

**ВЕСТНИК МОСКОВСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА ЛЕСА**

ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК

Научно-информационный журнал

2004 г. № 5(36)

Координационный совет журнала

Главный редактор
Зам. главного редактора

А.Н. ОБЛИВИН
В.Д. НИКИШОВ

Члены совета

Н.И. КОЖУХОВ
О.Н. НОВОСЕЛОВ
А.К. РЕДЬКИН
Е.И. МАЙОРОВА
О.А. ХАРИН
В.С. ШАЛАЕВ
А.С. ЩЕРБАКОВ
С.Н. РЫКУНИН

Ответственный секретарь

Е.А. РАСЕВА



Номер подготовили:

Ответственный секретарь

Редакторы

Набор и верстка

Е.А. РАСЕВА
О.М. ШИТОВА
Т.В. ГОРБУНЧИКОВА
М.А. ЗВЕРЕВ

Оригинал-макет подготовлен в редакторе Microsoft Word 2000.

Журнал зарегистрирован Министерством РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации журнала «Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник» ПИ № 77-12923 от 17.06.2002.

Перепечатка и воспроизведение полностью или частично текстов и фотографий журнала «Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник» – только с письменного разрешения издательства.

© Московский государственный университет леса, 2004

Лицензия ЛР № 020718 от 02.02.1998.

Лицензия ПД № 00326 от 14.02.2000.

Подписано к печати 25.10.2004.
Объем 24,85 п. л.

Тираж 500 экз.
Заказ №

Издательство Московского государственного университета леса.
141005, Мытищи-5, Московская обл., 1-я Институтская, 1, МГУЛ.
Телефоны: (095) 588-57-62, 588-53-48, 588-54-15, факс (095) 588-51-09

СОДЕРЖАНИЕ

Лесоинженерное дело

Макуев В.А.	<i>Общая экономико-математическая модель задачи выбора машин для выполнения лесосечных работ предприятия</i>	5
Савельев В.В.	<i>Система автоматизированного проектирования железобетонных плит и параметров колеиных покрытий лесовозных дорог</i>	9
Мануковский А.Ю.	<i>Технология водной доставки лесоматериалов в сортиментных и хлыстовых плотах</i>	17
Ларионов В.Я., Котляр В.И., Левушкин Д.М.	<i>Выбор системы машин лесотранспортного процесса</i>	21
Павлов А.И.	<i>Математическая модель гидропривода лесосечных машин</i>	22
Павлов А.И.	<i>Определение вероятности отказов элементов гидропривода лесосечных машин</i>	27
Павлов А.И., Ширнин Ю.А.	<i>Результаты исследования гидропривода сучкорезной машины в производственных условиях</i>	29
Корнеев В.М., Черепицкий С.В., Шамарин Ю.А.	<i>Модернизация приборов для испытания и регулирования форсунок дизельных двигателей</i>	33
Войтко П.Ф.	<i>Методика и результаты экспериментальных исследований грузоподъемных машин на рейдах приплыва</i>	39
Поздеев А.Г., Царев Е.М.	<i>Имитационное динамическое моделирование функционирования удерживающей запани для сбора плавающих лесоматериалов</i>	46
Царев Е.М.	<i>Метод оценки качества технического объекта на основе шкалы сравнений</i>	51
Толстоногов Э.Ю.	<i>Опыт применения воздухоплавательных летательных аппаратов (ВЛА) в лесном комплексе</i>	57
Афоничев Д.Н.	<i>Обоснование параметров трапециевидных плит сборных дорожных покрытий для участков кривых в плане</i>	63
Курьянов В.К., Афоничев Д.Н.	<i>Повышение транспортно-эксплуатационных качеств сборных дорожных покрытий на отгонах виражей</i>	69

Лесное хозяйство

Обыденников В.И., Никитин Ф.А.	<i>Лесоводственно-экономическая оценка работы агрегатной техники на лесосеках с подростом</i>	75
Доев С.К., Олимпиаев А.Е.	<i>Горимость лесов южного приморья и пути ее снижения</i>	80
Конашова С.И.	<i>Состояние и рост дубрав в восточноевропейской части России</i>	89
Цай Ю.Т.	<i>Применение метода экспертных оценок для выбора структуры показателей при комплексной оценке безопасности лесных пожарных</i>	94
Сидоренков В.М.	<i>Лесохозяйственные мероприятия в насаждениях с лесными культурами ели под пологом</i>	105
Селиванов В.А.	<i>Выращивание в Сергиево-Посадском опытном лесхозе целевых насаждений ели из подроста для получения пиловочника и балансов</i>	106
Ситдииков Р.Г.	<i>Повышение продуктивности искусственных лесов южного Урала</i>	108
Родин А.Р.	<i>Особенности лесокультурного производства в условиях потепления климата</i>	112
Матраимов К.О.	<i>Стратификация лесов Кыргызстана при статистическом методе лесоустройства</i>	114
Бойко А.А.,	<i>Особенности водного режима ассимиляционного аппарата древесных</i>	118

Уразгильдин Р.В.	<i>растений в условиях техногенного загрязнения</i>	
Бойко А.А.	<i>Оценка стабильности развития листьев березы повислой в условиях аэротехногенного загрязнения окружающей среды</i>	121
Федотов Г.Н., Жуков Д.В.	<i>Влияние органоминеральных гелей на теплопередачу в почвах</i>	123
Федотов Г.Н., Жуков Д.В., Пахомов Е.И.	<i>Организация коллоидных частиц в почвах в гелевые структуры</i>	127
Химические технологии		
Серков Б.Б., Сивенков А.Б., Тхань Б.Д., Асеева Р.М.	<i>Исследование токсичности продуктов горения древесины различных пород</i>	145
Тарасов С.М.	<i>Современная технология производства картона из вторичного волокнистого сырья с использованием нового гидрофобизирующего состава на основе талловых продуктов</i>	151
Экономика		
Бутко Г.П., Перепелкина Л.А.	<i>Формирование стратегии управления конкурентоспособностью организации (предприятия)</i>	154
Санаев В.В.	<i>Логистический подход к управлению материальными запасами в лесной промышленности</i>	159
Санаев В.В.	<i>Применение логистических систем в мебельной промышленности</i>	163
Абрамов В.А.	<i>Применение теории управления для вывода из кризиса малых и средних предприятий на примере частного производства</i>	167
Абрамов В.А.	<i>Моделирование процесса стратегического управления развитием малых и средних предприятий лесопильной промышленности</i>	170
Математическое моделирование		
Полещук И.А.	<i>Некоторые принципы построения регрессионных моделей при нечетких исходных данных</i>	174
Никонов Н.В.	<i>О классификации всех булевых функций от 3-х переменных с обобщенными запретами</i>	177
Быков Д.Л., Шачнев В.А.	<i>Обобщенный итерационный метод решения одномерных задач эндохронной теории стареющих вязкоупругих материалов</i>	188

ОБЩАЯ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ ВЫБОРА МАШИН ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛЕСОСЕЧНЫХ РАБОТ ПРЕДПРИЯТИЯ

В.А. МАКУЕВ, доц. каф. технологии и оборудования лесопромышленных производств
МГУЛа, канд. техн. наук

Будем исходить из того, что известен объем лесозаготовок. Для его выполнения необходимо провести комплекс механизированных лесосечных работ в определенной последовательности и взаимосвязи. Задача состоит в том, чтобы определить способы и сроки выполнения всех видов рубок, а также марки и численность машин, из которых можно составить системы машин, необходимые для выполнения объемов операций по наиболее эффективным технологиям лесосечных работ. Кроме этого, необходимо определить и состав средств, обеспечивающих работоспособность техники, так как выбор машин может зависеть не только от эксплуатационных затрат, производительности и стоимости техники, но и от того, какие ресурсы потребуются для обеспечения их работоспособности.

План комплектования парка лесосечных машин и сроки их использования должны обеспечивать выполнение всех операций при наименьшей сумме текущих и капитальных затрат на комплекс работ. При этом предполагается, что заданы объемы лесозаготовок по видам рубок, перечень и технико-экономические характеристики средств механизации при выполнении лесосечных работ.

Такие факторы, как ограниченность некоторых видов ресурсов, следует учитывать в зависимости от конкретных условий.

Для математической записи условий задачи введем следующие обозначения.

Пусть на лесозаготовительном предприятии предстоит выполнить J видов рубок за определенный промежуток времени, состоящий из T расчетных периодов, календарные продолжительности τ_t которых известны. Для каждого вида рубок леса

$j = \overline{1, \dots, J}$ заданы: их объем P_j , начальный и конечный периоды t_j^0 и t_j^1 и возможные технологии их выполнения s_j .

Следовательно, на всех рубках рассматривается $S = \sum_{j=1}^J S_j$ технологий их выполнения. Как отдельные виды работ могут рассматриваться работы по обслуживанию техники, объемы которых зависят от интенсивности использования систем лесосечных машин.

Все системы лесосечных машин, привлекаемые для выполнения операций, могут быть составлены из I видов машин и обслуживаться операторами M видов специальностей.

Для каждого S -го способа выполнения операций известны:

a_j^s – сменная производительность при выполнении работ j ;

c_j^s – прямые эксплуатационные затраты на выполнение j -го вида работ в течение смены;

λ_{ij}^s – количество машин i -го вида, входящих в систему лесосечных машин при выполнении работы j ;

μ_{mj}^s – количество операторов m -й специальности, необходимых для обслуживания машины S при выполнении j -ой операции;

Δc_{jt}^s – оценка на лесозаготовках при выполнении j -й работы в период t . Сюда могут быть отнесены: потери, вызванные отклонением срока выполнения работы от наиболее благоприятного; потери, обусловленные технологическими несовершенствами машин или неблагоприятным временем суток для выполнения технологических операций и т. д. Все эти потери должны быть

оценены в одинаковых единицах, а именно в тех же единицах, в которых измерены величины c_{jt}^s . Например, если решается задача со стоимостным критерием, то Δc_{jt}^s дается в денежном выражении;

Δa_{jt}^s – изменение производительности машин, зависящее от организации использования или обслуживания техники, от сроков службы машин и др.

Кроме того, известны следующие величины:

Q_i^t – количество машин i -го вида на лесозаготовительном предприятии, которые могут быть использованы на работах в период t ;

c_i – стоимость приобретения одной машины марки i ;

Rm – количество операторов m -ой специальности в штате лесозаготовительного предприятия;

Cm – затраты, связанные с привлечением в штат одного оператора m -ой специальности (затраты на обучение, проживание, аванс и т. д.);

c_n^t – затраты, связанные с привлечением одного сезонного рабочего m -ой специальности в t -й период (сюда могут быть отнесены транспортные расходы, командировочные и т. п.);

d_i – стоимость содержания одной машины i -го вида за весь планируемый период (отчисления на реновацию, затраты на хранение и т.п.);

ρ_i – остаточная стоимость одной машины вида i при снятии ее с баланса предприятия;

c_i^t – затраты на привлечение машины i в период t ;

n_i^v – норматив наработки в условных единицах для машины вида i до технического обслуживания вида v ;

ρ_i^t – оценка аренды машины вида i , переданной в аренду в период t ;

α – коэффициент эффективности капиталовложений;

Q_r^t – наличие r -х средств технического обслуживания в период t ;

Γ_{jt}^s – расход горючего за период t при выполнении работы вида j системой машин S ;

a_r^t – производительность средств технического обслуживания вида r за период t ;

K_{jt}^s – коэффициент использования календарного времени, учитывающий влияние метеоусловий (или других случайных факторов) при выполнении в период t операции j способом s ;

Cr – стоимость приобретения средства технического обслуживания вида r ;

σ_{jt}^s – показатель сменности при выполнении операции j в период t способом S , т. е. количество смен работы машин в течение суток.

Задача состоит в том, чтобы определить следующие величины:

x_{jt}^s – количество машин S -го вида, которые нужно использовать для выполнения j -й операции в t -й период;

y_i – количество машин i -го вида, которые нужно купить для предприятия;

y_i^t – количество машин i -го вида, которые нужно привлечь в период t ;

z_i^t – количество машин вида i , которые целесообразно отдать в аренду в период t ;

z_i – количество машин вида i , которые целесообразно снять с баланса предприятия;

y_m – количество операторов специальности m , которых необходимо привлечь дополнительно в штат предприятия;

y_m^t – количество операторов специальности m , которых следует привлечь на работу в период t ;

y_r – количество средств технического обслуживания вида r , которые нужно приобрести в парк лесосечных машин для того, чтобы обеспечить работоспособность техники;

Γ_t – расход топливо-смазочных материалов на выполнение рубок леса в период t ;

Γ – расход топливо-смазочных материалов на выполнение всего комплекса лесосечных работ.

1. Искомые величины определяются из следующих условий

$$\begin{aligned} x_{jt}^s &\geq 0; y_i \geq 0; y_i^t \geq 0; z_i \geq 0; \\ z_i^t &\geq 0; y_m \geq 0; y_m^t \geq 0; y_r \geq 0, \end{aligned} \quad (1)$$

т. е. должно удовлетворяться условие их неотрицательности.

2. Все планируемые рубки леса в необходимых объемах должны быть выполнены в установленные сроки по выбранным вариантам технологий

$$\sum_{t=t_j^s}^{t_j^s} \sum_{s=1}^{S_j} \sum_{K=1}^K (a_{jt}^s + \Delta a_{jt}^s) \cdot x_{jt}^s = P_j^k; k = \overline{1, K}, \quad (2)$$

где $a_{jt}^s = a_j^s \cdot \sigma_{jt}^s \cdot \tau_t^s \cdot K_{jt}^s$;

K – количество вариантов технологий;

$$\sum_{K=1}^K P_j^K = P_j.$$

Для тех рубок леса, объемы которых определяются одним вариантом технологий, имеем

$$\sum_{t=t_j^s}^{t_j^s} \sum_{s=1}^{S_j} (a_{jt}^s + \Delta a_{jt}^s) \cdot x_{jt}^s = P_j. \quad (3)$$

3. Одновременно не может быть использовано машин больше, чем имеется на предприятии; они вновь покупаются и привлекаются с других предприятий за вычетом тех, которые подлежат снятию с баланса и которые в период t следует отдать в аренду:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^J \sum_{s=1}^{S_j} \lambda_{ij}^s \cdot x_{jt}^s &\leq Q_i^t + y_i + \\ + y_i^t - z_i^t - z_i; &i = \overline{1, I}; t = \overline{1, T}. \end{aligned} \quad (4)$$

4. Количество рабочих специальностей m , занятых на выполнении рубок леса в каждый период, не должно превышать общего количества имеющихся на предприятии и вновь привлекаемых на постоянную и сезонную работу

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^J \sum_{s=1}^{S_j} \mu_{mj}^s \cdot x_{jt}^s &\leq Q_m^t + y_m + \\ + y_m^t; &m = \overline{1, M}; t = \overline{1, T}. \end{aligned} \quad (5)$$

5. Потребность в каждом виде средств технического обслуживания для каждого периода определяется тем объемом рубок леса, который выполняется обслуживаемыми машинами

$$\begin{aligned} \sum_{\gamma=1}^{\gamma} \sum_{j=1}^J \frac{\left[\sum_{s=1}^{S_j} \sum_{j=1}^J K_{jt}^s \cdot (a_{jt}^s + \Delta a_{jt}^s \cdot x_{jt}^s) \right] \cdot b_i^{\gamma}}{P_i^{\gamma}} &= \\ = a_r^t \cdot (y_r + Q_r), & \end{aligned} \quad (6)$$

где
$$P_i^{\gamma} = \frac{n_i^{\gamma} \cdot n_i^{\gamma+1}}{n_i^{\gamma+1} - n_i^{\gamma}} \quad (7)$$

$\gamma, \gamma + 1$ – номера (виды) технических обслуживаний в порядке возрастания трудоемкости;

b_i^{γ} – трудоемкость одного технического обслуживания вида γ машины марки i .

Примечание. Пусть N_{it}^{γ} – количество технических обслуживаний вида γ для машины марки i в период t , тогда имеем

$$\begin{aligned} N_{jt}^s &= \frac{\sum_j \sum_{s_j^i} K_j \cdot (a_{jt}^s + \Delta a_{jt}^s) \cdot x_{jt}^s}{n_i^{\gamma}} - \\ &= \frac{\sum_j \sum_{s_j^i} K_j \cdot (a_{jt}^s + \Delta a_{jt}^s) \cdot x_{jt}^s}{n_i^{\gamma+1}}, \end{aligned} \quad (8)$$

где s_j^i – способы выполнения рубок леса с участием машин марки i ;

$i = \overline{1, I}; t = \overline{1, T}; \gamma = \overline{1, \gamma}; I_i$ – перечень машин.

Тогда
$$N_i^{\gamma} = \sum_{t=1}^T N_{it}^{\gamma} \cdot t; \gamma = \overline{1, \gamma}; i = \overline{1, I},$$

где N_i^{γ} – годовая потребность в технических обслуживаниях вида γ для машин марки i . Пусть трудоемкость одного технического обслуживания вида γ для машины марки i будет B_i^{γ} . Тогда трудоемкость всех видов обслуживания B_t для всех машин в период t определится из соотношения

$$B_t = \sum_{\gamma=1}^{\gamma} \sum_{i=1}^I N_{it}^{\gamma} \cdot b_i^{\gamma}; t = \overline{1, T},$$

т.е.

$$\begin{aligned}
 B_i &= \sum_{\gamma=1}^{\gamma} \sum_{i=1}^{I_1} \left[\frac{\sum_j \sum_{s_j^i} K_j \cdot (a_{j_i}^s + \Delta a_{j_i}^s) \cdot x_{j_i}^s}{n_i^\gamma} - \frac{\sum_j \sum_{s_j^i} k_j \cdot (a_{j_i}^s + \Delta a_{j_i}^s) \cdot x_{j_i}^s}{n_i^{\gamma+1}} \right] \cdot b_i^\gamma = \\
 &= \sum_{\gamma=1}^{\gamma} \sum_{i=1}^{I_1} \left[\frac{(n_i^{\gamma+1} - n_i^\gamma) \cdot \sum_j \sum_{s_j^i} K_j \cdot (a_{j_i}^s + \Delta a_{j_i}^s) \cdot x_{j_i}^s}{n_i^\gamma \cdot n_i^{\gamma+1}} \right] \cdot b_i^\gamma = \\
 &= \sum_{\gamma=1}^{\gamma} \sum_{i=1}^{I_1} \frac{\sum_{j=1}^J \sum_{s_j^i} k_i \cdot (a_{j_i}^s + \Delta a_{j_i}^s) \cdot x_{j_i}^s}{P_i^\gamma} \cdot b_i^\gamma, \quad (9)
 \end{aligned}$$

где
$$P_i^\gamma = \frac{n_i^\gamma \cdot n_i^{\gamma+1}}{n_i^{\gamma+1} - n_i^\gamma}$$

6. Потребность в топливо-смазочных материалах для каждого периода определяется интенсивностью использования лесосечных машин на выполнении операций лесосечных работ

$$\sum_{s=1}^{S_j} \sum_{j=1}^J \Gamma_{j_i}^s \cdot x_{j_i}^s = \Gamma_i; \Gamma = \sum_{i=1}^T \Gamma_i, \quad (10)$$

где Γ – потребность ТСМ на весь комплекс лесосечных работ.

7. На все виды ресурсов, по которым даны условия (4), (5) и (10), могут быть заданы ограничения, т. е.

$$\begin{aligned}
 y_i &\leq b_i; i = \overline{1, I}; y_m \leq b_m; \\
 m &= \overline{1, M}; y_m' \leq b_m'; y_r \leq b_r; \\
 r &= \overline{1, R}; \Gamma_i \leq b_r'; \Gamma \leq b_r \quad (11)
 \end{aligned}$$

8. Все взаимосвязанные работы в рассматриваемом комплексе должны выполняться в определенной последовательности при согласованности способов их выполнения для выбранных технологий

$$\begin{aligned}
 \sum_{j_1} \sum_{t_1} \sum_{S_1} A_1 \cdot a_{j_1 t_1}^{s_1} \cdot x_{j_1 t_1}^{s_1} &\geq \\
 &\geq \sum_{j_2} \sum_{t_2} \sum_{S_2} A_2 \cdot a_{j_2 t_2}^{s_2} \cdot x_{j_2 t_2}^{s_2} \quad (12)
 \end{aligned}$$

Суммирование в этих ограничениях должно вестись только по тем индексам работ j_1, j_2 , периодам t_1, t_2 , и способам выполнения работ S_1, S_2 , для которых имеется необходимость согласования.

A_1, A_2 – коэффициенты для перевода объемов согласуемых работ в одинаковые единицы измерения.

Искомые величины должны быть определены из перечисленных условий таким образом, чтобы удовлетворялся \min функционала следующего вида

$$\begin{aligned}
 f(x, y) &= \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T \sum_{S=1}^S (c^s + \Delta c_{j_t}^s) \cdot x_{j_t}^s + \\
 &+ \sum_{i=1}^I d_i \cdot (Q_i + y_i) + \alpha \sum_{i=1}^I c_i \cdot y_i + \\
 &+ \sum_{r=1}^R d_r \cdot (Q_r + y_r) + \sum_{r,t} c_r' \cdot y_r' + \\
 &+ \alpha \sum_{r=1}^R c_r \cdot y_r + \sum_{m=1}^M c_m \cdot y_m + \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T c_m' \cdot y_m' - \\
 &- \sum_{i=1}^I (d_i + \rho_i) \cdot z_i - \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T \rho_i' \cdot z_i' \rightarrow \min, \quad (13)
 \end{aligned}$$

где
$$c_{j_t}^s = c_j^s \cdot \sigma_{j_t}^s \cdot \tau_t \cdot k_{j_t}^s \quad (14)$$

Следует отметить, что в зависимости от конкретных условия возможно включение дополнительных ограничений или исключение некоторых из указанных (11), а также решение задач при других критериях, в том числе и многоцелевых.

Может быть найдено большое число планов, когда в парке находится достаточное количество машин, чтобы выполнить работы в необходимой последовательности, в заданные сроки и в полном объеме. Это все

допустимые планы комплектования и использования парка. Но может быть только один план, который, кроме того, удовлетворял бы и условию (13), – оптимальный, т. е. такой план комплектования и использования парка, любые изменения которого не будут уменьшать значение функции, представленной условием (13).

Требование минимума приведенных затрат обеспечивает получение плана с наиболее выгодным уровнем капитальных и производственных затрат.

