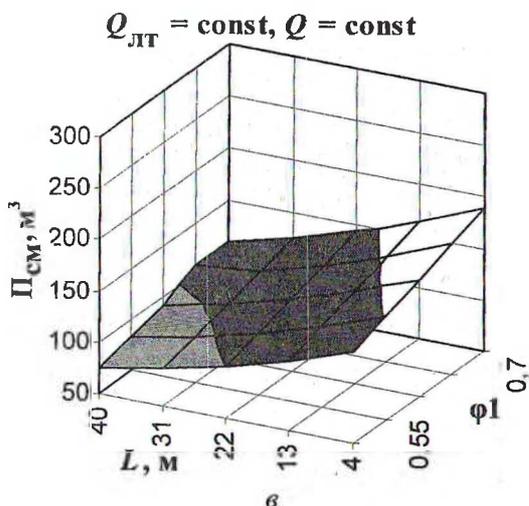
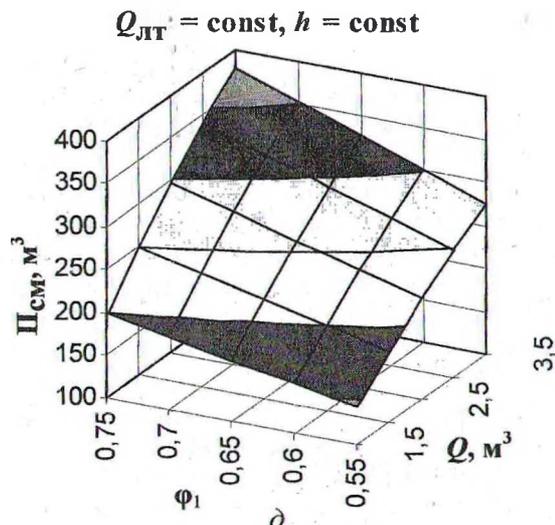
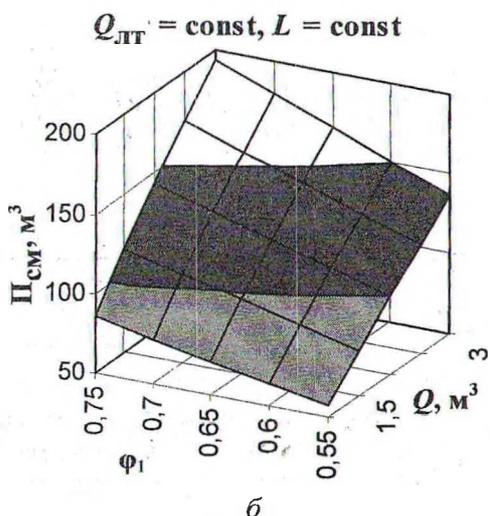
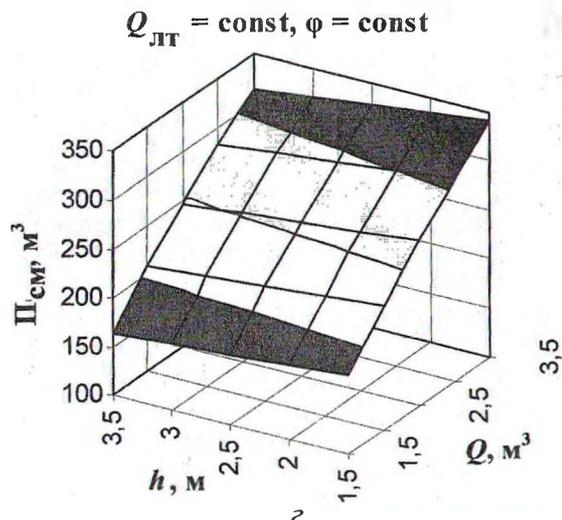
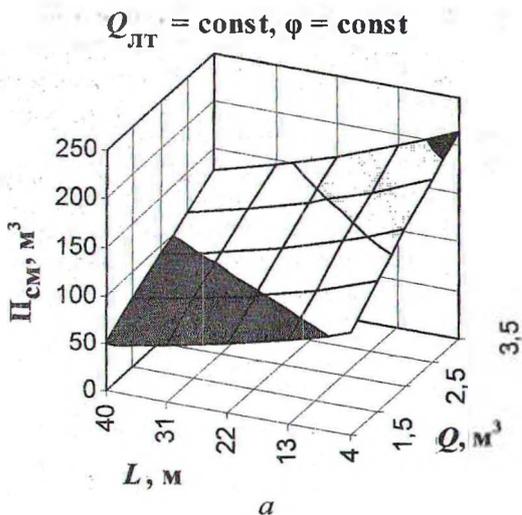