Хотя в описываемом случае используется стоимостный критерий как наиболее универсальный, однако любое другое из условий (2) может быть принято за критерий оптимальности, как, например, критерий минимум расхода горючего. При оптимальном расчете с критерием минимума затрат труда коэффициенты c_{jt}^s должны выражать прямые затраты труда (в часах, сменах) при использовании способа S с единичной интенсивностью при выполнении работы j в период t . В этом случае решение задачи с функцией цели

$$f(c) = \sum_{j=1}^J \sum_{s=1}^S \sum_{t=i_j^s}^{t_j^s} c_{jt}^s \cdot x_{jt}^s \rightarrow \min \quad (15)$$

будет давать план, который обеспечит минимум непосредственных затрат труда на выполнение всего комплекса лесозаготовительных работ. Если предприятие располагает ограниченными средствами на приобретение техники, то необходимо, кроме ограничений (2) – (11), включить ограничение вида

$$\sum_{i=1}^I c_i \cdot y_i \leq c, \quad (16)$$

где c – сумма допустимых затрат на приобретение лесозаготовительной техники;

c_i – стоимость одной машины марки i .

Задача будет аналогична описанной выше, если минимизировать расход горючего, т. е. $\sum \Gamma_{jt}^s \cdot x_{jt}^s \rightarrow \min$. Функция цели в этом случае представляет собой расход горючего на выполнение всего комплекса механизированных работ, минимум которого достигается при решении задачи. Коэффициентами функционала в этом случае следует брать Γ_{jt}^s .

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ И ПАРАМЕТРОВ КОЛЕЙНЫХ ПОКРЫТИЙ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

В.В. САВЕЛЬЕВ, *МарГТУ, канд. техн. наук*

Основной задачей при разработке проектов колежных покрытий автомобильных дорог является обоснование оптимальных параметров конструкций железобетонных плит и колежных покрытий при учете особенностей их проектирования, строительства и эксплуатации.

Целью проектирования и оптимизации параметров железобетонных плит является получение таких конструкций, которые должны соответствовать требованиям действующих норм и стандартов и быть не хуже других конструкций по стоимости, расходу материалов и иметь размеры, удовлетво-

ряющие технологические, монтажные и эксплуатационные требования.

Решение задачи расчета конструкций железобетонных плит и параметров колежных покрытий автомобильных дорог сводится к отысканию таких значений оптимальных параметров, которые обеспечивают минимум критерия оптимизации при выполнении ограничений (2):

$$\hat{E} = k(x_1, \dots, x_n) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где K – критерий оптимизации;

x_n – варьируемые параметры плиты, бетона и арматуры;

n – число варьируемых параметров.

В качестве ограничений приняты неравенства вида:

$$\left. \begin{array}{l} \varphi_i(\delta_1; \dots; x_n) \leq f_i; \\ x_{k \min} \leq x \leq x_{k \max}; (k = 1, n); (i = 1, n); \end{array} \right\} \quad (2)$$

где $\varphi_i(x_1; \dots; x_n)$ – величины внутренних усилий в бетоне и арматуре (изгибающие моменты, поперечные силы, напряжения в бетоне и арматуре), ширина раскрытия трещин и т.д.;

f_i – величины усилий от внешних воздействий (реактивные давления грунта на плиту, максимальные и минимальные изгибающие моменты и поперечные силы), действующие в сечениях плиты, расчетные характеристики бетона и арматуры, допустимая ширина раскрытия трещин и т. д.

Для этих целей разработана система автоматизированного проектирования (САПР) ненапряженных конструкций плит из различных видов бетона (тяжелого и мелкозернистого цементного, плотного силикатного) для сборных и сборно-разборных колеиных покрытий лесовозных автомобильных дорог. Данную САПР можно применять для расчета параметров железобетонных плит и колеиных покрытий автомобильных дорог различного назначения (общего пользования, подъездных и внутренних дорог промышленных и сельскохозяйственных предприятий) при соответствующем обосновании расчетной нагрузки.

Разработанная САПР позволяет выполнить следующие этапы расчета:

1) определение геометрических характеристик сечений плиты и ее армирования в продольном и поперечном направлениях;

2) вычисление максимальных значений расчетных усилий (реактивных давлений грунта на плиту, изгибающих моментов и поперечных сил) при воздействии многократно повторяющейся нагрузки от колес автотранспортных средств по методу И.А. Симвулиди в зависимости от вида стыкового соединения (упруго-податливого, за счет сварки стыковых закладных деталей);

3) проверку условий по прочности, выносливости и трещиностойкости сечений, нормальных и наклонных к продольной и поперечной оси плиты;

4) вычисление толщины подстилающего слоя основания под плитами с проверкой по устойчивости основания по сдвигу, морозоустойчивости и дренированию;

5) определение потребности в материалах на изготовление плит (бетон и арматура) и устройство основания под плитами, засыпки межколеиного пространства и обочин;

6) определение стоимости 1 м² плиты, стоимости 1 км покрытия, себестоимости вывозки 1 м³ лесоматериалов или приведенных затрат в зависимости от поставленной задачи.

САПР позволяет выполнить расчет параметров конструкций железобетонных плит из различных видов бетона по двум направлениям:

1) по принятой в практике расчетов дорожных плит методике:

– вычисление максимальных (экстремальных) положительных \dot{I}_{iie} и отрицательных \dot{I}_{iio} изгибающих моментов и положительных Q_{iie} и отрицательных Q_{iio} поперечных сил от действия внешней нагрузки (одиночной или сдвоенной оси расчетного транспортного средства) в сечениях плиты в продольном и поперечном направлении;

– определение площадей сечения арматуры, расположенной в растянутой и сжатой зоне плиты, и равномерное размещение стержней арматуры в продольном и поперечном направлении плиты;

2) по предлагаемой нами методике:

– вычисление максимальных (экстремальных) положительных $\dot{I}_{\max}(n_{\dot{n}a^+})$ и отрицательных $\dot{I}_{\min}(n_{\dot{n}a^-})$ изгибающих моментов и положительных $Q_{\max}(n_{\dot{n}a^+})$ и отрицательных $Q_{\min}(n_{\dot{n}a^-})$ поперечных сил от действия внешней нагрузки (всех осей расчетного транспортного средства) в заданных сечениях $n_{\dot{n}a^+}$ плиты в продольном и поперечном направлении;

– определение площадей сечения арматуры, расположенной в растянутой и сжа-

той зоне плиты, в каждом заданном сечении плиты и неравномерное размещение стержневой арматуры в продольном и поперечном направлении плиты.

Укрупненная структура подсистем САПР ненапряженных конструкций плит и параметров колеевых покрытий автомобильных дорог приведена на рис. 1.

При оптимизации параметров конструкций железобетонных плит и колеевого покрытия выполняется обоснование пределов изменения параметров и армирования с учетом соответствия их реальным условиям эксплуатации на лесовозных автомобильных дорогах.

Исходная информация, необходимая для работы предлагаемой САПР, классифицируется по назначению и использованию ее на различных этапах проектирования, по видам задач конструирования, расчета и оптимизации:

- информация для варьирования параметров конструкции плиты;
- характеристики бетона и арматуры;
- характеристики размещения в сечениях плиты продольной, поперечной и конструктивной арматуры и ее параметры;
- нагрузки, усилия и их характеристики;
- задание на расчет.

Первая группа информации предусматривает варьирование исходных параметров при оптимизации конструкции, которое осуществляется посредством изменения самых различных вариантов во внешнем цикле расчета.

В зависимости от поставленной задачи расчета конструкции возможно варьирование различных оптимизируемых параметров: длины L , ширины b и толщины h плиты; длины U , ширины V и высоты X глубоких впадин (ячеек) на нижней поверхности плиты, соотношения значений U и V ; площадей сечения ненапрягаемой арматуры в нижней A_s и в верхней A'_s зонах сечений, нормальных к продольной и поперечной оси плиты; площади сечений поперечной арматуры A_{sw} ; номинального диаметра стержневой

арматурной стали (в продольном d_s и поперечном d'_{sw} направлениях плиты, поперечной d'_{sw}); класса бетона по прочности на сжатие B_c ; класса стержневой арматурной стали; модулей деформации грунта земляного полотна и материала основания и др. Ряд параметров может иметь фиксированные значения.

На основании теоретического обоснования пределы варьирования параметров плиты могут приниматься в пределах (размеры в метрах): длина $2,0 \leq L \leq 6,0$ с шагом 0,5 м, ширина $1,0 \leq b \leq 2,0$ с шагом 0,1 м, толщина $0,10 \leq h \leq 0,20$ с шагом 0,01...0,02 м. Пределы изменения длины и ширины глубоких впадин (ячеек) на нижней поверхности ребристых плит принимаются от нуля до размеров, обеспечивающих размещение арматуры с соблюдением защитного слоя бетона по нормам [1, 2]. Соотношение ширины и длины глубоких впадин (ячеек) может варьироваться в пределах $1:1 \leq V:U \leq 1:2$. Высота глубоких впадин изменяется в пределах $0 \leq \tilde{O} \leq h - 0,05$, то есть до размера, обеспечивающего сохранение защитного слоя неармированного бетона над ними.

В качестве ненапрягаемой рабочей продольной арматуры следует преимущественно применять стержневую горячекатаную арматурную сталь периодического профиля класса А-III марки 25Г2С, а также допускается применять арматуру класса А-II марок ВСт5сп2 и ВСт5пс2 (при расчетной температуре до минус 30°C включительно) и класса А-IVС марки 25Г2С диаметром 0,010...0,014 м. В качестве поперечной арматуры и арматуры в поперечном направлении должна применяться гладкая арматурная сталь класса А-I марок ВСт3сп2, ВСт3пс2 и ВСт3Гпс2 диаметром 0,006...0,010 мм [1, 2].

Железобетонные плиты с ненапрягаемой арматурой должны изготавливаться из дорожного бетона класса по прочности на сжатие не менее В22,5 [3], а по требованиям СНиП [4] – не ниже В30. Поэтому диапазон варьирования класса бетона по прочности на сжатие следует принимать В20...В35.



Рис. 1. Схема САПР ненапряженных конструкций железобетонных плит и параметров колеиных покрытий автомобильных дорог

Вторая группа исходной информации (характеристики бетона и арматуры) основывается на данных СНиП [1, 2] и заложена в базе данных программы. В процессе расчета по заданному классу бетона по прочности на сжатие, по виду бетона и вяжущего материала и по классу арматуры определяется информация о расчетных и нормативных характеристиках бетона и арматуры.

Третья группа информации необходима для подбора и конструирования арматуры посредством перебора заданных вариантов армирования. При этом по видам и классам арматуры задаются диаметры и нижние границы площади сечения арматуры. Армирование плиты изменяется с шагом, равным площади сечения одного стержня заданного диаметра, до верхнего предела, устанавливаемого ограничениями по прочности, выносливости и трещиностойкости сечений, нормальных и наклонных в продольной и поперечной оси плиты.

Четвертая группа исходной информации дает представление о нагрузках и усилиях. Дорожные плиты рассчитываются на действие сосредоточенных сил от подвижных автотранспортных нагрузок и равномерно распределенной нагрузки от собственного веса. Информация об автотранспортных средствах задается статической нагрузкой, приходящейся на каждое колесо, и расстоянием между осями колес. Информация о нагрузках перерабатывается при расчете в данные о комбинации расчетных усилий по заданным сечениям плит.

Информация о задании на проектирование содержит данные в кодированной форме, задаваемые проектировщиком. Она характеризует тип решаемой задачи (оптимизацию конструкции, проверочный расчет и др.), вид методики определения расчетных усилий в зависимости от вида стыкового устройства между смежными плитами, количество расчетных сечений плиты, необходимость вывода основной, промежуточной или дополнительной информации и т.д.

Разработанная САПР позволяет определить оптимальные параметры железобетонных плит и железобетонных покрытий лесовоз-

ных автомобильных дорог с учетом конкретных производственных, эксплуатационных и экономических условий. Данные условия учитывают назначение и категорию лесовозной автомобильной дороги, объем перевозок лесоматериалов и интенсивность движения, многоосевую подвижную нагрузку от колес лесовозных автопоездов или других автотранспортных средств, продольный профиль автомобильной дороги, свойства грунтов земляного полотна и материала основания, материалы плиты и другие данные.

Оптимизация конструкций дорожных плит из различных видов бетона производится по минимуму удельных приведенных затрат. Данный критерий качественной и количественной оценки надежности конструкций железобетонных плит и железобетонного покрытия наиболее полно учитывает затраты на строительство и эксплуатацию дорожных покрытий, затраты на перевозку лесоматериалов по лесовозным автомобильным дорогам, а также эксплуатационные потери.

При расчете плит по предлагаемой методике армирование производится в соответствии с действующими расчетными усилиями (изгибающими моментами и поперечными силами) в рассматриваемом сечении, что обеспечивает равную прочность и трещиностойкость по всей длине плиты (рис. 2, таблица).

Из анализа диаграммы на рис. 2 и данных таблицы видно, что при расчете дорожных железобетонных плит по предлагаемой методике арматура распределяется по сечениям в продольном направлении в соответствии с действующими в них максимальными положительными $i_{\max}(n_{\dot{n}i^+})$ и отрицательными $M_{\min}(n_{\dot{n}i^-})$ изгибающими моментами. Неравномерное распределение продольной арматуры в верхней и нижней зоне плиты (показано на рис. 2 сплошными линиями) обеспечивает им высокую прочность и трещиностойкость [192]. При таком размещении арматуры в поперечном и продольном сечении плит экономится арматурная сталь и снижается стоимость плит (рис. 4).

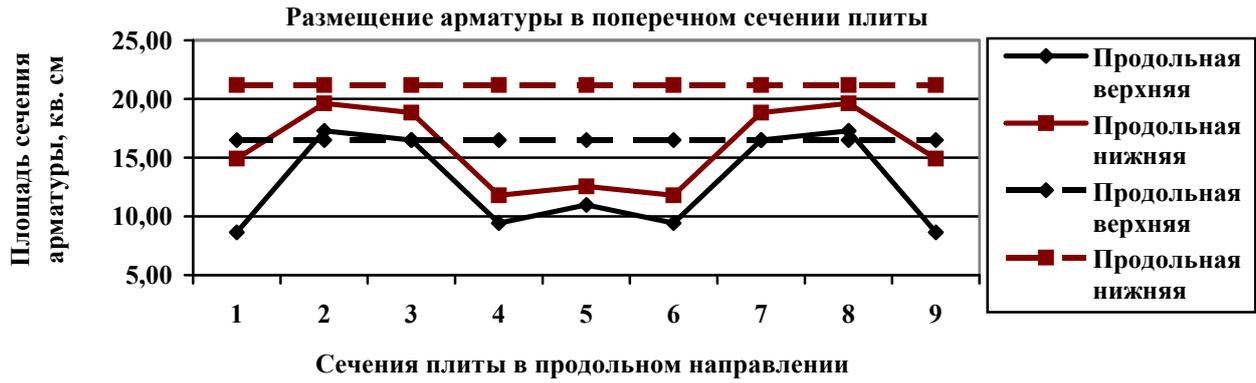


Рис. 2. Диаграмма распределения площади сечения продольной арматуры по сечениям плиты длиной 3,0 м, шириной 1,0 м, толщиной 0,14 м (существующая методика – пунктирные линии, предлагаемая методика – сплошные линии)



Рис. 3. Диаграмма распределения площади сечения арматуры по сечениям плиты длиной 3,0 м, шириной 1,0 м, толщиной 0,14 м в поперечном направлении

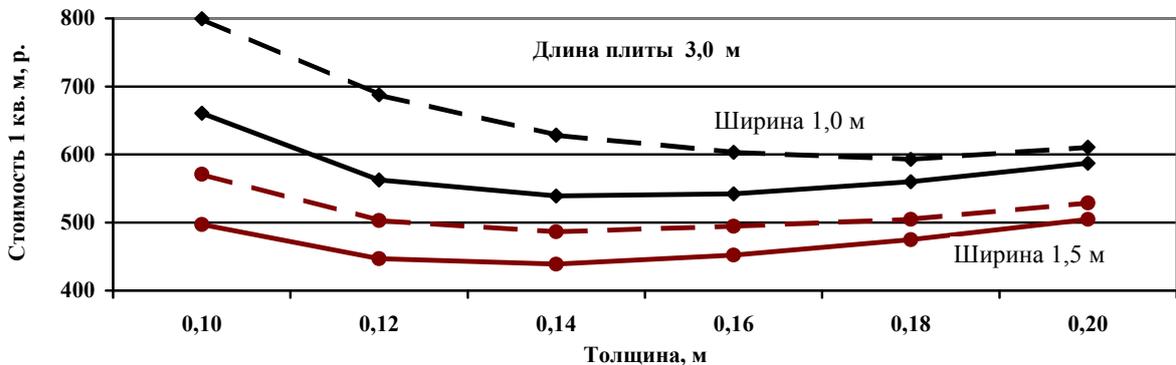


Рис. 4. Диаграмма зависимости стоимости 1 м² плиты от ее ширины и толщины при воздействии на колесопроводы покрытия колес лесовозного автопоезда МАЗ-509А+ГКБ-9383 (длина плиты 3,0 м, ширина 1,0 и 1,5 м, толщина 0,10...0,20 м)

**Размещение арматуры по сечениям плиты длиной 3,0 м, шириной 1 м
и толщиной 0,14 м**

Вид арматуры	Методика расчета	Количество стержней арматуры, шт., по сечениям плиты								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
В поперечном сечении плиты ($d = 10$ мм)										
верхняя	существующая	21	21	21	21	21	21	21	21	21
	предлагаемая	11	22	21	12	14	12	21	22	11
нижняя	существующая	27	27	27	27	27	27	27	27	27
	предлагаемая	19	25	24	15	16	15	24	25	19
В продольном сечении плиты ($d = 6$ мм)										
верхняя	существующая	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	предлагаемая	4	5	5	5	5	5	5	5	4
нижняя	существующая	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	предлагаемая	6	10	14	14	14	14	14	10	6

Аналогичная картина наблюдается при расчетах дорожных плит колеиных покрытий по предлагаемой методике в продольном сечении плиты (рис. 3).

Анализ данных на рис. 3 показывает, что условия прочности и трещиностойкости в сечениях плиты в поперечном направлении не выполняется при использовании существующей методики расчета дорожных плит (размещение арматуры показано пунктирными линиями). Для обеспечения требований расчета плит по несущей способности и по пригодности к нормальной эксплуатации необходимо выполнять размещение арматуры в соответствии с действующими расчетными усилиями в сечениях плит в поперечном направлении (сплошные линии на рис. 3).

Из диаграммы на рис. 4 видно, что методика определения расчетных усилий от действия внешней нагрузки влияет на армирование сечений плиты в продольном и поперечном направлении (сплошные линии). Стоимость 1 м² плиты, параметры которой определены по предлагаемой методике, значительно ниже аналогичной конструкции,

рассчитанной по существующей методике (пунктирные линии). Различие в стоимости плиты можно объяснить тем, что по существующей методике расчета конструкций дорожных плит определяется их равномерное армирование по всем сечениям в продольном и поперечном направлении плиты. Такое размещение рабочей арматуры в продольном и поперечном направлении плиты приводит к недостатку или избытку арматуры по различным сечениям. Недостаточное армирование сечений плиты вызывает снижение прочности и повышение трещиностойкости конструкции. Избыток арматуры обеспечивает повышение стоимости конструкций плит.

Диаграммы изменения величин максимальных изгибающих моментов в сечениях плит от воздействия колес лесовозных автопоездов, сформированных из различных автомобилей-тягачей и прицепа-ропусса ГКБ-9383, приведены на рис. 5. Расчетные схемы нагружения железобетонных плит колеиных покрытий подвижной нагрузкой от колес лесовозных автопоездов приведены на рис. 6.

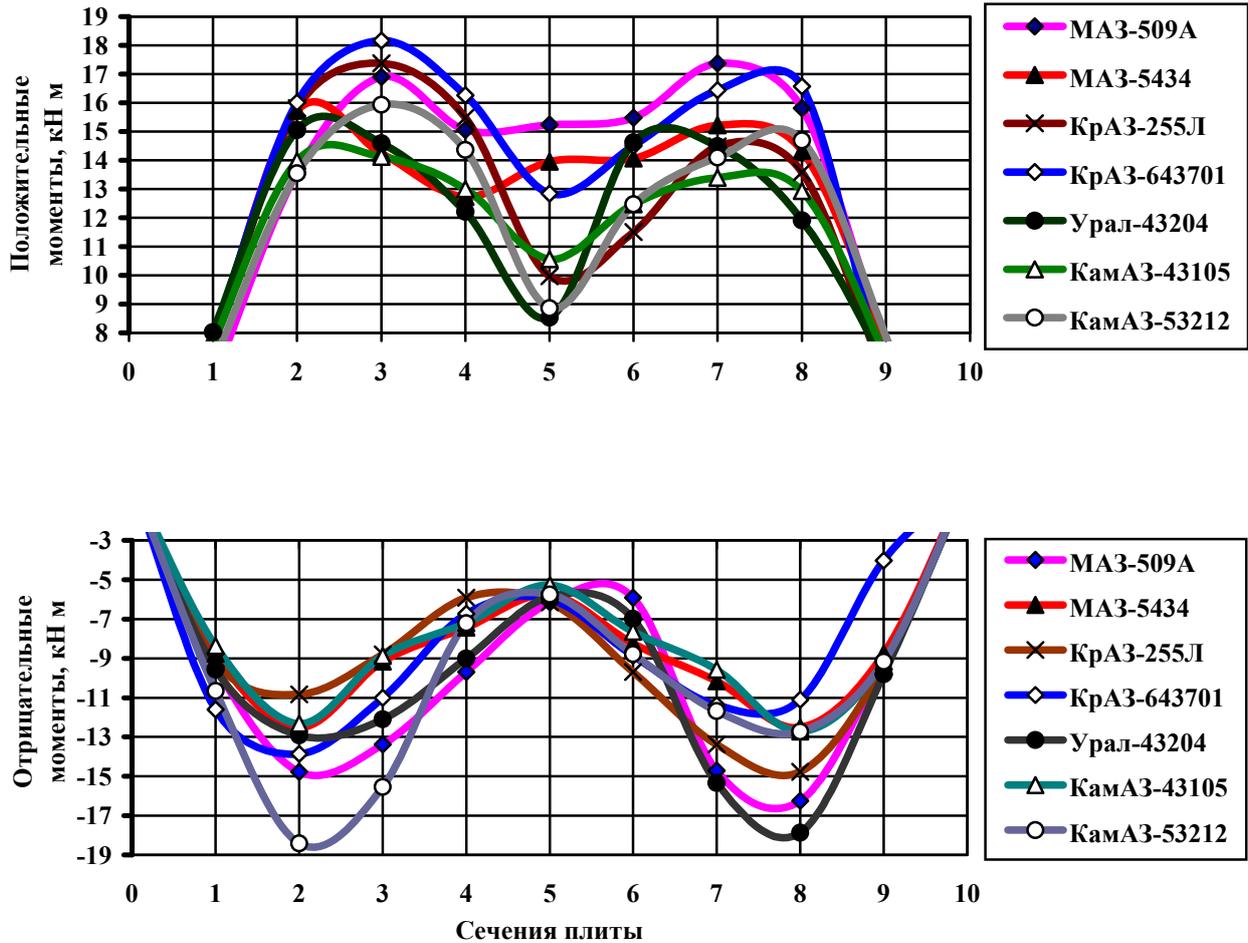


Рис. 5. Диаграммы распределения максимальных положительных и отрицательных моментов от воздействия на плиту колес лесовозных автопоездов (размеры плиты: длина – 3 м, ширина – 1 м, толщина – 0,14 м)

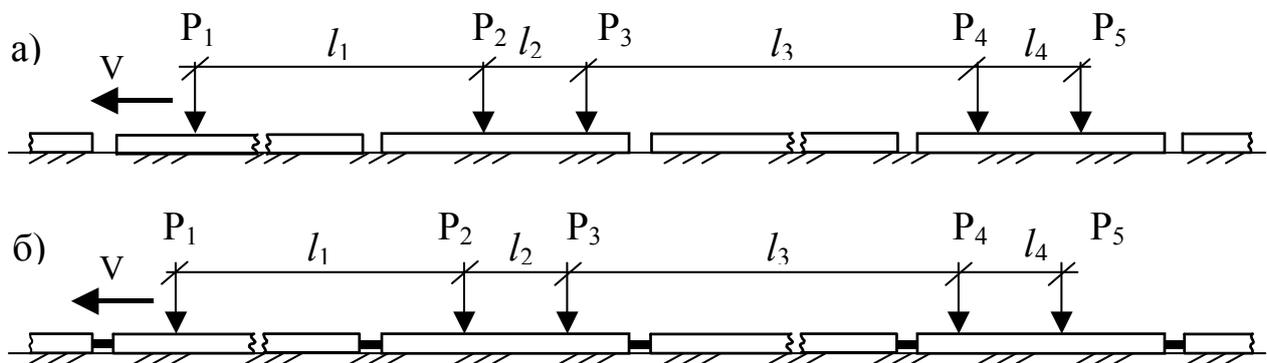


Рис. 6. Схемы нагружения плит kolejных покрытий системой подвижных нагрузок от колес лесовозного автопоезда: а) – при наличии упруго-податливых стыков; б) – при наличии сварных стыков

Экстремальные значения расчетных усилий возникают на расстоянии $(0,2...0,3)L$, что подтверждается стендовыми и производственными испытаниями железобетонных плит [5]. В данных сечениях возникают трещины при испытании дорожных плит, арматурные стержни в которых размещены равномерно в верхней и нижней зоне в продольном и поперечном направлении (показано на рис. 2 пунктирными линиями).

Применение разработанной САПР ненапряженных конструкций железобетонных плит и параметров колеиных покрытий автомобильных дорог обеспечивает:

- экономию денежных средств при расчете дорожных плит за счет автоматизированного проектирования, сокращения сроков и повышения качества проектирования, снижения трудозатрат на проектные работы;
- получение экономичных конструкций плит из различных видов бетона;
- снижение удельных приведенных затрат на строительство и эксплуатацию колеиных покрытий, на перевозку лесомате-

риалов при оптимизации параметров плит по данному критерию;

- снижение себестоимости перевозок лесоматериалов за счет повышения эксплуатационных качеств колеиных покрытий из железобетонных плит;
- снижение эксплуатационных потерь за счет повышения надежности колеиных покрытий из железобетонных плит.

Список литературы

1. Бетонные и железобетонные конструкции: СНиП 2.03.01-84 / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 79 с.
2. Бетонные и железобетонные конструкции из плотного силикатного бетона: СНиП 2.03.02-86 – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1987. – 24 с.
3. ОСТ 13-79-85. Плиты железобетонные для покрытий автомобильных лесовозных дорог. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 21 с.
4. Промышленный транспорт: СНиП 2.05.07-91* / Минстрой России. – М.: ГП ЦПП, 1996. – 112 с.
5. Савельев, В.В. Совершенствование конструкций железобетонных плит из мелкозернистых бетонов для колеиных покрытий лесовозных автомобильных дорог. Дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / В.В. Савельев. – Йошкар-Ола, 1997. – 271 с.

ТЕХНОЛОГИЯ ВОДНОЙ ДОСТАВКИ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ В СОРТИМЕНТНЫХ И ХЛЫСТОВЫХ ПЛОТАХ

А.Ю. МАНУКОВСКИЙ, доц. каф. транспорта леса и инженерной геодезии ВГЛТА, канд. техн. наук

Плоты как лесотранспортные единицы Изготавливаются в настоящее время на складах – плотбищах в соответствии с «Правилами (техническими условиями) сплотки, формирования и оснастки плотов».

Правила или технические условия на плоты разрабатываются для конкретного бассейна и утверждаются по результатам межведомственных приемочных испытаний.

На плоты, предназначенные для буксировки в пределах пароходства, правила согласовываются с судоходными инспек-

циями бассейнов и утверждаются лесопромышленным объединением и управлением пароходства.

При организации плотового лесосплава взаимоотношения между лесосплавающими организациями и пароходствами регламентируются «Уставом внутреннего водного транспорта» и «Правилами буксировки плотов».

Пароходство совместно с судоходной инспекцией разрабатывает и утверждает порядок буксировки плотов по каждой трассе бассейна.



Технология буксировки плотов зависит от транспортно-путевых, гидрологических и метеорологических условий конкретной плотовой трассы.

В технологии по буксировке указывают: конкретные участки трассы буксировки плотов; конструкцию, габариты и объем плотов; мощность буксировщиков и техническую скорость продвижения плетосоставов по периодам навигации; обеспеченность средствами управления на отдельных участках; рекомендуемые места остановки с плотами в зависимости от уровней воды; места встречи плотов перед пунктами приплава в зависимости от уровня воды; места встречи плотов перед пунктами приплава и возможное число одновременно прибывающих плотов; наиболее затруднительные места, требующие особого внимания при буксировке, и места, рекомендуемые для временного отстоя плотов; места переформирования и порядок пропуска через гидротехнические сооружения.

Основными лесотранспортными бассейнами в нашей стране являются Северо-

Западный, Северо-Двинский; Волжско-Камский, Обь-Иртышский, Ангаро-Енисейский, Байкальский, Ленский, Амуро-Зейский. Для каждого бассейна существует своя конструкция плота, причем во многих бассейнах эксплуатируются одновременно несколько типов плотов.

Рекомендуемые ЦНИИЛесосплава новые конструкции плотов без оплотника, построенные из общих для всех конструкций элементов, предусматривают общую технологию формирования, имеют типовые узлы крепления и типовой такелаж. Схема формирования плотов может быть использована для различных условий и бассейнов страны (рис. 1).

Согласно схеме (рис. 1) буксируемый плот формируется из отдельных секций. Если на трассе имеются шлюзы, буксируемый плот составляется из шлюзуемых плотов, которые представляют собой группу соединенных между собой секций с габаритом, обеспечивающим одновременное шлюзование и их крепление для самостоятельной буксировки.

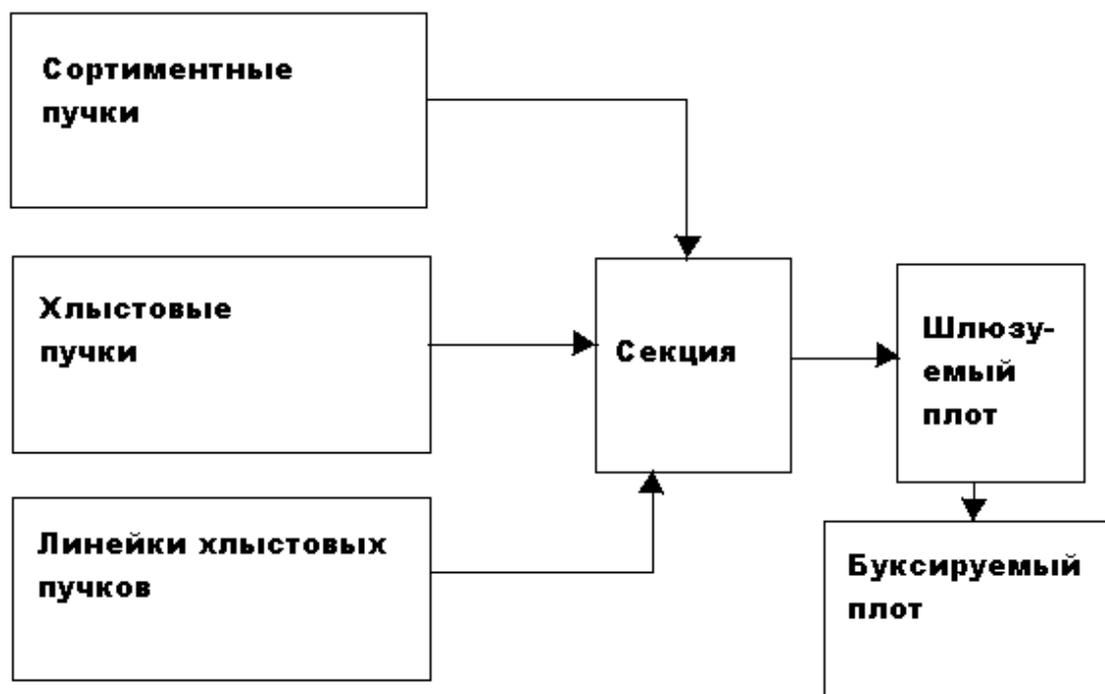


Рис. 1. Схема формирования плотов

Таблица 1

Допускаемая продолжительность нахождения в воде сплоченных единиц лиственной древесины

Порода, период заготовки, объем и вид подплава	Допускаемая продолжительность нахождения пучков (объемом 5 м ³ для бревен и 18 м ³ для хлыстов)		
	Без гидроизоляции торцев		С гидроизоляцией торцев бревен
	бревен	хлыстов	
Береза всего периода заготовки (исключая апрель – май)			
Без подготовки	45	70	75
Без подготовки с подплавом:			
30% осины текущей заготовки	70	85	90
50% осины текущей заготовки	80	100	105
30% осины после транспирационного обезвоживания или атмосферной сушки	90	110	105
10% хвойной древесины	70	110	100
20% хвойной древесины	100	150	130
Береза заготовленная в период апрель – май			
Без подготовки с подплавом 30% хвойной древесины	80	140	
Береза после транспирационного обезвоживания	100	150	160
Осина, липа, ольха			
Без подготовки:			
Заготовка в течение всего периода (исключая апрель – май)	90	100	120
Заготовка в апреле – мае	–	100	–
После транспирационного обезвоживания	110	140	150

Таким образом, основной формирующей единицей в типовой конструкции плота является секция, от ее габарита зависят размеры формирующего такелажа.

Секции плотов могут отличаться не только расположением формирующих связей, но и расположением пучков в самой секции: поперечным, смешанным, с хлыстовой габаритной обортовкой.

Такие конструкции секций позволяют сформировать плот любых параметров, отвечающий условиям буксировки и мощности бу сировщиков в данном бассейне.

В современных плотках для крепления формирующего такелажа применяют следующие типовые узлы: оплотник, бруствер, секционный счал, счал поверху, счал в обхват, пластинчатые сжимы. В качестве формирующего такелажа применяются: формирующий канат-лежень, формирующие комплекты, пластинчатые сжимы и коуши.

С целью ликвидации потерь лесоматериалов при водной доставке плотов из сортиментных и хлыстовых пучков рекомендуются сроки доставки и величина подплава для древесины с необеспеченной плавучестью (таблица).

Технологический процесс на береговых складах имеющих плотбища, для сплотки сортиментных пучков, проектируется на базе сплоточно-транспортных и транспортно-штабелевочных агрегатов.

Сплотка лесоматериалов проводится в лесонакопителях сортировочного конвейера, доставка и установка готовых пучков в плот транспортными агрегатами типа В-43.

Особенностью береговой сплотки хлыстов является место образования пучков. Сплотка хлыстов происходит на автопоездах, где их обвязывают катанкой или цепными комплектами. После их укладывают в плоты.

Сплотка и обвязка хлыстовых пучков проводятся на лесовозном автомобиле с

прицепом и совмещаются во времени с погрузкой на автомобиль хлыстов. По прибытии лесовоза с пачкой хлыстов на плотбище агрегат В-435 или В-53 на колесном шасси вплотную подходит к лесовозному автомобилю с прицепом, пучок обносится стальными канатами, а затем лебедкой перемещается на агрегат.

Таким образом, как показали исследования, технология доставки лесоматериалов в плотках береговой сплотки, обеспечивает доставку без потерь древесины, норму предельного содержания древесной массы в воде, минимизацию воздействия на экологические системы водоемов.

Сплотка лесоматериалов проводится в лесонакопителях сортировочного конвейера, доставка и установка готовых пучков в плот транспортными агрегатами типа В-43.

Особенностью береговой сплотки хлыстов является место образования пучков. Сплотка хлыстов происходит на автопоездах, где их обвязывают катанкой или цепными комплектами. После их укладывают в плоты.

Сплотка и обвязка хлыстовых пучков проводят на лесовозном автомобиле с прицепом и совмещаются во времени с погрузкой на автомобиль хлыстов. По прибытии лесовоза с пачкой хлыстов на плотбище агрегата В-435 или В-53 на колесном шасси вплотную подходит к лесовозному автомобилю с прицепом, пучок обносится стальными канатами, а затем лебедкой перемещается на агрегат.

Таким образом, как показали исследования, технология доставки лесоматериалов в плотках береговой сплотки, обеспечивает доставку без потерь древесины, норму предельного содержания древесной массы в воде, минимизацию воздействия на экологические системы водоемов.

ВЫБОР СИСТЕМЫ МАШИН ЛЕСОТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕССА

В.Я. ЛАРИОНОВ, *проф. каф. транспорта леса МГУЛа,*

В.И. КОТЛЯР, *проф. каф. транспорта леса МГУЛа,*

Д.М. ЛЕВУШКИН, *асп. каф. транспорта леса МГУЛа*

Основной задачей логистики лесного комплекса является продвижение лесопродукции от производителя к потребителю с минимальными затратами и в минимальные сроки.

Логистические расходы, как показывают исследования, могут достигать до 50 % стоимости продукта. Высокая доля расходов на логистику показывает резервы улучшения показателей хозяйственной деятельности путем оптимизации управления материальными потоками. Поэтому снижение затрат на погрузку, транспортировку, разгрузку, складирование, хранение и другие операции, обеспечивающие продвижение лесопродукции, является важной проблемой.

Одной из первоочередных задач этой проблемы является оптимизация системы машин транспортного процесса по их количеству, типам и типоразмерам (на погрузке, вывозке и разгрузке леса).

Для осуществления лесотранспортного процесса имеется большая гамма машин. Это механизмы для раздельной погрузки и разгрузки леса, имеющие различную грузоподъемность, это и механизмы для самопогрузки и саморазгрузки автопоездов и различные типы лесовозных автопоездов. Правильный выбор системы машин для технологического цикла вывозки леса позволяет существенно уменьшить себестоимость заготовленной древесины, что особенно важно для лесозаготовительной отрасли, т. к. коэффициент использования пробега лесовозных автопоездов по сравнению с автотранспортом общего пользования очень низкий и составляет около 0,5.

При выборе системы машин возможно решение следующих задач:

1. Комплектование парка машин с определенными технологическими параметрами для выполнения расчетного объема вывозки леса в заданные сроки. При этом количество выбираемых машин не ограничено;

2. Выбор машин с определенными техническими параметрами и определение периода времени, за который система машин может выполнить расчетный объем вывозки леса. Количество машин при этом ограничено;

3. Выбор машин с определенными техническими параметрами и определение объема вывозки леса, который система машин может выполнить в расчетный период времени. При этом количество машин также ограничено.

Рассмотрим подробнее перечисленные задачи расчета системы машин для вывозки леса. Технологические операции транспортного процесса выполняют машины различных типов и типоразмеров.

Необходимо найти такое сочетание параметров машин, при котором полученная система U_p , состоящая из множества K_{ij} типов и множества M_{ij} типоразмеров машин, обеспечит безусловное выполнение объема вывозки леса при экстремуме функции цели.

Прежде всего система машин формируется по признакам технологической совместимости

$$U_{ij} \supset K_{ij} \supset M_{ij}$$

$$U_p = A_{ij} \cap K_{ij} \cap M_{ij},$$

где A_{ij} – множество технологических процессов;

p – количество систем машин;

i – количество операций;

j – количество типоразмеров машин.

Кроме того, имеют место соотношения:

в задаче 1 – объем работ Q_p , выполняемый системой машин в заданный период времени T_r , должен быть не меньше расчетного объема вывозки леса Q_r

$$Q_p = f(U_p, \dot{I}_p, T_r) \geq Q_r,$$

где Π_p – производительность системы машин.

Количество машин каждого типоразмера N_{ij} не ограничено. Тогда система машин есть функция

$$U_p = f(Q_r, T_r, N_{ij}, \dot{I}_{ij});$$

в задаче 2 – период времени T_r , в течение которого будет вывезен расчетный объем леса Q_r

$$T_r = f(U_p, \dot{I}_p, Q_r).$$

Количество машин каждого типоразмера N_{ij} не должно превышать их общего количества в парке N_{ij}^*

$$N_{ij} \leq N_{ij}^*.$$

Система машин есть функция

$$U_p = f(Q_r, N_{ij}^*, \dot{I}_{ij}^*);$$

в задаче 3 – объем работ Q_p , выполняемый системой машин в расчетный период времени T_r

$$Q_p = f(U_p, \dot{I}_p, T_r).$$

Система машин есть функция

$$U_p = f(T_r, N_{ij}^*, \dot{I}_{ij}^*).$$

Здесь также выполняется ограничение

$$N_{ij} \leq N_{ij}^*.$$

Функция цели является единой для всех трех рассматриваемых задач

$$W_p = f(U_p, \dot{I}_p).$$

В качестве функции цели можно использовать такие показатели, как суммарные приведенные затраты, себестоимость 1 м^3 , себестоимость $1 \text{ м}^3 \cdot \text{км}$, расходы на лесотранспортный процесс, прибыль и др. По смыслу показателей первые четыре минимизируются, а последний – максимизируется. Однако окончательный выбор системы машин рекомендуется производить после анализа не только критерия W_p , но и ряда эксплуатационно-технических показателей лесотранспортного процесса таких, как производительность системы машин, выработка на одного рабочего, трудозатраты и другие.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГИДРОПРИВОДА ЛЕСОСЕЧНЫХ МАШИН

А.И. ПАВЛОВ, доц. каф. транспортно-технологических машин МарГТУ, канд. техн. наук

В данной статье проведены результаты исследований приспособленности гидропривода и его элементов к диагностированию; определены доступность, удобство, легкосъемность диагностической информации, информативность параметров диагностирования; обоснована возможность определения общего технического состояния гидропривода в функциональном и тестовом режимах.

Для исследования используются аналитические и графоаналитические методы, хорошо разработанные в теории автоматического управления [1, 2].

Все операции лесосечных машин выполняются с помощью технологического оборудования, приводимого в действие гидроприводом, состоящим из следующих основных элементов: гидроцилиндра, трубопроводов, рукавов высокого давления (гидропривода рукояти), гидрораспределителя и насоса. Гидроприводы различных лесосечных машин отличаются только размерами и положением этих элементов. Поэтому в качестве расчетной можно выбрать эквивалентную схему гидропривода рукояти трактора ТБ-1М, получившего наибольшее применение в северных регионах России.

Расчетная схема гидропривода показана на рис. 1.

Она состоит из гидроцилиндра 1, разделенного на штоковую и поршневую полости, эквивалентных резиновых трубопроводов 2, металлических трубопроводов 3, гидрораспределителя 4 и гидронасоса 5.

Нагрузки, действующие в гидроприводе, приведены к штоку гидроцилиндра.

При аналитическом исследовании гидропривода в качестве диагностического параметра принято изменение давления в напорной полости гидроцилиндра. Этот параметр экспериментально легко измеряется внешними средствами диагностирования, в качестве которых могут быть использованы тензометрические датчики давления типа ТДД, выпускаемые промышленностью.

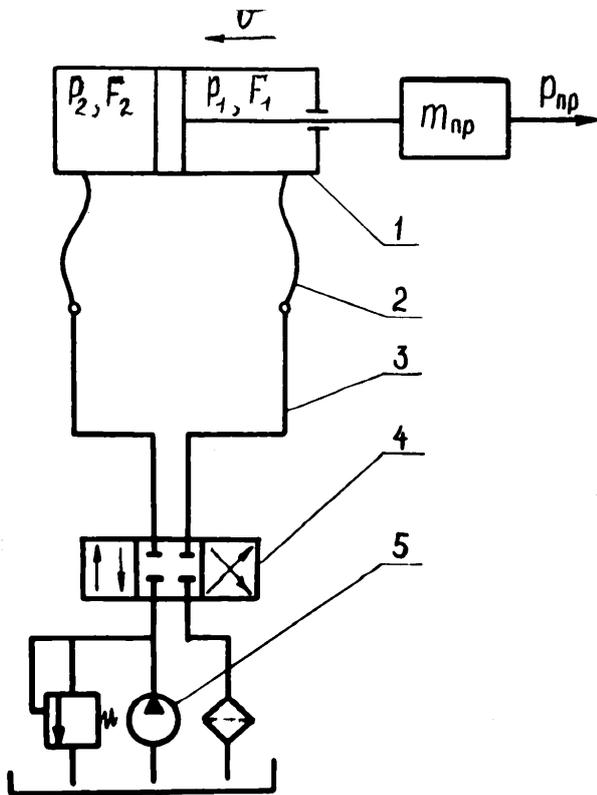


Рис. 1. Эквивалентная расчетная схема гидропривода рукоятки трактора ТБ-1М

Влияние структурных параметров состояния элементов гидропривода на диагностический параметр исследуется в переходном режиме, создаваемом единичным импульсным воздействием с помощью золотника гидрораспределителя.

Гидроприводы лесосечных машин состоят из физически разнородных элементов: гидравлических, механических и электрических.

Система дифференциальных уравнений должна описывать совокупность разнородных элементов, составляющих данную конструкцию.