Рисунок. Графики зависимостей производительности от варьируемых факторов:
 а, б, в – поверхность отклика для ПЛ-1Г; з, д, е – поверхность отклика для L 24.81

Анализ графической интерпретации уравнений показывает, что:

1. Наибольшие абсолютные показатели производительности при заданных интервалах варьирования факторов получены:

для челюстных лесопогрузчиков
 $\text{П}_{\text{см}}^{\text{ч}} = 214,7 \text{ м}^3 (L = 4 \text{ м}; Q = 3,5 \text{ м}^3;$
 $Q_{ЛТ} = 22 \text{ м}^3; \varphi_1 = 0,65),$

для манипуляторных лесопогрузчиков
 $\text{П}_{\text{см}}^{\text{м}} = 377 \text{ м}^3 (\varphi_1 = 0,75 \text{ м}; Q = 3,5 \text{ м}^3;$

$Q_{лт} = 22 \text{ м}^3; h = 2,5 \text{ м}$).

2. Наименьшая производительность составила соответственно:

$\Pi_{см}^ч = 48,9 \text{ м}^3 (L = 40 \text{ м}; Q = 1,5 \text{ м}^3;$

$Q_{лт} = 22 \text{ м}^3; \varphi_1 = 0,65)$ и

$\Pi_{см}^м = 145,1 \text{ м}^3 (\varphi_1 = 0,55 \text{ м}; Q = 1,5 \text{ м}^3;$

$Q_{лт} = 22 \text{ м}^3; h = 2,5 \text{ м}$).

3. Для обоих видов техники важнейшими факторами, обеспечивающими самое интенсивное изменение абсолютных показателей производительности, являются коэффициент использования рабочего времени и грузоподъемность. Однако при увеличении коэффициента использования с 0,55 до 0,75 и грузоподъемности с 1,5 до 3,5 м^3 производительность ПЛ-1Г возрастает на 42–49%, а L 24.81 на 36–37% (рис. б, д).

4. Самое незначительное влияние на изменение поверхности отклика оказывает высота подъема хлыста гидроманипулятором. С ее увеличением до 3,5 м выходная величина уменьшается на 8–10% (рис. з, е).

5. С увеличением расстояния перемещения гусеничного лесопогрузчика до штабеля с 4 до 40 м сменная производительность снижается на 45–61%. Как видно из рисунков а, в, при максимальных значениях L анализируемый показатель эффективности работы техники можно улучшить, сохраняя постоянными максимальные значения Q и φ_1 .

6. Влияние высоты подъема груза (для манипуляторных средств погрузки) и коэффициента использования рабочего времени погрузчиков на их производительность имеет линейную зависимость, а влияние грузоподъемности и пути перемещения гусеничного лесопогрузчика от лесовоза до штабеля описывается уравнением второго порядка.

Для сравнения искомой характеристики в данной работе интервалы варьирования производственных показателей за исключением специфических (L и h) были приняты одинаковыми. В результате проведенного активного эксперимента можно сделать вывод о том, что при достаточной несущей способности оснований лесопогрузочных пунктов и прочих равных

природно-производственных условиях планирование технологии лесозаготовительного процесса с использованием большегрузных гидроманипуляторов будет целесообразнее, т. к. их производительность выше в 1,3–1,5 раза производительности погрузчиков перекидного типа.

Следует отметить, что в условиях постепенного перехода на сортиментную заготовку все большую актуальность приобретают вопросы сортировки лесоматериалов на лесных погрузочных пунктах и последующей их доставки непосредственно потребителю. Поиски более совершенных технологических схем привлекли внимание многих специалистов к возможности использования и на этой операции гидравлических шарнирно сочлененных манипуляторов. Их достоинство в данном случае заключается в сравнительном быстродействии, небольшой металлоемкости, компактности сортировочных участков склада, а также в идеальном совмещении сортировки и погрузки древесины. Кроме того, применение манипуляторов позволит улучшить экологическое состояние процесса производства работ за счет сохранения механических и биологических свойств почвогрунтов.

Вышесказанное свидетельствует об эффективности использования гидроманипуляторных средств погрузки.

Литература

1. Ермалицкий А. А. Организация погрузочно-разгрузочных работ колесным манипулятором лесопогрузчиком // Труды БГТУ. Сер. II. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – 2003. – Вып. XI. – 266 с.

2. Матвейко А. П., Клоков Д. В., Протас П. А. Технология и оборудование лесозаготовительного производства. Практикум: Учеб. пособие для студентов инженерно-экономических специальностей лесного комплекса. – Мн.: БГТУ, 2005. – 160 с.

3. Пижурин А. А., Пижурин А. А. Основы научных исследований в деревообработке: Учебник для вузов – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2005. – 305 с.