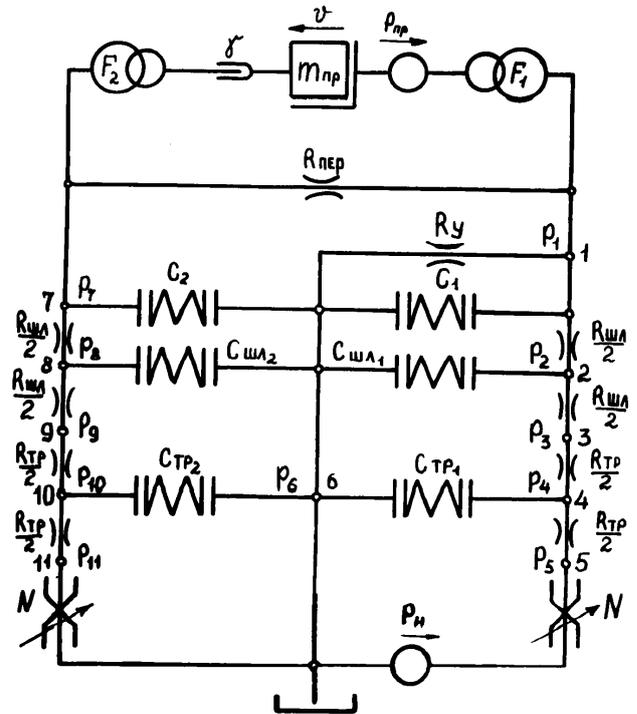


Рис. 2. Гидромеханическая цепь гидропривода рукоятки трактора ТБ-1М

Для разработки математической модели гидропривода использован унифицированный метод математического описания механизмов при помощи гидромеханических цепей, позволяющий наглядно представить взаимодействие элементов гидропривода. Изображение механических систем в форме цепи используется в работах [3, 4].

Полученная гидромеханическая цепь гидропривода рукоятки показана на рис. 2.

При составлении цепи учтены следующие факторы и приняты допущения:

1. Гидроцилиндр нагружен постоянной силой $D_{ш} = m_{ш} \cdot q$, направленной в сторону штоковой полости.

2. Начальное положение системы: груз поднят, окна золотникового распределителя открыты.

лителя закрыты (на рис. 2 показано положение системы при создании импульсного воздействия – окна золотника открыты).

3. Маслопроводы состоят из участков трубопроводов, характеризующихся гидравлическими сопротивлениями $R_{\partial\partial}$, $R_{\partial e}$ и податливостями $\tilde{N}_{\partial\partial}$, $\tilde{N}_{\partial e}$, причем сопротивления напорной и сливной магистралей приняты равными, а податливости – различными.

4. Полости гидроцилиндра характеризуются активными площадями F_1 и F_2 и податливостями \tilde{N}_1 и \tilde{N}_2 .

5. Сопротивление трения поршня о гильзу цилиндра принято пропорционально первой степени скорости и учитывается линейным сопротивлением трения γ . Это допущение вызвано тем, что при режиме диагностики путь поршня (путь трения) очень мал, поэтому нелинейными свойствами гидроцилиндра можно пренебречь.

6. Перетечки масла из напорной полости в сливную оцениваются гидравлическими сопротивлениями $R_{\partial\partial}$, утечки – R_o .

7. Гидрораспределитель представлен нелинейными гидравлическими сопротивлениями N_1 и N_2 , которые в силу конструктивных особенностей равны $N_1 = N_2 = N$.

Для программирования на ЭВМ необходимо провести анализ гидромеханической цепи. Получаемые при этом дифференциальные уравнения принято называть компонентными топологическими уравнениями гидромеханической цепи [3].

Так как цепь включает гидроцилиндр с различными активными площадями полостей, то для анализа цепи следует воспользоваться методом узлов [3].

Правилу узлов соответствуют уравнения

$$\sum_{l=1}^e Q_l = 0, \quad \sum_{i=1}^e v_i = 0, \quad (1)$$

то есть алгебраическая сумма расходов либо скоростей, подводимых к узлу и отводимых от узла, равна нулю.

Более строгое обоснование правила контуров и узлов для механических систем и приведено в работе [3].

Разработанная математическая модель содержит одну «длинную» ветвь, которая считается как один элемент, и пять узлов. Поэтому для цепи необходимо составить одно уравнение «длинной» ветви и пять уравнений узлов.

Математическая модель позволяет проводить исследование отдельно поршневой и штоковой полости гидропривода. Полученная система уравнений штоковой полости имеет следующий вид

$$\begin{aligned} P_7 \cdot F_1 - P_{7D} \cdot \frac{dV}{dt} + \gamma \cdot V &= 0, \\ \frac{2}{R_{\partial E}}(P_2 - P_1) - C_1 \frac{dP_1}{dt} - \frac{1}{R_y} \cdot P_1 - \frac{1}{R_{\partial D}}(P_1 - P_2) - F_1 \cdot V &= 0, \\ \frac{2}{R_{\partial E}}(P_3 - P_2) - \frac{2}{R_{\partial E}} \cdot (P_2 - P_1) - C_{\partial E} \cdot \frac{dP_2}{dt} &= 0, \quad (2) \\ \frac{2}{R_{\partial D}}(P_4 - P_3) - \frac{2}{R_{\partial E}} \cdot (P_3 - P_2) &= 0, \\ \frac{2}{R_{\partial D}}(P_5 - P_4) - \frac{2}{R_{\partial D}} \cdot (P_4 - P_3) - C_{\partial D} \cdot \frac{dP_4}{dt} &= 0, \\ \frac{1}{N} \sqrt{P_5} - \frac{2}{R_{\partial D}} \cdot (P_5 - P_4) &= 0. \end{aligned}$$

Закон движения поршня в переходном процессе принят следующим

$$\delta = A \cdot \dot{a}^{-m} \cdot \text{Sin}(k_c \cdot t), \quad (3)$$

где A – начальная амплитуда колебаний;

K_c – круговая частота колебаний;

t – время затухания.

При составлении программы расчета была учтена необходимость многократного повторения вычисления одних и тех же дифференциальных уравнений.

Для исследования переходных характеристик гидропривода с помощью ЭВМ определяются значения параметров состояния его элементов [4,5].

В результате аналитических исследований гидропривода рукояти машины ТБ-1М получены кривые переходного процесса, имеющие вид, показанный на рис. 3.

Данные кривые представляют собой затухающие колебания давления рабочей жидкости в напорной полости гидроцилиндра рукояти, которые можно описать законом

$$\delta = A \cdot \hat{a}^{-nt} \cdot \text{Sin}(\hat{e}_n \cdot t + \alpha), \quad (4)$$

где x – динамическая составляющая знакопеременной нагрузки $D_{\text{дв}} = D_0 + \delta$;
 A – начальная амплитуда колебаний;
 n – коэффициент сопротивления системы;
 $\hat{e}_n = \frac{2\pi}{T}$ – круговая частота колебаний;
 T – период колебаний;
 α – начальная фаза колебаний.

Анализируя уравнение 4, можно выделить три критерия для описания кривых переходного процесса: начальную амплитуду колебаний, период колебаний и параметр, определяющий темп затухания свободных колебаний.

Последний критерий принято называть логарифмическим декрементом колебаний, определяемым выражением

$$\delta = \frac{1}{n} \cdot \ln \frac{a_i}{a_i + n}, \quad (5)$$

где a_i и $a_i + n$ – амплитуды колебаний в начале и конце интервала из n циклов.

Вычисление декремента на участке $i + 1$ можно несколько упростить, представив выражение $\ln \frac{a_i}{a_{i+1}}$ в виде

$$\delta = \ln \frac{a_i}{a_{i+1}} = 2 \cdot \frac{a_i - a_{i+1}}{a_i + a_{i+1}} + \frac{1}{3 \cdot 2^2} \cdot \left(2 \cdot \frac{a_i - a_{i+1}}{a_i + a_{i+1}} \right)^3 + \dots + \frac{1}{(2n+1) \cdot 2^{2n}} \cdot \left(a \cdot \frac{a_i - a_{i+1}}{a_i + a_{i+1}} \right)^{2n+1} + \dots \quad (6)$$

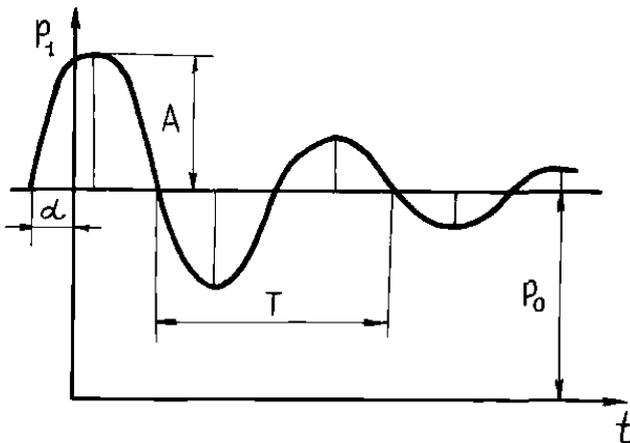
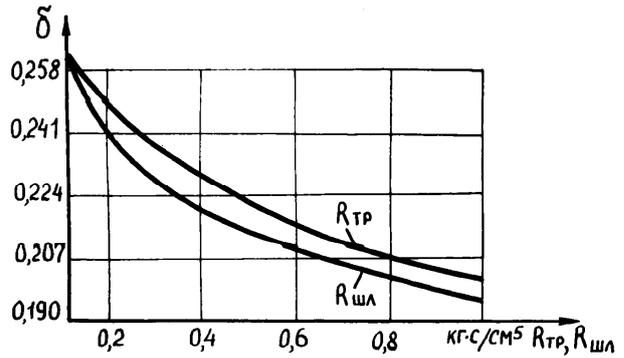
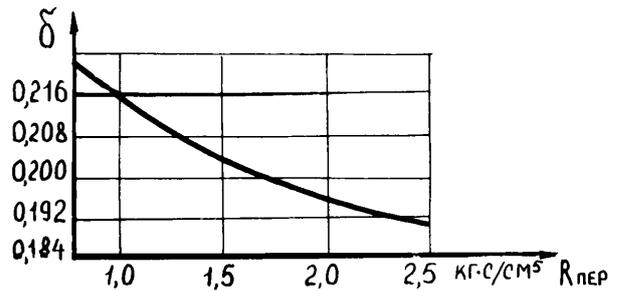


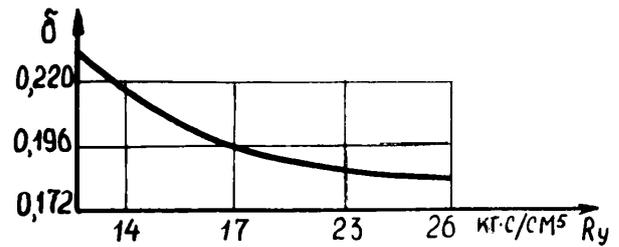
Рис. 3. Кривая изменения давления в штоковой полости гидроцилиндра рукоятки (переходного процесса)



(а)



(б)



(в)

Рис. 4. Зависимости логарифмического декремента колебаний давления в гидроприводе (δ) от гидравлических сопротивлений его элементов: а) трубопроводы и РВД; б) и в) гидроцилиндр

С достаточной степенью точности (4 %) можно принять

$$\delta = 2 \cdot \frac{a_i - a_{i+1}}{a_i + a_{i+1}}. \quad (7)$$

Среднее значение декремента колебаний на участке с числом циклов n определится в этом случае формулой

$$\delta = \frac{\Delta a_i}{n \cdot a_{\text{ср}}}, \quad (8)$$

где $a_{\text{ср}} = \frac{a_i + a_{i+n}}{2}$ – средняя амплитуда на участке.

На рис. 4 и 5 показаны зависимости логарифмического декремента колебаний от изменения гидравлических сопротивлений и податливостей элементов гидропривода (характеризующих наличие неисправностей).

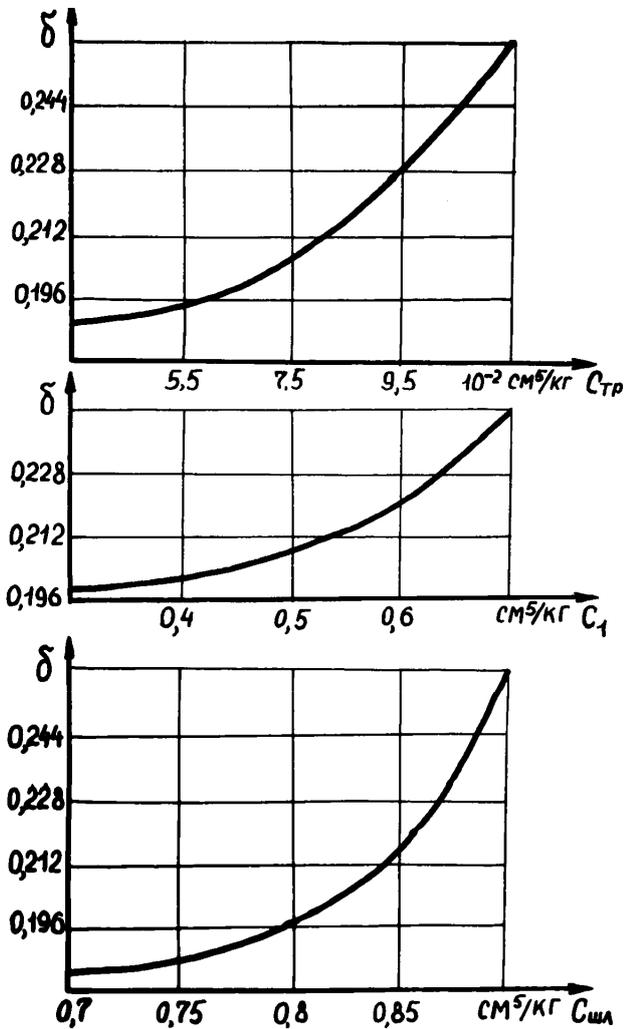


Рис. 5. Зависимости логарифмического декремента колебаний давления в гидроприводе (δ) от объемных деформаций (податливостей) его элементов

Выводы

1. Определение технического состояния гидропривода в целом без его разборки можно проводить по параметрам переходного колебательного процесса, задаваемого режимом диагностирования. Колебательный

процесс может быть записан с помощью тензометрических датчиков давления типа ТДЦ-100(200) в напорной гидрوليнии.

2. В качестве диагностического признака может быть использован логарифмический декремент колебаний системы (δ), являющийся достаточным для проверки работоспособности гидропривода.

3. Изменение упругих свойств элементов гидропривода оказывает значительное влияние на колебательные процессы в гидроприводе. Так, уменьшение коэффициента податливости рукавов высокого давления от 0,7 до 0,4 приводит к уменьшению (δ), т.е. потеря упругих свойств РВД увеличивает длительность колебательного процесса, происходящего в гидроприводе, что является нежелательным явлением, так как вызывает усталостные разрушения.

4. Увеличение гидравлического сопротивления элементов гидропривода за счет появления микротрещин, микроразрывов, увеличения шероховатости внутренних рабочих полостей также приводит к уменьшению логарифмического декремента колебаний.

5. Изменение (δ) может характеризовать только общее техническое состояние гидропривода без указания неисправности конкретного элемента, поэтому необходима разработка методов и средств тестового диагностирования его элементов, позволяющих определять техническое состояние конкретного элемента.

Список литературы

1. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных систем. – М.: Энергия, 1977. – 536 с.
2. Александров В.А. Проектирование специальных лесных машин. – Л.: РИО ЛТА, 1977. – С. 51.
3. Норенков И.П. Введение в автоматизированное проектирование технических устройств и систем. – М.: Высш. школа, 1980. – 311 с.
4. Владиславлев А.П., Мессерман А.С. Электрическое моделирование систем с распределенными параметрами. – М.: Энергия, 1978. – 224 с.
5. Хандрос А.Х., Молчановский Е.Г. Динамика и моделирование гидроприводов станков. – М.: Машиностроение, 1969. – 156 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ОТКАЗОВ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОПРИВОДА ЛЕСОСЕЧНЫХ МАШИН

А.И. ПАВЛОВ, доц. каф. транспортно-технологических машин МарГТУ, канд. техн. наук

Вероятности отказов элементов гидропривода лесных машин зависят в значительной степени от времени года. Это особенно важно, поскольку в Европейской части России зимний период длится около 7 месяцев.

Зимним считается период эксплуатации, когда температура наружного воздуха устанавливается ниже плюс 5° С.

Рассмотрим вероятности отказов элементов гидропривода на примере рукавов высокого давления (РВД) в летний и зимний периоды эксплуатации. Для этого введем следующие обозначения событий:

1. A – отказ РВД.
2. B_1 – температура в летний период эксплуатации.
3. B_2 – температура в зимний период эксплуатации.

Применяя формулу полной вероятности событий, определим вероятность отказа трубопровода

$$P(A) = P(B_1) \cdot P(A/B_1) + P(B_2) \cdot P(A/B_2), \quad (1)$$

где $P(A/B_1)$ и $P(A/B_2)$ – условные вероятности отказа трубопроводов в различные периоды эксплуатации.

Так как события B_1 и B_2 образуют полную группу несовместных событий, то сумма их вероятностей равна единице

$$\sum_{i=1}^n P_i = 1, \quad P(B_1) + P(B_2) = 1. \quad (2)$$

Зная периоды летней и зимней эксплуатации для северных районов, можно найти вероятности событий B_1 и B_2

$$P(B) = n_N / n_K, \quad (3)$$

где n_N – количество месяцев соответствующего периода эксплуатации;

n_K – общее количество месяцев в году.

$$P(B_1) = 5/12 = 0,417; \quad P(B_2) = 7/12 = 0,583.$$

Учитывая, что в зимний период эксплуатации ресурс резиновых трубопроводов приблизительно в 2,5 раза меньше ресурса при эксплуатации их летом, получим урав-

нение вероятности отказа трубопроводов при их различной наработке t_i

$$P(A)_{ii} = P(B_1) \cdot P(A/B_1)_{ii} + P(B_2) \cdot P(A/B_2)_{0,4 t_i}. \quad (4)$$

Введем следующие допущения

$$f_{1/i} \cdot P(A/B_1)_{ii} = f_{2/0,4 t_i} \cdot P(A/B_2)_{0,4 t_i}, \quad (5)$$

$$f_{2/i} \cdot P(A/B_2)_{ii} = f_{1/2,5 t_i} \cdot P(A/B_1)_{0,4 t_i}, \quad (6)$$

где $f_{1/i}$ – собственная частота колебаний трубопровода с жидкостью при соответствующей наработке в условиях летней эксплуатации;

$f_{2/i}$ – то же при зимней эксплуатации.

Решая совместно уравнения (4), (5) и (6), определяем вероятности отказа трубопроводов при их летней и зимней эксплуатации

$$P(A/B_1)_{ii} = P(A)_{ii} / [P(B_1) + P(B_2) \cdot f_{1/i} / f_{2/0,4 t_i}], \quad (7)$$

$$P(A/B_2)_{ii} = P(A)_{2,5 t_i} / [P(B_2) + P(B_1) \cdot f_{2/i} / f_{1/2,5 t_i}]. \quad (8)$$

Подставляя в уравнения (7) и (8) определенные значения вероятностей событий B_1 и B_2 , получим расчетные уравнения

$$P(A/B_1)_{ii} = P(A)_{ii} / [0,417 + 0,583 \cdot f_{1/i} / f_{2/0,4 t_i}], \quad (9)$$

$$P(A/B_2)_{ii} = P(A)_{2,5 t_i} / [0,583 + 0,417 \cdot f_{2/i} / f_{1/2,5 t_i}]. \quad (10)$$

В результате экспериментальных исследований [2] установлено, что в течение всего срока службы лесозаготовительная машина совершает около 573000 рабочих циклов, что соответствует 4000 моточасам наработки. За каждый рабочий цикл в гидроприводе наблюдается около 12,3 выбросов давления жидкости (изменение давления жидкости в напорной полости гидропривода рукояти при обработке предмета труда). Это дает основание для нахождения соотношения между количеством циклов нагружения трубопроводов при их лабораторном испытании и временем наработки машины в моточасах.

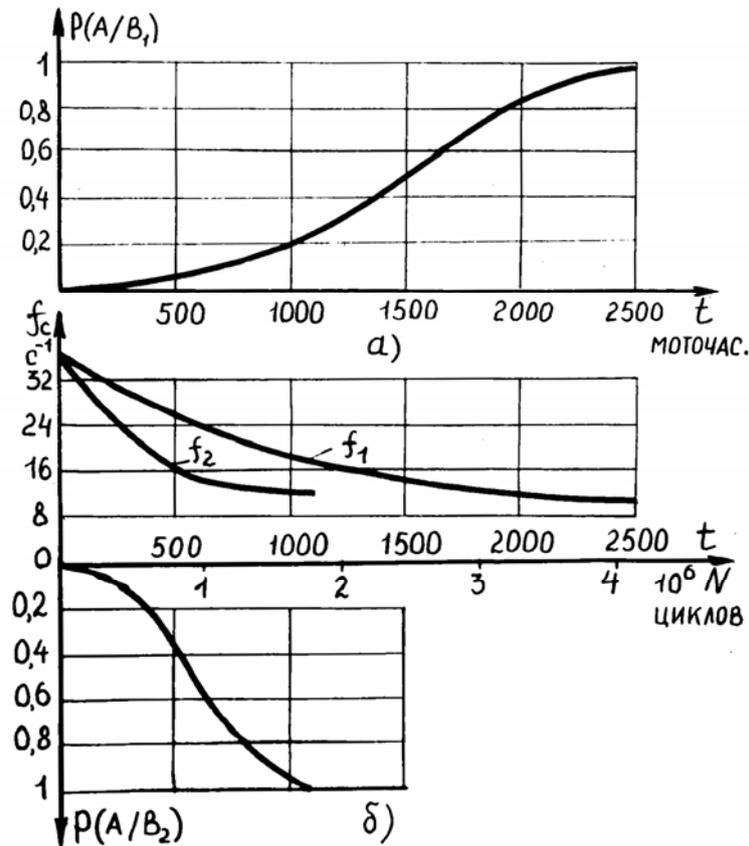


Рис. 1. Вероятности отказов рукавов высокого давления

Подставляя в уравнения (9) и (10) значения расчетных вероятностей $P(A)_{ii}$ и полученных экспериментально значений собственных частот колебаний трубопроводов (длиной 1,17 м) при различных условиях эксплуатации, получим вероятности отказов резиновых трубопроводов при событиях B_1 и B_2 .

По результатам экспериментов построены зависимости изменения вероятностей отказов резиновых трубопроводов при их эксплуатации летом и зимой, которые показаны на рис. 1. С помощью этих зависимостей можно прогнозировать остаточный ресурс резиновых трубопроводов.

Так, например, после диагностирования трубопровода с неизвестной наработкой на разработанной экспериментальной установке получено значение его собственной частоты колебаний, равное $f_c = 16 \text{ с}^{-1}$.

Предположим дальнейшую эксплуатацию данного трубопровода в зимний период. Для определения его остаточного ресурса проводим горизонталь через значе-

ние $f_c = 16 \text{ с}^{-1}$ до пересечения с кривой $f_2 = f(t)$.

Через точку пересечения проводим вертикальную линию до кривой $P(A/B_2)$ и получаем значение вероятности отказа трубопровода, равное величине 0,43, что соответствует его наработке в зимний период 550 моточасов. Следовательно, остаточный ресурс будет равен $t_{\text{ост}} = 450$ моточасов.

Если эксплуатация данного трубопровода предполагается в летний период, то его остаточный ресурс будет равен $t_{\text{ост}} = 1125$ моточасов, при этом необходимо использовать кривую $P(A/B_1)$.

Используя данный метод можно определить вероятности отказов других элементов гидропривода.

Список литературы

1. Гаркави Н.Г., Бардышев О.А., Тесленко Н.Г. Обеспечение эксплуатационной надежности работы строительных машин зимой. – ЛДНТП, 1980. – 24 с.
2. Орлов С.Ф., Александров В.А. Проектирование специальных лесных машин: Учеб. пособие. – Л., РИО ЛТА, 1979. – 60 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОПРИВОДА СУЧКОРЕЗНОЙ МАШИНЫ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

А.И. ПАВЛОВ, доц. каф. транспортно-технологических машин МарГТУ, канд. техн. наук,
Ю.А. ШИРНИН, проф. каф. технологии и оборудования лесопромышленных производств
МарГТУ, д-р техн. наук

Исследования преследовали следующие цели: определение приспособленности гидропривода сучкорезной машины к диагностированию в режиме обработки предмета труда – дерева, возможность применения перспективных средств диагностирования и дальнейшей автоматизированной обработки результатов, определение рациональных режимов диагностирования, выявление влияния субъективных факторов на качество диагностирования.

Исследования проводились на машине ЛП-30Б выпуска 1996 года с наработкой 1100 моточасов в производственных условиях Максаковского сплавного рейда производственного объединения «Вычегдалесосплав».

При этом путем замера давлений рабочей жидкости с применением встроенных тензометрических датчиков давления и классической аппаратуры регистрировались процессы, происходящие в гидроприводах подъема и поворота стрелы, управления сучкорезной и приемной головок.

Измерительная аппаратура размещалась в кабине трактора. Функции тракториста и исследователя выполнялись одним человеком.

Обрабатывались деревья в диапазоне изменения диаметра от 0,10 до 0,52 м трех пород (береза, ель, сосна).

В результате исследований было получено 60 рабочих осциллограмм изменений давления в гидроприводах стрелы, сучкорезной и приемной головок, фрагменты которых показаны на рис. 1.

На осциллографических записях приняты следующие обозначения:

1 – отметчик частоты вращения вала насоса;

2 – отметчик угла поворота левого блока протаскивающего устройства;

3 – отметчик угла поворота правого блока протаскивающего устройства;

4 – изменение давления в напорной линии боковых ножей сучкорезной головки;

5 – изменение давления в напорной линии верхнего ножа сучкорезной головки;

6 – изменение давления в гидроприводе подъема стрелы.

Анализ полученных осциллограмм показал, что в гидросистеме сучкорезной машины ЛП-30Г возникает случайный процесс с непрерывным изменением аргумента, причем колебательный процесс возбуждается изменением параметров предмета труда.

При обработке осциллограмм нами использованы числовые характеристики случайного процесса: математическое ожидание, дисперсия и корреляционная функция. Спектральные плотности были получены по корреляционным функциям (1) и аппроксимированы выражением (2). Анализ результатов исследований показал, что рациональными режимами диагностирования гидроприводов сучкорезной и приемной головок следует считать протаскивание дерева диаметром 0,25–0,40 м за вершину, подъема и поворота стрелы – подъем дерева за вершину. При этом в гидросистеме машины ЛП-30Г возникает случайный процесс, который можно привести к стационарному.

Анализ данных показывает, что полученные значения числовых характеристик дают количественную оценку исследуемых процессов. Качественную оценку можно получить с помощью корреляционных функций и спектральных плотностей.

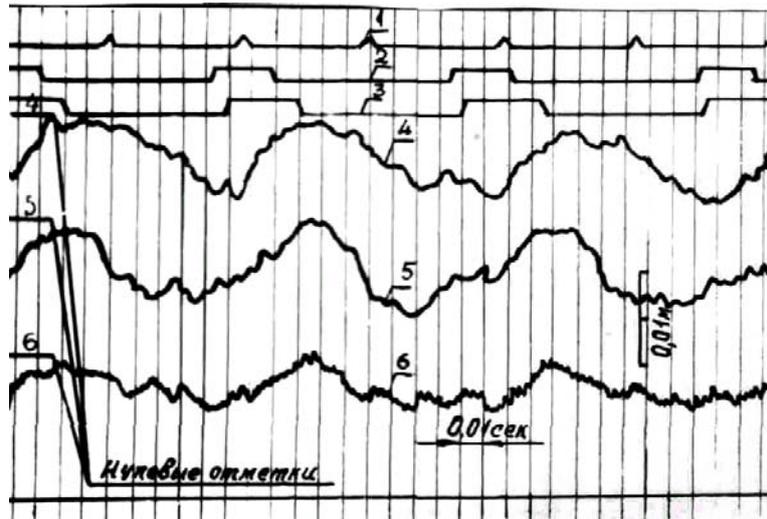


Рис. 1. Изменение давления в гидросистеме машины ЛП-30Г при обработке дерева диаметром 0,43 м

Графики нормированных корреляционных функций изменения давлений в гидроприводе, построенные по результатам расчета на ЭВМ, показаны на рис. 2. Сплошной линией обозначено давление в гидрораспределителе, пунктирной – в гидроцилиндре бокового ножа, штрихпунктирной – в гидроцилиндре верхнего ножа. Их анализ показывает, что время корреляционной связи динамических процессов в различных точках гидропривода примерно одинаково и равно при обработке деревьев диаметром:

$$0,25 \text{ м} - \tau = 0,045 \tilde{n}^{-1}, \quad 0,30 \text{ м} - \tau = 0,051 \tilde{n}^{-1}, \\ 0,35 \text{ м} - \tau = 0,056 \tilde{n}^{-1}, \quad 0,40 \text{ м} - \tau = 0,059 \tilde{n}^{-1}.$$

При $\tau \rightarrow \infty$ значения нормированной корреляционной функции $\rho_{\sigma(\tau)} \rightarrow 0$. Это свидетельствует о стационарности динамических процессов и, следовательно, позволяет по одной реализации определенной длительности вычислять статистические характеристики процесса с достаточной достоверностью [1–3].

Графики нормированных корреляционных функций с требуемой точностью аппроксимируются выражением вида:

$$\rho_{\sigma(\tau)} = A_1 \cdot \tilde{a}^{-\alpha_1|\tau|} \cdot \tilde{N} \tilde{f} \beta_1 \cdot \tau + A_2 \tilde{a}^{-\alpha_2|\tau|} \cdot \tilde{N} \tilde{f} \beta_2 \cdot \tau. \quad (1)$$

Графики корреляционных функций характеризуют изменения исследуемых процессов во временной области. Особую важность представляют характеристики частотного состава процесса – спектральные плотности.

Спектральные плотности нагруженности исследуемого гидропривода, определенные с помощью ЭВМ, показаны на рис. 3 – 4. В основу составления программы расчета было положено выражение

$$S_{(\omega)} = \frac{2}{\pi} \left[A_1 \frac{\alpha_1 (\omega^2 + \alpha_1^2 + \beta_1^2)}{(\omega^2 - \alpha_1^2 - \beta_1^2)^2 + 4\alpha_1^2 \omega^2} + A_2 \frac{\alpha_2 (\alpha_2^2 + \beta_2^2 + \omega^2)}{(\omega^2 - \alpha_2^2 - \beta_2^2)^2 + 4\alpha_2^2 \omega^2} \right]. \quad (2)$$

Анализ графиков спектральных плотностей показывает, что при обработке дерева различного объема имеются по две ярко выраженных зоны максимальных значений. Максимумы спектральных плотностей смещаются в сторону высоких частот с уменьшением объема обрабатываемого дерева. Сравнительный анализ осциллографических записей и графиков спектральных плотностей позволяет сделать вывод о том, что источником возмущения нагруженности гидропривода являются параметры предмета труда.

Присутствие на графике экстремальных значений спектральных плотностей объясняется наличием резонанса, возникающего в результате с овладением частоты амплитудной частотной характеристики гидропривода с частотой воздействия от предмета труда. Это подтверждает гипотезу, что параметры обрабатываемого предмета труда являются основными при диагностировании гидропривода.

Учитывая специфику эксплуатации сучкорезных машин, при их исследовании наиболее целесообразными характеристиками следует считать передаточные функции и частотные характеристики, так как они дают наиболее полное представление о реакции системы на различное возмущающее воздействие.

По результатам расчета спектральных плотностей были построены графики нормированных спектральных плотностей и амплитудно-частотные характеристики, показанные на рис. 3–5.

Наличие максимумов на амплитудно-частотных характеристиках свидетельствует о том, что колебательная система обладает резонансными свойствами, нарушающими

устойчивость гидропривода. Это может быть положено в основу разработки метода функционального диагностирования гидропривода сучкорезных машин.

Для определения приспособленности гидросистемы машины ЛП-30Г к диагностированию были проведены исследования данной сучкорезной машины с наработкой 4500 моточасов.

В результате исследований установлено, что изменение структурных параметров элементов гидросистемы (зазор в распределителе, податливость РВД, трещины металлических трубопроводов и др.) смещает максимумы на амплитудно-частотных характеристиках и видоизменяет их.

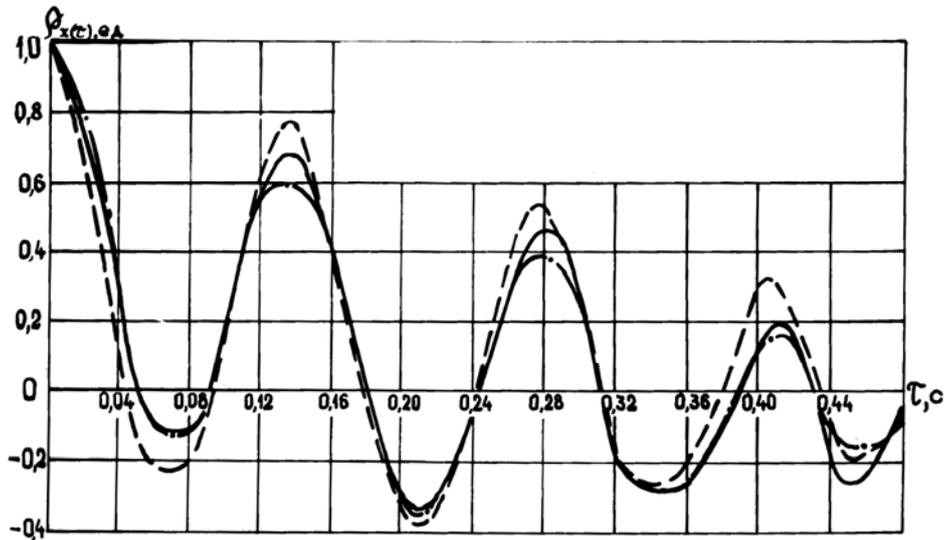


Рис. 2. Нормированные корреляционные функции нагруженности гидропривода при обработке дерева диаметром 0,40 м.

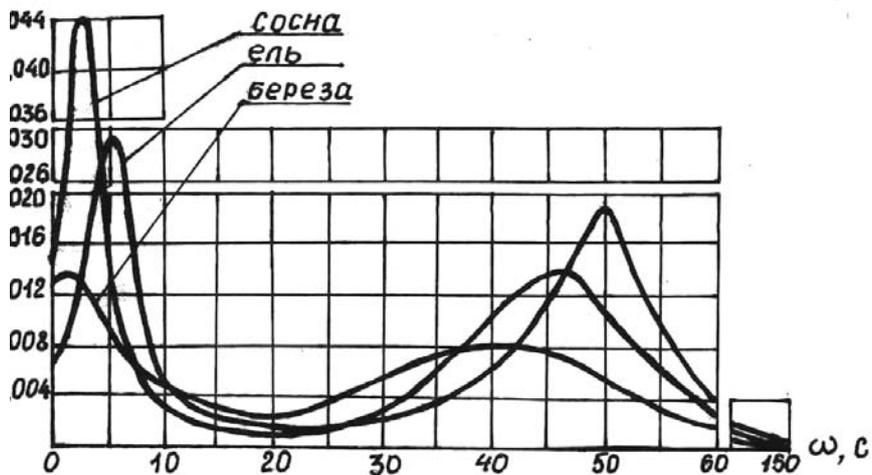


Рис. 3. Нормированные спектральные плотности нагруженности гидропривода машины ЛП-30Г при обработке деревьев различной породы

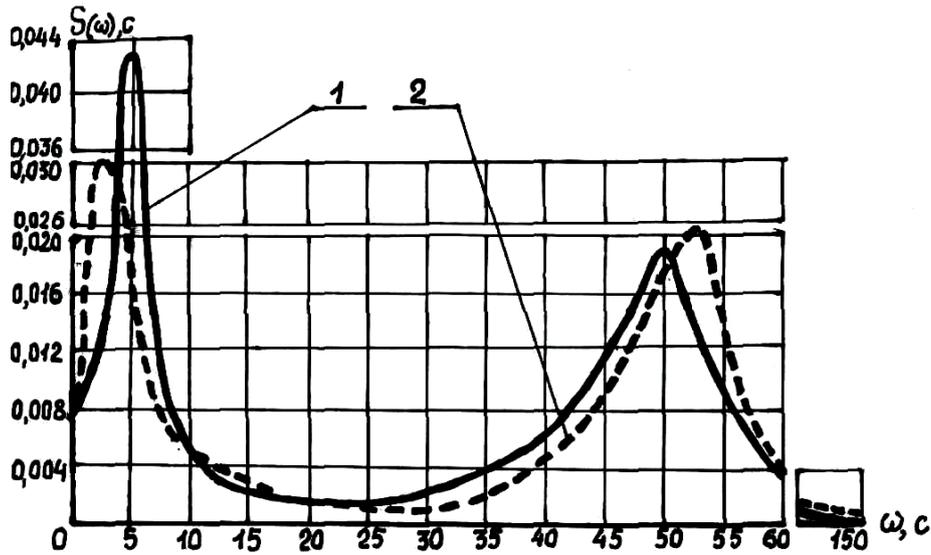


Рис. 4. Нормированные спектральные плотности нагруженности гидропривода машины ЛПИ-30Г при различной наработке: 1 – 1100, 2 – 4500 моточасов

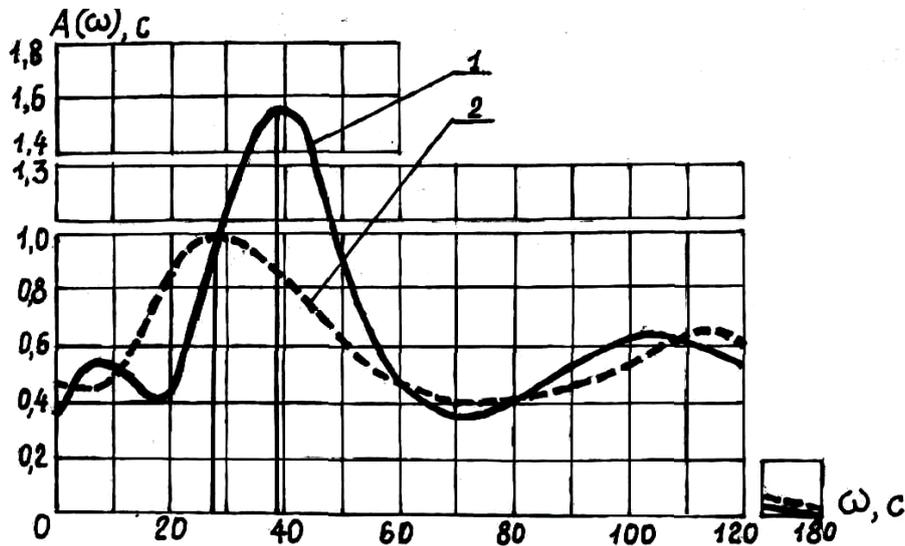


Рис. 5. Амплитудно-частотные характеристики гидропривода сучкорезной головки машины ЛПИ-30Г: 1 – 1100, 2 – 4500 моточасов

Анализ полученных спектральных плотностей изменения давления в гидроприводе машины с наработкой 4500 моточасов показал, что аналогично амплитудно-частотным характеристикам наблюдается смещение максимумов спектральных плотностей в сторону уменьшения частоты возникновения резонансных явлений (рис. 5).

Это свидетельствует о приспособленности гидросистемы сучкорезных машин к функциональной диагностике и подтверждает гипотезу о возможности мониторинга

технического состояния гидросистем методом диагностирования.

Список литературы

1. Лурье А.Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов. – Л.: Колос, 1970. – 371 с.
2. Силаев А.А. Спектральная теория поддресоривания транспортных машин. – М.: Машиностроение, 1972. – 192 с.
3. Жуков А.В., Кадошко Л.И. Основы проектирования специальных лесных машин с учетом колебаний. – Минск: Наука и техника, 1978. – 264 с.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ФОРСУНОК ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В.М. КОРНЕЕВ, доц. каф. надежности машин Московского государственного агроинженерного университета им. В.П. Горячкина,
С.В. ЧЕРЕПИЦКИЙ, асп. каф. технологии машиностроения и ремонта МГУЛа,
Ю.А. ШАМАРИН, доц. каф. технологии машиностроения и ремонта МГУЛа

По ГОСТ 10579 [1] герметичность по запыряющему конусу распылителя и качество распыливания топлива форсункой определяются визуально по увлажнению носика распылителя и туманообразному состоянию распыленного топлива, выходящего из распыливающих отверстий корпуса распылителя. Гидравлическая плотность прецизионной пары «игла распылителя – корпус распылителя» оценивается путем определения величины падения давления за определенное время. Очевидно, что при таких методах испытаний не обеспечивается высокая точность и достоверность контролируемых параметров, производительность измерения и удобство обработки полученной информации [2]. Так, например, при оценке гидравлической плотности распылителя фиксируемое падение давления складывается из двух составляющих:

$$\Delta P = \Delta P_{\phi} + \Delta P_c, \quad (1)$$

где: ΔP – фактическое значение падения давления, МПа;

ΔP_{ϕ} – падение давления, вызванное негерметичностью распылителя форсунки, МПа;

ΔP_c – падение давления, вызванное негерметичностью топливной системы прибора, МПа.

Следует отметить, что значение ΔP_c , зависящее от герметичности топливной системы прибора, вносит существенную ошибку в результат испытания. В этой связи для обеспечения точности и достоверности измерений наиболее целесообразным представляется использование в приборах микропроцессорных средств и систем. Приме-

нение аналогово-цифровых преобразователей (АЦП) и микро-ЭВМ в составе единой измерительной системы позволяет в процессе испытаний на основе специализированной программы автоматизировать процессы измерения и обработки полученных данных, повысить точность измерений. Все это открывает широкие перспективы для разработки на качественно новом уровне методов количественной оценки контролируемых параметров форсунок.

Исходя из поставленной цели разработан информационно-измерительный комплекс, блок-схема которого представлена на рис. 1.

Информационно-измерительный комплекс работает следующим образом. При тестировании прибора на герметичность в топливной системе создается давление (P_n). Со временем (t) наблюдается некоторое падение давления, вызванное негерметичностью системы. Падение давления в системе от времени аппроксимируется функцией экспоненциального распределения:

$$P_c(t) = P_{oc} \cdot e^{-kt}, \quad (2)$$

где: P_c – текущее давление в топливной системе прибора во время его *тестирования*, МПа;

P_{oc} – начальное давление в топливной системе прибора во время его тестирования, МПа;

e – основание натурального логарифма ($e = 2,718$);

t – время тестирования, с;

k – коэффициент, характеризующий степень герметичности топливной системы прибора (определяет скорость изменения функции).

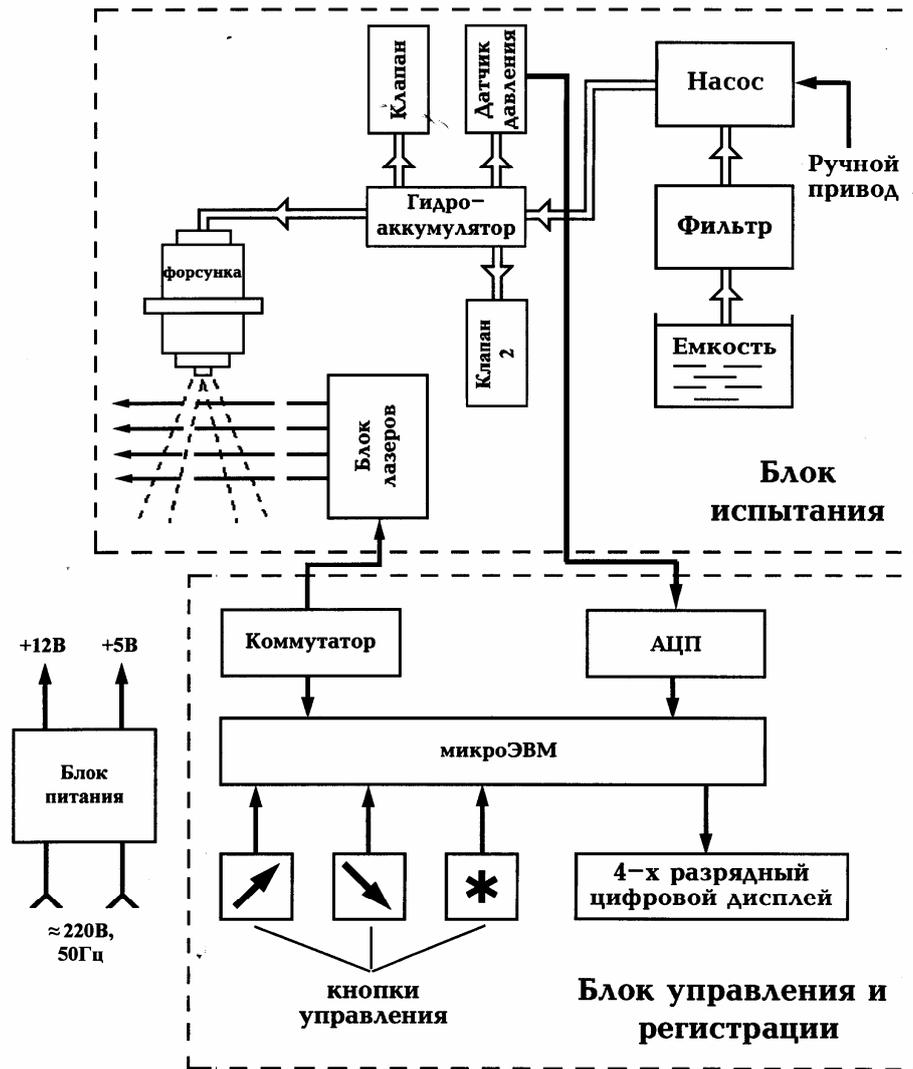


Рис. 1. Функциональная блок-схема информационно-измерительного комплекса прибора

Предположим, что время тестирования прибора на герметичность – 30 с. Тогда, используя выражение (2) и проведя необходимые преобразования, коэффициент k можно определить по формуле:

$$k = \frac{\ln(P_{oc} / P_{30})}{30}, \quad (3)$$

где P_{30} – давление по истечению времени тестирования, МПа.

При испытании форсунки на гидравлическую плотность распылителя оператор вводит значение начального давления тестирования $P_{оф} = P(to)$. По истечении 30 с прибор фиксирует падение давления в топливной системе прибора с форсункой. При этом времени испытания падение давления, вы-

званное негерметичностью системы прибора ΔP_c , определится по формуле:

$$\Delta P_c = P_c(to) - P_c(to + 30), \quad (4)$$

где: to – время начала тестирования, с;
 $(to + 30)$ – время окончания тестирования, с.

Подставляя выражения (2) и (3) в выражение (4) и произведя математические преобразования, получим зависимость значения ошибки, вносимой негерметичностью системы прибора (ΔP_c) от значения начального давления проверки форсунки на гидроплотность ($P_{оф}$):

$$\Delta D_n = (1 - \ln \frac{P_{3i}}{D_{iñ}}) \cdot D_{iо}, \quad (5)$$

где: ΔP_c – ошибка, вносимая негерметичностью системы прибора, МПа;

$P_{оф}$ – начальное давление тестирования форсунки на гидравлическую плотность распылителя, МПа.

Обозначив в уравнении (5) выражение в скобках за константу (С), получим:

$$\Delta P_c = C \cdot P_{оф}, \quad (6)$$

где С – константа, характеризующая герметичность топливной системы прибора.

Из уравнения (6) можно сделать вывод, что характер линейной зависимости будет определяться значением константы (С). Приближение константы (С) к нулю характеризует высокую герметичность топливной системы прибора.

Используя выражения (1) и (6), можно получить формулу для вычисления значения, характеризующего гидравлическую плотность форсунки с учетом негерметичности топливной системы прибора:

$$\Delta P_{ф} = \Delta P - C \cdot P_{оф}. \quad (7)$$

Применение данного метода в приборе для испытания и регулирования форсунок позволяет исключить влияние негерметичности топливной системы прибора на показания при оценке гидравлической плотности распылителя.

На основе результатов теоретических и экспериментальных исследований изготовлены опытные образцы модернизированных средств для оценки параметров форсунок.

Модернизированный прибор для испытания и регулирования форсунок КИ-35435 предназначен для измерения давления начала впрыскивания топлива, оценки гидродетности распылителя и герметичности форсунки по запирающему конусу иглы распылителя, а также качества распыливания топлива. Прибор (рис. 2) состоит из корпуса, который одновременно является и топливным баком. Внутри корпуса расположены топливный фильтр тонкой очистки, насосный элемент, гидроаккумулятор, клапанная коробка и датчик давления, соединенные последовательно топливопроводами. Сверху

на корпусе закреплена крышка, на которой смонтированы следующие элементы:

блок лазеров для засветки конуса распыленного топлива пятью источниками излучения;

механизм крепления испытуемых форсунок;

кран управления подачей топлива и снятия остаточного давления в топливной системе прибора;

рукоятка для привода насосного элемента;

камера впрыскивания из прозрачного полимерного материала для визуального наблюдения за конусом распыленного топлива;

блок управления и регистрации, предназначенный для управления лазерами, задания значений времени и давления при испытании форсунок, регистрации величины давления начала впрыскивания топлива форсункой на цифровом табло;

топливозаливная горловина, фильтр грубой очистки, указатель уровня топлива в баке.

Прибор работает следующим образом. Через горловину в бак заливают профильтрованное дизельное топливо до середины указателя уровня. Подключают блок питания прибора в электрическую сеть напряжением 220 В. Закрепляют форсунку в механизме и соединяют ее с топливопроводом. При испытании форсунки на давление начала впрыскивания топлива и качество его распыливания открывают краном подачу топлива к форсунке и перемещением рукоятки насосного элемента повышают давление в системе прибора. При этом включается лазерный блок, который параллельными лучами просвечивает пространство под форсункой. В момент впрыскивания топлива значение давления фиксируется электронным блоком и выдается на дисплей в цифровом изображении. Впрыснутое форсункой топливо проходит через лучи блока лазеров, которые засвечивают конус струи топлива и тем самым обеспечивают возможность визуальной оценки качества распыливания.



Рис. 2. Общий вид модернизированного прибора для испытания и регулирования форсунок КИ-35435

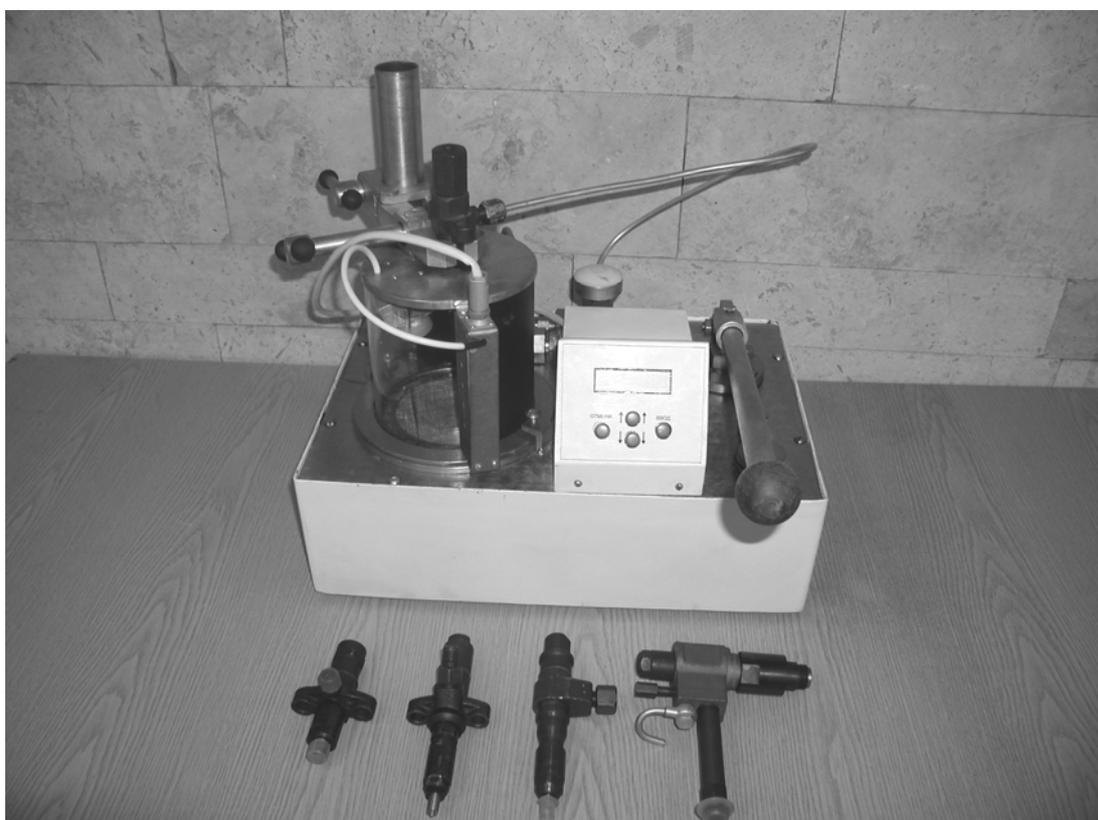


Рис. 3. Общий вид прибора для испытания и регулирования форсунок КИ-35460

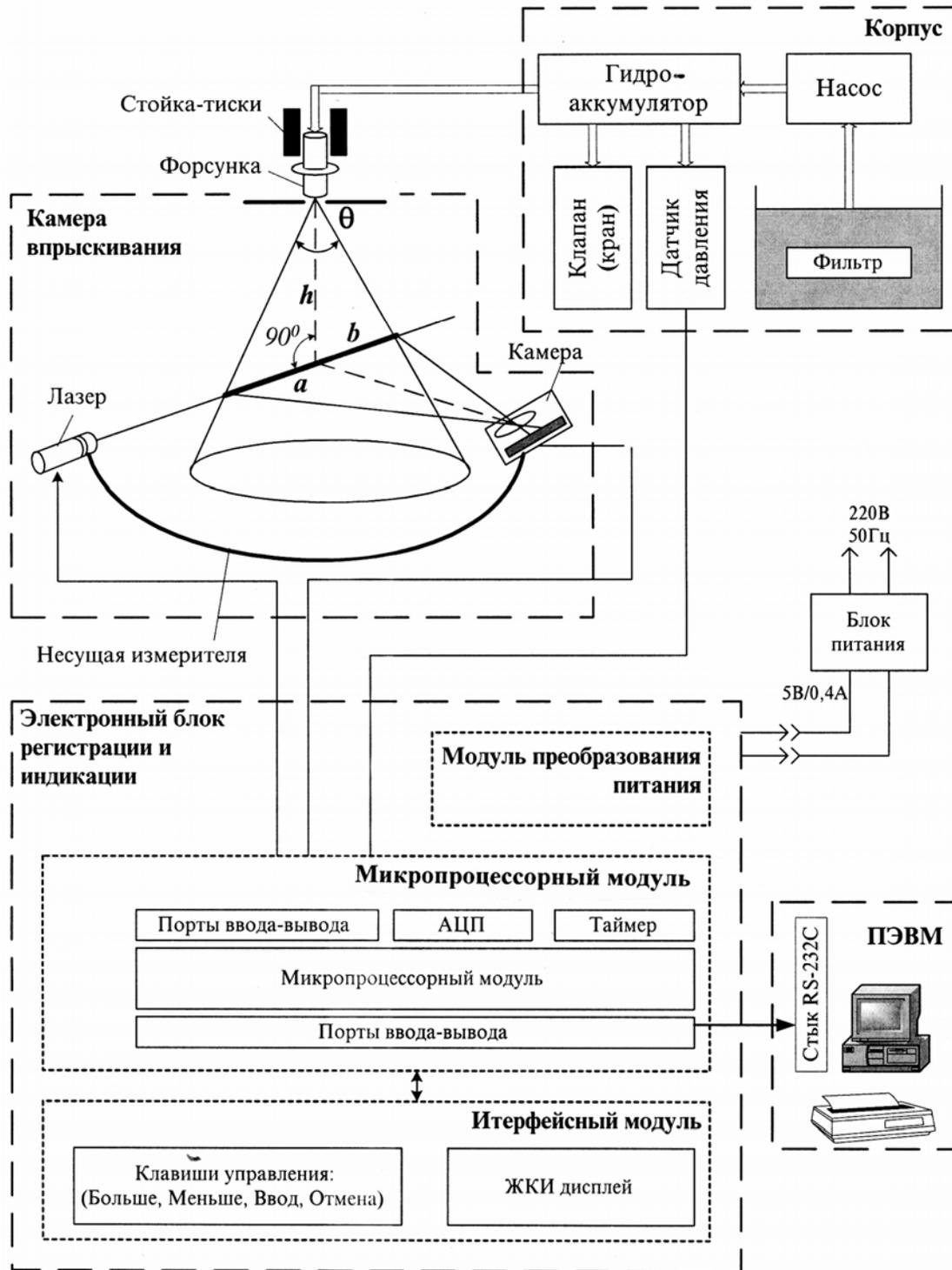


Рис. 4. Функциональная схема прибора КИ-35460

При режиме проверки топливной системы прибора на герметичность в блок управления и регистрации вводится значение давления и время испытания. Закрывают краном подачу топлива к форсунке и рукояткой привода насоса повышают давление

до установленного значения. При равенстве нагнетаемого насосом давления со значением, ранее записанным в блоке, выдается сигнал о приостановке нагнетания топлива и начинается отсчет времени тестирования (30 с). По истечении времени испытания на дис-

плее высвечивается значение падения давления в замкнутой топливной системе прибора. Герметичность прибора оценивается по времени падения давления.

По результатам тестирования в электронном блоке управления автоматически вычисляется и заносится в память прибора поправочный коэффициент, который учитывается при испытании форсунки на герметичность и гидроплотность с целью компенсации погрешности, вносимой негерметичностью топливной системы прибора. Значение поправочного коэффициента сохраняется в памяти до следующей проверки прибора на герметичность.

На рис. 3 изображен прибор КИ-35460 для испытания и регулирования форсунок, разработанный на принципах модифицирования.

По конструктивному исполнению прибор КИ-35460 аналогичен прибору КИ-35435. Существенное отличие заключается в наличии устройства для количественной оценки параметров струи распыленного топлива (угла рассеивания струи распыленного топлива относительно оси распылителя). Функциональная схема прибора изображена на рис. 4. В основу оценки параметров струи распыленного топлива принят оптический проекционный метод измерения геометрических размеров. В процессе измерений полупроводниковый лазерный модуль формирует узкий направленный пучок излучения, обращенный перпендикулярно оси распылителя форсунки на расстоянии (h) от соплового наконечника распылителя. В момент впрыскивания топлива форсункой происходит диффузное отражение лазерного луча от микрокапель распыленного топлива. При этом возникает свечение линий (a) и (b), образованных пересечением лазерного луча с конусом распыленного топлива. Отражение от микрокапель распыленного топлива регистрируется фоточувствительной проекционной линейкой и передается в электронный блок регистрации и индикации. Микропроцессорный модуль блока считывает с АЦП дискретный сигнал и путем математической обработки полу-

ченной измерительной информации вычисляет значение размеров (a) и (b). Несимметричность конуса струи распыленного топлива (λ) при этом будет определяться по формуле:

$$\lambda = \frac{a-b}{a+b} \cdot 100\%, \quad (8)$$

где a и b – длина линий от сечения конуса распыленного топлива до оси распылителя, мм.

Отрицательное значение несимметричности (λ) характеризует правый наклон конуса струи распыленного топлива относительно оси распылителя, положительное – левый.

Точность определения симметричности конуса струи распыленного топлива определяется погрешностью измерения размеров (a) и (b). Согласно конструкции прибора эта погрешность определяется количеством фотоячеек проекционной линейки и диапазоном измерений, равным $a_{max} + b_{max}$ по формуле:

$$\Delta = \frac{a_{max} + b_{max}}{n}, \quad (9)$$

где n – количество фотоэлементов в проекционной линейке.

Точность определения угла рассеивания струи распыленного топлива относительно оси распылителя определяется по формуле:

$$\Delta\varphi = \arctg\left(\frac{a_{max} + b_{max}}{n \cdot h}\right). \quad (10)$$

Экспериментальными исследованиями установлено, что погрешность измерения симметричности конуса струи распыленного топлива для 256-элементной проекционной линейки при $a_{max} + b_{max} = 200$ мм составила 0,78 мм, а точность при $h = 100$ мм – 0,44°.

Список литературы

1. ГОСТ 10579-88. Форсунки дизелей. Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 7 с.
2. Файнлейб Б.Н. Топливная аппаратура автотракторных дизелей. – Л.: Машиностроение, 1990. – 348 с.

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МАШИН НА РЕЙДАХ ПРИПЛАВА

П.Ф. ВОЙТКО, доц. каф. транспорта леса МарГТУ, канд. техн. наук

Программа и методика экспериментальных исследований

Объектом экспериментальных исследований служат мостовые КМ-3076, башенные КБ-572 Б краны, выгрузочные устройства К-122, К-125, К-131, занятые на рейдах приплава для выгрузки лесных грузов из воды.

Целью работы является определение дополнительных гидромеханических нагрузок на грузоподъемные машины при вертикальном и наклонном подъеме лесных грузов из покоящейся жидкости на лесопромышленных предприятиях с рейдами приплава.

Разработана программа и методика экспериментальных исследований гидромеханических нагрузок на грузоподъемные машины при вертикальном и наклонном подъеме лесных грузов из покоящейся жидкости в натуральных и лабораторных условиях (табл. 1). Определение гидромеханических сил вихревого сопротивления воды движению груза и веса жидкости внутри лесотранспортных единиц оказалось возможным методом разложения жидкости [7]. Для этого лесные грузы из воды поднимались дважды. Вначале поднимался зачехленный пучок, в результате чего исключалось влияние массы жидкости внутри пучка на максимальное усилие подъема. Затем при тех же условиях груз поднимался из воды без водонепроницаемого чехла, при этом определялось суммарное влияние гидромеханических сил.

Оптимизация процесса отрыва плавающего груза от покоящейся жидкости проводилась с целью уменьшения влияния гидромеханических сил на максимальное

усилие подъема лесотранспортных единиц. В качестве критерия оптимизации была принята разность между максимальным усилием подъема и весом поднимаемого груза. Если учесть, что усилие в грузовом канате достигает максимума в момент отрыва сортиментного пучка от воды, при этом выталкивающая сила жидкости равна нулю, а движение груза становится равномерным, то указанная разность представляет собой сумму сил вихревого сопротивления воды движению груза и остаточного веса жидкости внутри пучка. Структура лесотранспортных единиц, поступающих на рейды приплава в плотях, исследовалась с помощью фотографического метода [5] и фактурных данных на каждую грузоединицу.

Для повышения эффективности экспериментальных исследований была выбрана методика рационального планирования эксперимента, основанная на идее латинского квадрата [2]. Объем экспериментальных исследований составлен в форме цифровых матриц, построенных в виде системы взаимно ортогональных латинских квадратов. Связующим фактором между латинскими квадратами являлась скорость подъема лесных грузов из воды [3, 4].

Результаты исследований лесоперевалочного процесса мостовым краном КМ – 3076 на Соликамском ЦБК

Выполненные экспериментальные исследования грузоподъемных машин в производственных условиях подтвердили теоретические исследования лесоперевалочных процессов на рейдах приплава лесопромышленных предприятий [3, 4, 6].

Программа и методика экспериментальных исследований

Этапы исследований	Содержание работы и методы исследований
1	2
<p>1. Подготовка эксперимента</p> <p>1.1. Выявление цели и постановка задач экспериментальных исследований</p> <p>1.2. Выбор поверхности отклика</p> <p>1.3. Определение варьируемых независимых факторов</p> <p>1.4. Выбор уровней варьируемых факторов</p> <p>1.5. Планирование экспериментальных исследований</p>	<p>Целью экспериментальных исследований является определение нагрузок на грузоподъемные машины при выгрузке лесотранспортных единиц из воды на рейдах приплава лесопромышленных предприятий и сравнение их с теоретическими зависимостями</p> <p>1.1.1. Исследование максимальных усилий в грузовых канатах кранов КМ-3076 и КБ-572 при вертикальном подъеме лесных грузов из покоящейся жидкости тензометрическим методом</p> <p>1.1.2. Исследование максимальных усилий в грузовых канатах выгрузочных устройств К-122, К-125, К-131 при наклонном подъеме лесных грузов из воды динамометрическим методом</p> <p>1.1.3. Определение влияния гидромеханических сил на максимальное усилие подъема лесотранспортных единиц из воды методом разложения жидкостей</p> <p>1.1.4. Оптимизация процесса отрыва плавающих лесных грузов от покоящейся жидкости</p> <p>1.1.5. Установление структуры лесотранспортных единиц, поступающих под выгрузку на рейдах приплава лесопромышленных предприятий, фотографическим методом</p> <p>1.2.1. Теоретический анализ процесса подъема лесных грузов из воды грузоподъемными машинами методом математического моделирования</p> <p>1.2.2. Постановка социологического эксперимента с применением метода ранговой корреляции</p> <p>1.2.3. Литературный и патентный поиск способов и устройств выгрузки лесных грузов из воды</p> <p>1.3.1. Постановка отсеивающих экспериментов классическим методом</p> <p>1.4.1. Количественные, качественные</p> <p>1.4.2. Фиксированные, случайные</p> <p>1.5.1. Составление матриц методом ортогональных латинских квадратов</p> <p>1.5.2. Рандомизация опытов путем использования цифровых матриц в виде системы взаимно ортогональных латинских квадратов</p> <p>1.5.3. Установление порядка постановки опытов с помощью таблицы случайных чисел</p>
<p>2. Проведение экспериментальных исследований</p> <p>2.1. Производственные исследования КМ-3076 на Соликамском ЦБК</p> <p>2.2. Производственные исследования КБ-572 на Кировской ЛПБ</p> <p>2.3. Производственные испытания К-122, К-125, К-131 на Болтинской ЛПБ, Волжском ДОКе «Заря»</p>	<p>2.1.1. Разработка программы и методики производственных исследований мостового крана КМ-3076 на Соликамском ЦБК тензометрическим методом</p> <p>2.1.2. Проведение экспериментальных исследований максимальных усилий выгрузки сортиментных пучков из воды мостовым краном КМ-3076 на лесной бирже Соликамского ЦБК</p> <p>2.2.1. Разработка программы и методики производственных исследований башенного крана КБ-572 на Кировской ЛПБ тензометрическим методом</p> <p>2.2.2. Проведение экспериментальных исследований максимальных усилий выгрузки хлыстовых пакетов из воды краном КБ-572 на лесной бирже Кировской ЛПБ</p> <p>2.3.1. Разработка программы и методики производственных испытаний выгрузочных устройств К-122, К-125, К-131 динамометрическим методом</p> <p>2.3.2. Производственные испытания выгрузочного устройства К-125 на Болтинской ЛПБ</p> <p>2.3.3. Производственные испытания выгрузочных устройств К-122, К-131 на Волжском ДОКе</p>

1	2
2.4. Лабораторные исследования в МарГТУ	2.4.1. Моделирование процесса выгрузки лесотранспортных единиц из воды на берег по критерию Фруда с применением метода анализа размерностей 2.4.2. Выбор масштаба моделирования М1:10 исходя из условия соблюдения подобия лесоперевалочного процесса и возможностей лабораторного оборудования 2.4.3. Разработка программы и методики лабораторных исследований лесоперевалочного процесса на основе тензометрического метода 2.4.4. Конструирование и изготовление механической модели лабораторной установки для выгрузки лесных грузов из воды 2.4.5. Проведение лабораторных исследований с использованием многоскоростного электропривода мощностью 1 кВт
2.5. Повторение некоторых опытов 3. Обработка и анализ полученных результатов	2.5.1. Лабораторная проверка области экстремума процесса отрыва лесных грузов от воды
3.1. Обработка осциллограмм тензометрирования	3.1.1. Расшифровка осциллограмм тензометрирования с помощью преобразователя диаграмм типа Ф001 методом ПИК без учета собственных колебаний измерительных приборов
3.2. Обработка фотографий торцов пучков, пакетов и пачек круглых лесоматериалов	3.2.1. Определение коэффициента полндревесности лесных грузов, поступающих под выгрузку на рейдах припlava, с помощью полярного планиметра
3.3. Статистическая обработка опытных данных на ПВМ по стандартным программам	3.3.1. Отбрасывание грубых измерений 3.3.2. Вычисление главных статистических гипотез и их проверка 3.3.3. Дисперсионный анализ 3.3.4. Корреляционный анализ 3.3.5. Регрессионный анализ
3.4. Анализ обработанных результатов	3.4.1. Составление сводных таблиц обработанных результатов и построение графоаналитических зависимостей
3.5. Выделение значимых факторов и проверка адекватности уравнений	3.5.1. Дисперсионный анализ
3.6. Получение математического описания процесса	3.6.1. Метод свертывания уравнений
3.7. Анализ и исследование уравнений поверхности отклика	3.7.1. Определение точки экстремума и исследование области экстремума 3.7.2. Сравнение данных теоретических и экспериментальных исследований

Таблица 2

Характеристика колебаний максимальных усилий в грузовом канате крана КМ-3076 при различных условиях подъема пучка круглых лесоматериалов

Наименование	Подъем пучка круглых лесоматериалов		
	от прокладок штабеля	из воды	из воды многорядной щетью
Амплитуда колебаний q_a , % G_1	15 – 25	3 – 9	10 – 15
Период колебаний T_k , с	1,5 – 2,5	1,5 – 2,5	1,5 – 2,5
Время нарастания усилия подъема, T_n , с	1,5 – 5,0	3,0 – 6,0	5,0 – 10,0

Производственные испытания мостового крана КМ-3076 грузоподъемностью 294 кН на Соликамском ЦБК показали, что динамика подъема лесных грузов с воды со скоростью 0,467 м/с существенно отличается от динамики подъема от земли. Нарастание нагрузки в грузовом канате крана при отрыве пучка круглых лесоматериалов от воды характеризуется показательной кривой, от земли (деревянных прокладок штабеля) – линейной зависимостью, а от воды многорядной щетью – параболической кривой (рис. 1).

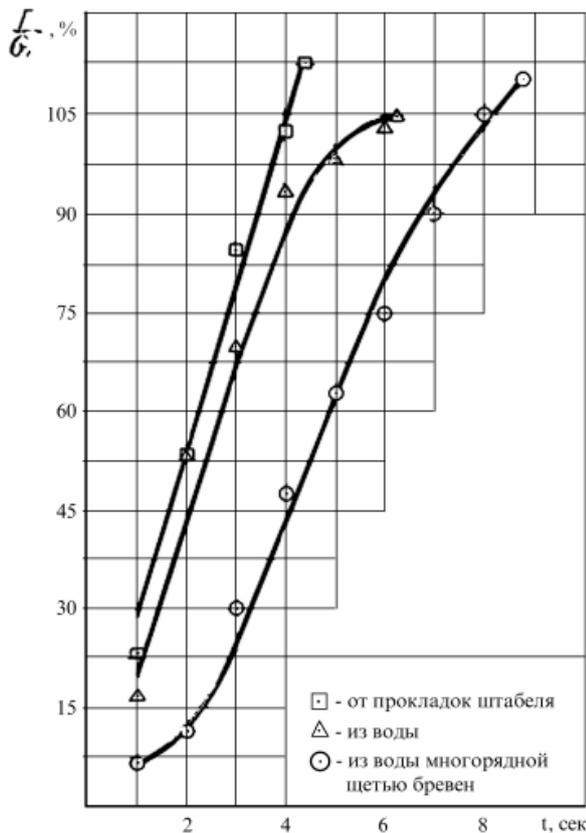


Рис. 1. Характер нарастания нагрузки

Время нарастания нагрузки в грузовом канате зависит от условия подъема лесного груза (табл. 2). Так, при подъеме пучка круглых лесоматериалов объемом от 10 до 35 м³ от деревянных прокладок штабеля время нарастания усилия подъема изменяется от 1,5 до 5 секунд. Когда груз поднимается с воды, нарастание нагрузки колеблется в пределах от 3 до 6 с, а многорядной щети – от 5 до 10 с.

При подъеме груза от земли, как это было установлено в работах М.М. Гохберга [11], М.С. Комарова [5], Б.А. Таубера [12], максимальное усилие возникает в момент отрыва его от основания. Производственные исследования показали, что при подъеме пучка бревен из воды усилие подъема достигает максимального своего значения в момент отрыва пучка от покоящейся жидкости, при этом движение груза становится равномерным.

Величина максимальных усилий зависит от условий подъема лесного груза от основания и составляет: из воды 1,09 G₁; из воды многорядной щетью бревен 1,15 G₁; от земли (деревянных прокладок штабеля) 1,25 G₁.

Гидромеханические силы вихревого сопротивления воды и присоединенной массы жидкости внутри пористого груза существенно влияют на максимальное усилие подъема лесных грузов краном из покоящейся жидкости и достигают 40 % G₁. Полученная статистическая модель (1) подтверждает теоретическую гипотезу о том, что процесс фильтрации присоединенной массы воды из пористого груза зависит от скорости подъема, коэффициента полндревесности пучка, диаметра бревен в нем d, угла наклона груза к горизонту воды в выгрузочном дворике φ_x:

$$\frac{R_{\text{вв}} + G_2}{G_1}, \% = 0,618 + \frac{128,121}{d} - \frac{2,718\varphi_x}{d}. \quad (1)$$

С увеличением скорости подъема и уменьшения угла наклона груза к горизонту воды гидромеханические силы растут по линейной зависимости. При увеличении диаметра бревен в пучке гидромеханические силы уменьшаются по гиперболической зависимости.

Вихревое сопротивление воды подъему лесного груза краном составляет 9 % G₁. Построена статистическая модель (2) зависимости сил вихревого сопротивления воды движению лесного груза от значимых факторов:

$$R_{\text{вв}}/G_1, \% = 2,921 - 0,0071 \varphi_x. \quad (2)$$

Характеристика динамических колебаний лесопогрузчика КБ-572 при различных условиях подъема пакета хлыстов весом 52 кН

Наименование	Подъем груза	
	из воды	от земли
1. Время нарастания нагрузки, с	4,1 – 4,3	2,3 – 2,7
2. Период колебаний, с	1,6 – 1,7	1,6 – 1,7
3. Амплитуда колебаний, % G_1	7,5 – 8,5	13 – 15
4. Максимальное усилие подъема, % G_1	108 – 111	113 – 115
5. Случайная нагрузка на кран от перегрузки веса груза, % G_1	3,52	8,32

После отрыва лесного груза от основания процесс подъема характеризуется действием динамических нагрузок на кран, имеющих колебательный характер (табл. 2). Наибольшая амплитуда колебаний максимальных усилий в грузовом канате крана возникает при отрыве груза от прокладок штабеля и достигает 0,25 G_1 . При подъеме пучка бревен из воды амплитуда колебаний значительно уменьшается до 0,09 G_1 , а при подъеме распущенного пучка бревен из воды многорядной щетью – до 0,15 G_1 . Период колебаний максимальных усилий для перечисленных условий подъема пучка круглых лесоматериалов идентичный и колеблется в пределах от 1,5 до 2,5 с. Производственными исследованиями подтверждены теоретические зависимости коэффициентов полноревесности лесных грузов [3, 6, 7] от диаметра, длины круглых лесоматериалов, высоты необрубленных сучьев, угла взаимного расположения бревен в пучке.

Результаты исследований лесопереваляющего процесса башенным краном на Кировской ЛПБ

Производственные испытания башенного крана КБ-572А на Кировской ЛПБ показали, что характер нарастания нагрузки на кран при подъеме пакетов хлыстов из воды имеет вид показательной кривой и отличается от линейной зависимости нагрузки на кран при отрыве груза от земли. При подъеме лесного груза весом 52 кН от земли со скоростью 0,334 м/с время нарастания нагрузки на лесопогрузчик изменяется в пределах от 2,3 до 2,7 с. Когда аналогичный

груз поднимается с воды, то время нарастания нагрузки увеличивается почти в 2 раза и колеблется от 4,1 до 4,3 с (табл. 3).

Влияние гидромеханических сил вихревого сопротивления воды подъему груза и остаточной массы жидкости внутри пакета хлыстов учитывалось с помощью коэффициента изменчивости случайной нагрузки на кран КБ-572 от перегрузки веса груза, который составляет 3,52 % G_1 при отрыве от земли и 8,32 % G_1 – при отрыве от воды. Степень влияния вихревого сопротивления составляет 35 %, а остаточная масса жидкости внутри пакета хлыстов – 65 % из гидромеханических сил, действующих на лесопогрузчик.

При подъеме лесных грузов с воды амплитуда затухающих колебаний динамических усилий в грузовом канате крана значительно уменьшается до 8,5 % G_1 , что свидетельствует о демпфирующих свойствах покоящейся жидкости выгрузочного дворика. Наибольшая амплитуда колебаний усилий возникает в момент отрыва лесного груза от земли 15 % G_1 . Период колебаний для перечисленных условий подъема лесных грузов идентичный и изменяется в пределах от 1,6 до 1,7 с.

Результаты исследований выгрузочных устройств на рейдах приплава

При выгрузке лесных грузов из воды лесовозными платформами К-122, К-125, К-131 максимальное усилие в грузовом канате лебедки возникает на наклонном участке рельсового пути в 7° и составляет 83,385 кН или 37,6 % G_1 . Расхождение эксперимен-

тальных данных с теоретическими [4] не превышает 9,8 %. Следовательно, лесоперевалочный процесс лесовозными платформами в 2,7 раза экономичнее крановой выгрузки лесных грузов из воды на предприятиях с рейдами приплава.

На Болтинской ЛПБ экспериментальным путем определены коэффициенты скольжения грузовой тележки К-125 по рельсовым путям (сталь по стали): 1) трогание с места – 0,34, 2) в движении – 0,19; коэффициенты трения скольжения пучков бревен по рельсам приемной эстакады (дерево по стали): 1) трогание с места – 0,18, 2) в движении – 0,15. Установлен запас силы тяги $N = 29,43$ кН грузового барабана электрической лебедки Л-71А при перемещении лесовозной тележки К-125 в условиях проведения производственного эксперимента на Болтинской ЛПБ.

Экспериментальные исследования выгрузочных устройств К-122, К-131, проведенные в производственных условиях Волжского ДОК, подтвердили эффективность нового способа захвата хлыстовых пучков лесовозными тележками (патент РФ № 2203845) без дополнительных устройств [8]. Способ захвата в воде пучка лесоматериалов тележками отличается тем, что после установки пучка напротив рельсовых путей выгрузочного устройства катером прижимают этот пучок к берегу, после чего осуществляют перемещение лесовозных тележек, обеспечивая отталкивание пучка от берега, останавливают упомянутые тележки и ожидают до тех пор, пока пучок отплывет на требуемое расстояние, обеспечивающее подвод этих тележек под пучок, после чего перемещают тележки со скоростью, превышающей скорость отталкивания пучка и затем осуществляют остановку тележек для удержания плавущего по инерции пучка. Предложенный способ позволил интенсифицировать процесс выгрузки древесины из воды выгрузочными устройствами К-122, К-131, повысить производительность труда на 19 %, снизить расход горючесмазочных материалов катера КС-100А на 11,5 %. Производительность выгрузочного

устройства К-122 совместно с краном ЛТ-62 повысилась до $785 \text{ м}^3/\text{см}$.

Результаты лабораторных исследований

На основе проведенных лабораторных экспериментов построена статистическая модель зависимости коэффициента изменчивости случайной нагрузки на кран от значимых факторов, который изменяется в пределах от 0,24 до 42,07 % G_1 :

$$K_1 \% = 6213,10^{-8} (1,248 H/d - 0,015) \times (\exp 0,39929 \ln V^2/qL)(9,22 + 41,7 \gamma/\theta) \times (9,3563 + 0,30664 B/H)(2,775 + 6,033 G_1/cd) \times (0,56651 + 2985,10^{-8} Vd/v) (137,377 d/L - 1,201)(7,99614 - 0,1496 d/\gamma). \quad (3)$$

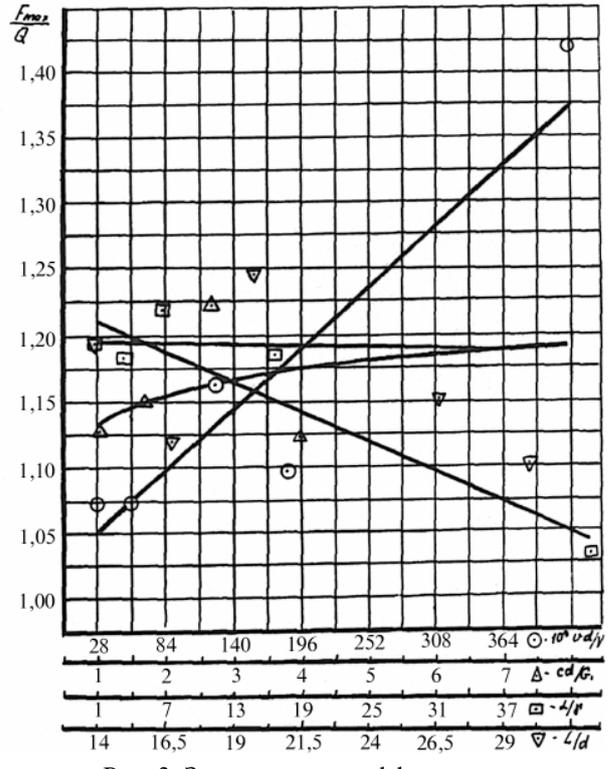
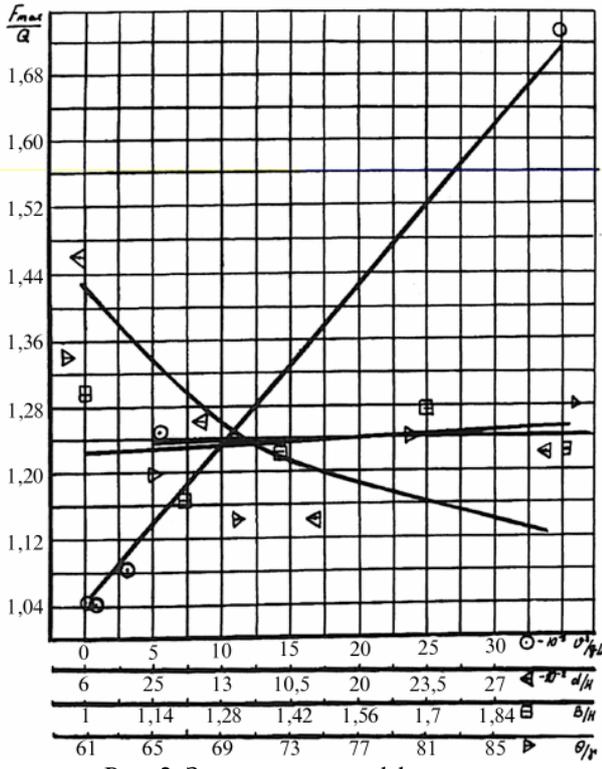
ГОСТ 13994-81 рекомендует для прочностных расчетов башенных кранов принимать коэффициент изменчивости случайной нагрузки на лесопогрузчик равным 12 %. В процессе экспериментальных исследований получена зависимость коэффициента динамической нагрузки на кран при подъеме лесных грузов из воды (рис. 2, 3):

$$F/G_1 = 0,28(1,068 + 0,02154 H/d) \times (1,05565 + 20,3966V^2/qL) (1,22793 + 0,00018\theta/\gamma) \times (1,27588 - 0,02594 B/H) (1,191 - 0,059 G_1/cd) \times (1,0217 + 0,00000084Vd/v) (1,24782 - 0,00401L/d) \times (1,21584 - 0,00382 \alpha/\gamma), \quad (4)$$

$$\hat{e}_1 = f_1\left(\frac{V^2}{qL}; \frac{d}{H}; \frac{\theta}{\gamma}; \frac{A}{I}\right) \quad \hat{e}_1 = f_2\left(\frac{cd}{G_1}; \frac{\alpha}{\gamma}; \frac{Vd}{\gamma}; \frac{L}{d}\right).$$

Гидромеханические силы вихревого сопротивления воды и веса жидкости внутри плавающего пучка существенно влияют на максимальные усилия подъема краном лесных грузов из воды и достигают 42 % G_1 . Построена статистическая модель зависимости гидромеханических сил от значимых факторов:

$$\frac{R_{ав} + G_2}{10^{-5} G_1} \% = 1767v - 32,5v\varphi_x + \frac{155798}{d} + \frac{75066v}{d} - \frac{2859\varphi_x}{d} - \frac{1337v\varphi_x}{d}. \quad (5)$$



Наибольшее влияние на гидромеханические силы оказывает скорость подъема груза. С увеличением ее в диапазоне от 3,2 до 47,5 см/с гидромеханические силы растут линейно за счет увеличения влекущей массы жидкости за пучком, а также присоединенной массы воды внутри пучка, которая при большой скорости подъема не успевает вытекать из пустот между бревнами. Процесс фильтрации присоединенной массы воды внутри пучка зависит от его пористости, на которую значительное влияние оказывает диаметр бревен. Так, при увеличении диаметра бревен от 10 до 50 см влияние гидромеханических сил на максимальное усилие подъема уменьшается по гиперболической зависимости с 38 до 8 %.

Решена задача по оптимизации процесса отрыва плавающих лесных грузов от покоящейся жидкости выгрузочного двора на рейде приплава. В качестве критерия оптимизации принята разность между максимальным усилием подъема и весом поднимаемого груза. Определены оптимальные значения факторов: скорость подъема – 0,009 м/с, диаметр круглых лесоматериалов в пуч-

ках – 45,88 см, угол наклона лесного груза к горизонту воды – 54,5°, при которых гидромеханические силы вихревого сопротивления воды движению груза и веса жидкости внутри пучка бревен достигают минимального своего значения – $3,8 \cdot 10^{-5} \% G_1$. Если для различных значений скорости подъема лесных грузов, диаметра круглых лесоматериалов в пучках, угол наклона груза к горизонту воды 45°, то критическое значение гидромеханических сил не превышает 6,25 % G_1 . Уменьшение влияния гидромеханических сил на максимальное усилие подъема лесных грузов из воды на 30 % позволяет сократить энергозатраты на подъем номинального груза, повысить полезную грузоподъемность кранового оборудования на 16 %.

Список литературы

1. Гидравлика / И.И. Агроскин, Г.Т. Дмитриев, Ф.И. Пикалов. – М.-Л.: Энергия, 1964. – 351 с.
2. Адлер Ю.П. Введение в планирование эксперимента. – М.: Металлургия, 1969. – 157 с.
3. Войтко П.Ф. К вопросу об определении случайной перегрузки крана при подъеме пакета хлыстов из воды // Изв. вузов. Лесн. журн. – 1977. – № 3. – С. 119–123.

4. Войтко П.Ф., Фадеев А.С. Исследование процесса выгрузки лесных грузов из воды устройством К-125 // Рациональное использование лесных ресурсов: Матералы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня рожд. В.Е. Печенкина, 24-25 янв. 2001 / Под общ. ред. Ю.А. Ширнина. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2001. – С. 102–104.
5. Комаров, М.С. Динамика механизмов и машин. – М.: Машиностроение, 1969. – 296 с.
6. Лобанов Ю.В., Войтко П.Ф., Грудачев В.Г. Оптимизация процесса отрыва плавающего груза от покоящейся жидкости // Изв. вузов. Лесн. журн. – 1974. – № 3. – С. 32–41.
7. Лобанов Ю.В., Войтко П.Ф. К вопросу об определении объема сортиментного пучка бревен // Изв. вузов. Лесн. журн. – 1975. – № 1. – С. 160–162.
8. Пат. 2203845 РФ, МКИ В 65 G 69/20. Способ захвата в воде пучка лесоматериалов / П.Ф. Войтко, А.С. Фадеев; Заяв. 04.06.01; Опубл. 10.05.03; Бюл. – № 13. – 4 с.
9. РТМ2201-79-93. Краны башенные строительные. Программа и методика типовых (при производстве и реконструкции) и периодических испытаний. – М.: ВНИИСтройдормаш, 1993. – 48 с.
10. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. – 5-е изд. – М.: Наука, 1966. – 416 с.
11. Справочник по кранам: В 2 т. / Под общ. ред. М.М. Гохберга. – Л.: Машиностроение, 1988. – Т. 1. – 535 с.; Т. 2. – 559 с.
12. Таубер Б.А. Подъемно-транспортные машины: Учебник для вузов. – 5-е изд. – М.: Экология, 1991. – 525 с.

ИМИТАЦИОННОЕ ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ УДЕРЖИВАЮЩЕЙ ЗАПАНИ ДЛЯ СБОРА ПЛАВАЮЩИХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ

А.Г. ПОЗДЕЕВ, *проф. МарГТУ, д-р техн. наук,*
Е.М. ЦАРЕВ, *доц. МарГТУ, канд. техн. наук*

В последние годы для решения задач анализа функционирования различных систем все шире применяется метод системной динамики (System Dynamics) [1, 2], основы которого разработаны профессором Дж. Форрестером в 50-х годах. Название этого метода не совсем точно отражает его сущность, так как при его использовании имитируется поведение моделируемой системы во времени с учетом внутрисистемных связей. В настоящее время этот метод все чаще называют System dynamics simulation modeling, мы же будем называть его имитационным динамическим моделированием (ИДМ).

Рассмотрим основные элементы, применяющиеся при построении ИДМ, а также их формальное описание и характеристики.

Каналы потоков субстанций, соединяясь в структуру, образуют некоторую сеть с информационными связями, направленными от уровней к темпам, допускающую графическое изображение. Границы потоков субстанций включают вход в поток субстанции и выход из неё; их принято обозначать так, как это показано на рис. 1.

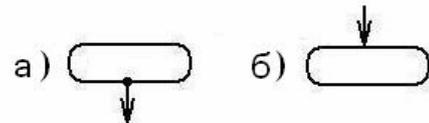


Рис. 1. Границы потоков субстанций:
а – истоки; б – конечные пункты

Уровень – это элемент, характеризующий накопление потока. Он изображается прямоугольником, внутри которого помещают его обозначение $LEV.X$ и номер уравнения, описывающего динамику уровня. Индекс X соответствует моменту времени, для которого берется значение уровня $X = J, K, L$. Значение уровня в настоящий момент времени K равно его значению в предыдущий момент J плюс (минус) изменение уровня за период от момента J до момента K (рис. 2).

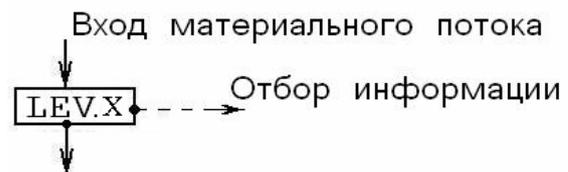


Рис. 2. Уровни накопления потока

Поток, вливаясь в уровень или вытекающая из него, определяет изменение его значения. Обычно потоки являются материальными (например, поток готовой продукции). Кроме того, различают информационные потоки, с помощью которых принимаются решения (определяется значение темпа потока за предыдущий и последующий интервалы времени JK и KL).

Материальные потоки обозначаются непрерывными линиями со стрелками, информационные – штриховыми. Поток измеряется его *темпом*, характеризующим количество переносимой потоком субстанции в единицу времени. В общем случае темп потока обозначается символами RT (рис.3) с соответствующим идентификатором (JK или KL), характеризующим интервал его определения.



Рис. 3. Темп изменения потока

Принимается, что темп, определенный в момент J (или K), остается неизменным до момента K (или L). Так как темп действует на протяжении временного интервала DT, время его действия обозначается двумя индексами, соответствующими началу и концу временного интервала, например, RT.JK – темп, действующий в течение периода от J до K. Количество уровней определяет порядок ИДМ. Вспомогательные функции и переменные обозначают так, как показано на рис.4.

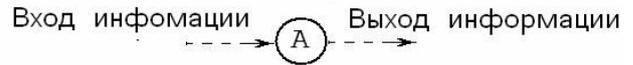


Рис. 4. Вспомогательные функции и переменные

Шаг итераций – это интервал времени, через который вычисляются все параметры модели. Он обозначается DT, момент, предшествующий настоящему – J, настоящий момент – K, будущий – L. Расстояние между моментом J и K или K и L определяется в виде $n \cdot DT$, где n – число шагов итераций.



Рис. 5. Схема процесса построения и применения ИДМ

Весь процесс построения ИДМ можно разделить на следующие этапы:

1. Анализ вербального описания моделируемой системы с целью выделения взаимодействий её отдельных элементов.

2. Построение диаграммы причинно-следственных связей, определение их полярностей и контуров причинно-следственных связей, выделение среди переменных уровней и темпов.

3. Построение на основе диаграммы причинно-следственных связей диаграммы потоков и уровней.

4. Перевод диаграммы потоков и уровней в математическую форму сводится к составлению уравнений динамики модели.

5. Верификация модели (проверка модели на адекватность и приведение её в соответствие с моделируемой системой).

Т а б л и ц а 1

Идентификаторы системы удерживающей запани

Номер элемента	Идентификатор элемента	Вербальное описание
1	LEV	Уровень осадков
2	LEVA	Темп увеличения уровня осадков
3	LEVG	Темп уменьшения уровня осадков
4	LOT	Уровень ветра
5	LOTA	Темп увеличения уровня ветра
6	LOTG	Темп уменьшения уровня ветра
7	LIV	Уровень поверхностных скоростей
8	LIVA	Темп увеличения поверхн. скоростей
9	LIVG	Темп уменьшения поверхн. скоростей
10	POL	Уровень пыжеобразования
11	POLA	Темп увеличения пыжеобразования
12	POLG	Темп уменьшения пыжеобразования
13	PET	Уровень образования топляка
14	PETA	Темп увеличения утопа лесоматериалов
15	PETG	Темп уменьшения утопа лесоматериалов
16	VOD	Уровень водохранилища
17	VODA	Темп увеличения уровня водохранилища
18	VODG	Темп уменьшения уровня водохранилища
19	VODS	Нормативный уровень водохранилища
20	PIL	Уровень воздействия на запань
21	PILA	Темп увеличения уровня воздействия на запань
22	PILG	Темп уменьшения уровня воздействия на запань
23	PER	Уровень утилизации лесоматериалов
24	PERA	Темп увеличения утилизации
25	PERG	Темп уменьшения утилизации
26	EKN	Уровень экономической эффективности
27	EKNA	Темп увеличения экономической эффективности
28	EKNG	Темп уменьшения экономической эффективности
29	F1	Множитель влияния осадков на уровень водохранилища
30	F2	Множитель влияния ветра на поверхностное течение
31	F3	Множитель влияния водохранилища на поверхностное течение
32	F4	Множитель влияния поверхностного течения на пыжеобразование
33	F5	Множитель влияния утилизации на пыжеобразование
34	F6	Множитель влияния утопа лесоматериалов на пыжеобразование
35	F7	Множитель влияния воздействия пыжа на запань
36	F8	Множитель влияния утилизации на экономическую эффективность
37	F9	Множитель влияния запани на экономическую эффективность

При построении диаграммы причинно-следственных связей в результате идентификации и определения этих связей уточняется вербальное описание, после чего могут быть выработаны оперативные меры по улучшению функционирования модели.

Диаграмма потоков и уровней и математическое описание модели, которые строятся на основе диаграммы причинно-следственных связей и вербального описания, часто также вызывают необходимость корректировки и уточнений, которые могут быть оперативно реализованы для конкретного производства.

Схема процесса построения и применения ИДМ для решения задач функциони-

рования удерживающей запани приведена на рис. 5.

Задавая различные альтернативы поведения ИДМ, изменяя структуру и совокупности входных и выходных потоков данных, можно получить наборы результатов, характеризующих поведение моделируемой системы и последствия, к которым приводят те или иные решения. Применение ИДМ совместно с АСУ позволяет при определенных условиях построить автоматизированную информационно-прогнозирующую систему, которая по запросу пользователя будет в автоматическом режиме определять критерии моделирования, формировать различные решения, выбирать оптимальные этим критериям решения и информировать о них пользователя.

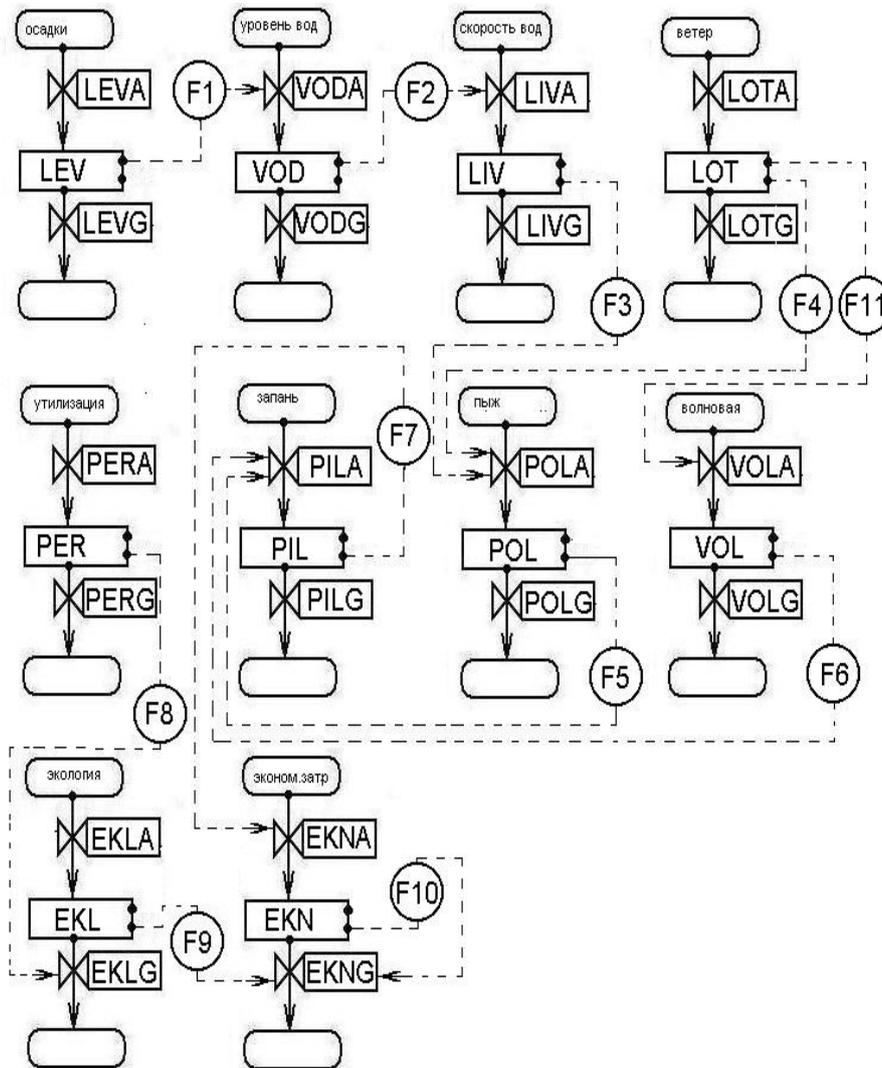


Рис. 6. Структурная диаграмма системы удерживающей запани

t := 0..236

```

EKN(t) :=
  C1 ← 25000
  LEV ← 1000
  C2 ← 63
  VOD ← 1
  C3 ← 0.68
  LIV ← 1
  C4 ← 2.6
  LOT ← 1
  C5 ← 8.2
  POL ← 1
  C6 ← 1716
  VOL ← 1
  C7 ← 2000
  PIL ← 1
  C8 ← 530
  PER ← 1
  C9 ← 0.000004
  EKL ← 1
  C10 ← 1.5
  EKN ← 1200
  for DT ∈ 0..t
    RT1 ← C1·LEV
    VOD ← VOD + RT1
    RT2 ← C2·VOD
    LIV ← LIV + RT2
    RT3 ← (C3·LIV + C4·LOT)
    POL ← POL + RT3
    RT4 ← (C4·LOT)
    VOL ← LIV + RT4
    RT5 ← C5·POL + C6·VOL
    PIL ← PIL + RT5
    RT6 ← C8·PER
    EKL ← EKL + RT6
    RT9 ← C8·EKL + C9·PER
    EKN ← EKN + RT9
  EKL
  
```

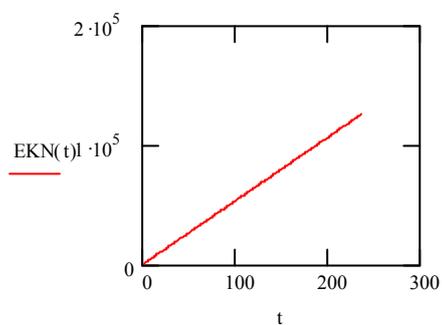


Рис. 7. Программа решения системы уравнений уровней и темпов в среде MathCad методом итераций и графическая зависимость для динамики функций EKN(t)

Наряду с проверкой результатов решений на основе прямого моделирования ИДМ может использоваться и для ретроспективного моделирования, т.е. моделирования от заданного состояния в будущем к настоящему. Реализуя этот подход, мы определяем, какими должны быть показатели функционирования системы сейчас для достижения заданного состояния в будущем и, соответственно, что и в каком направлении должно быть изменено. Естественно, что при обратном моделировании уравнения ИДМ соответствующим образом изменяются.

Принимая во внимание выше рассмотренную схему, на основе диаграммы причинно-следственных связей моделируемой системы строим диаграмму потоков и уровней, т.е. графическое изображение имитационной динамической модели в виде уровней и связывающих их потоков для системы удерживающей запани для сбора плавающих лесоматериалов, идентификаторы которой приведены в таблице (табл. 1).

На основе анализа контуров структурной диаграммы удерживающей запани составляются системы конечно-разностных уравнений и записываются в виде

$$\begin{aligned} \text{LEV.L} &= \text{LEV.K} - \text{DT} * \text{LEVA.KL}; \\ \text{VOD.L} &= \text{VOD.K} + \text{DT} * (\text{VODG.KL} - \text{VODA.KL}); \\ \text{LIV.L} &= \text{LIV.K} + \text{DT} * (\text{LIVG.KL} - \text{LIVA.KL}); \\ \text{LOT.L} &= \text{LOT.K} + \text{DT} * (\text{LOTG.KL} - \text{LOTA.KL}); \quad (1) \\ \text{PER.L} &= \text{PER.K} + \text{DT} * (\text{PERG.KL} - \text{PERA.KL}); \\ \text{PIL.L} &= \text{PIL.K} + \text{DT} * (\text{PILG.KL} - \text{PILA.KL}); \\ \text{POL.L} &= \text{POL.K} + \text{DT} * (\text{POLG.KL} - \text{POLA.KL}); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{VOL.L} &= \text{VOL.K} + \text{DT} * (\text{VOLG.KL} - \text{VOLA.KL}); \\ \text{EKN.L} &= \text{EKN.K} + \text{DT} * (\text{EKNG.KL} - \text{EKNA.KL}); \\ \text{EKL.L} &= \text{EKL.K} + \text{DT} * (\text{EKLG.KL} - \text{EKLA.KL}). \end{aligned}$$

Уравнения темпов имеют вид

$$\begin{aligned} \text{VODA.KL} &= \text{F1} * \text{LEV.K}; \\ \text{LIVA.KL} &= \text{F2} * \text{VOD.K}; \\ \text{POLA.KL} &= \text{F3} * \text{LIV.K} + \text{F4} * \text{LOT.K}; \quad (2) \\ \text{VOLA.KL} &= \text{F11} * \text{LOT.K}; \\ \text{PILA.KL} &= \text{F5} * \text{POL.K} + \text{F6} * \text{VOL.K}; \\ \text{EKLA.KL} &= \text{F8} * \text{PER.K}; \\ \text{ENKA.KL} &= \text{F8} * \text{PER.K} + \text{F9} * \text{EKL.K}. \end{aligned}$$

Полученные уравнения уровней и темпов их изменения вводятся совместно с начальными значениями в интерактивную программу среды MathCad (рис.7).

Решение системы уравнений может быть представлено в виде графических зависимостей функций всех уровней и темпов системы от времени (динамические функции).

При необходимости могут быть построены зависимости для связи любой из входящих в систему переменных друг от друга. Таким образом, система удерживающей запани анализируется в имитационном режиме.

Список литературы

1. Форрестер Дж. Динамика развития города. – М.: Прогресс, 1974 – 286с.
2. Форрестер Дж. Мировая динамика. – М.: Наука, 1978 – 167с.

МЕТОД ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА НА ОСНОВЕ ШКАЛЫ СРАВНЕНИЙ

Е.М ЦАРЕВ, доц. МарГТУ, канд. техн. наук

Среди параметров и показателей, характеризующих любой технический объект, всегда имеются один или несколько таких, которые на протяжении длительного времени имеют тенденцию монотонного изменения или тенденцию поддержания на определенном уровне при достижении своего пре-

дела. Эти показатели всеми осознаются как мера совершенства и прогрессивности, и они оказывают очень сильное влияние на развитие отдельных классов технических объектов и техники в целом. Такие параметры и показатели принято называть критериями развития [1, 2, 3].

Морфологическая таблица

Уровень признака	Весовой коэффициент				
	0,025	0,075	0,125	0,175	0,225
Функциональные критерии					
Скорость обработки объекта			*	“	+
Степень механизации труда			*	+	
Степень автоматизации труда				+*	“
Непрерывность процесса обработки				+*”	
Безотказность				+*”	
Долговечность					+*”
Сохраняемость				+*”	
Ремонтопригодность				*	
Точность измерения				+”	*
Точность попадания в цель		*	+	“	
Автономность		+*			
Мобильность		*	+		
Маневренность				+”	*
Плаучесть				+”	*
Остойчивость					*
Сумма					
Технологические критерии					
Трудоемкость изготовления			+*”		
Стандартизация элементов		*”	+		
Унификация элементов				+”	*
Использования материалов				+*”	
Расчленение на элементы					
Объемное воздействие на предмет труда				+	
Поверхностное воздействие					
Линейное воздействие					
Точечное воздействие				*”	
Комплексное воздействие				*”	
Сумма					
Экономические критерии					
Затраты материалов	“			+	*
Затраты энергии			+		
Затраты на получение и изучение информации				+”	*
Габаритные размеры				*	
Интенсивность использования труда				*	
Интенсивность использования ресурсов			+		
Интенсивность использования технологии					
Использование невозобновляемых ресурсов.					
Использование возобновляемых ресурсов.				+*	
Использование водных ресурсов.				+*”	
Использование лесных ресурсов.				+*”	
Сумма					
Антропологические критерии					
Эргономика			+*”		
Красота				+*	“
Безопасность				*	+”
Экологичность			+*”		
Сумма					
Общая сумма баллов					

Поскольку любой технический объект, как правило, имеет несколько критериев развития, то принцип прогрессивного развития для каждого нового поколения технических объектов заключается в улучшении одних и неухудшении других критериев.

Наборы критериев развития для различных классов технических объектов в значительной степени совпадают, поэтому в целом развитие техники в большей мере подчинено, можно сказать, единому набору критериев, определяющих развитие техники.

Этот набор включает следующие четыре группы критериев:

- *функциональные критерии*, характеризующие важнейшие показатели реализации функции технического объекта;
- *технологические критерии*, связанные только с возможностью и простотой изготовления технического объекта;
- *экономические критерии*, определяющие только экономическую целесообразность реализации функции с помощью рассматриваемого технического объекта;
- *антропологические критерии*, связанные с вопросами человеческого фактора или воздействием положительных и отрицательных факторов на людей, вызванных созданным техническим объектом.

В таблице 1 представлена систематика критериев развития технических объектов, реализующих различные функции, но здесь необходимо отметить, что этот перечень не претендует на исчерпывающую полноту.

Морфологическая таблица предполагает выбор наиболее перспективного технического объекта на основе шкалы сравнения.

Известно, что способности человека производить качественные разграничения

хорошо представлены пятью определениями: равный, слабый, сильный, очень сильный и абсолютно сильный [4,5]. Можно принять компромиссные определения между соседними определениями, когда нужна большая точность.

Весовой коэффициент по шкале сравнения получается путем деления показателя шкалы на число критериев:

$$T = \frac{\dot{i}}{\delta}, \quad (1)$$

где: P – показатель шкалы (1,3,5,7,9);

p – число критериев.

Для примера выбираем три технических объекта, которые относятся к одному классу и имеют широкое применение в условиях лесосплава (лесоудерживающая запань).

На первом этапе на основе морфологического анализа производят сравнение объектов, результаты которого сведены в табл. 2.

Для снижения большой субъективности и получения хороших результатов (соответствующих реальности) из наших ощущений требуется:

- применить математику для построения правильной теории, которая предоставит численные шкалы суждений и других сравнительных измерений;
- найти шкалу, которая будет различать наши ощущения так, чтобы можно было бы доверять соответствию между качественными суждениями и числами этой шкалы;
- иметь возможность воспроизводить измерения реальности, которые нам уже известны из физики и экономики;
- иметь возможность определить величину нашей несогласованности.

Т а б л и ц а 2

Результаты сравнения объектов

	Объект №1	Объект №2	Объект №3
Функциональные	2,6	2,175	1,85
Технологические	1,0	0,8	0,5
Экономические	1,275	1,105	0,45
Антропологические	0,4	0,475	0,75
	5,275	4,555	3,55

При анализе интересующей нас структуры число элементов и их взаимосвязей настолько велико, что превышает способность воспринимать информацию в полном объеме. В этих случаях система делится на подсистемы почти так же, как ЭВМ, состоящая из блоков и их взаимосвязей, причем у каждого блока есть собственная схема.

Когда индивидуальный опыт включает разнообразие ощущений или видов деятельности и требуется некоторая обобщенная интерпретация или действие, то эти ощущения или виды деятельности должны быть каким-то образом объединены. Способ их объединения зависит от цели, которой они предположительно будут служить; наши цели диктуют, на чем следует заострить внимание. Теория отражает то, что представляется естественным ходом человеческого мышления. При столкновении с множеством контролируемых или неконтролируемых элементов, отражающих сложную ситуацию, их объединяют в группы в соответствии с распределением некоторых свойств между элементами. Эти элементы, в свою очередь, могут быть группированы в соответствии с другим набором свойств, создавая элементы еще одного, более высокого уровня, и так до тех пор, пока не будет достигнут единственный элемент – вершина, которую зачастую можно отождествить с целью процесса принятия решений. То, что было сказано выше, обычно называют иерархией[4].

Иерархия есть определенный тип системы, основанный на предположении, что элементы системы могут группироваться в несвязанные множества. Элементы каждой группы находятся под влиянием элементов некоторой вполне определенной группы и, в свою очередь, оказывают влияние на элементы другой группы. Считается, что элементы в

каждой группе иерархии (называемой уровнем, кластером, стратой) независимы.

Основной задачей в иерархии является оценка высших уровней. При этом исходят из взаимодействия различных уровней иерархии, а не из непосредственной зависимости от элементов на этих уровнях. В математической теории иерархий используется метод оценки воздействия уровня на соседний верхний уровень посредством композиции соответствующего вклада (приоритетов) элементов нижнего уровня по отношению к элементу верхнего уровня. Эта композиция может распространяться вверх по иерархии.

Суть метода можно описать следующим образом. Задаются элементы одного, в данном случае, четвертого уровня иерархии и один элемент e следующего, более высокого уровня. Необходимо сравнить элементы четвертого уровня попарно по силе их влияния на e , поместить числа, отражающие достигнутое при сравнении согласие во мнениях, в матрицу и найти собственный вектор с наибольшим собственным значением. Собственный вектор обеспечивает упорядочение приоритетов, а собственное значение является мерой согласованности суждений.

В начале определим шкалу приоритетов для нашего примера. Сравним критерии табл. 3:

$$\begin{aligned} A_{11} &= 1 \quad A_{12} = 2 \quad A_{13} = 3 \quad A_{14} = 5, \\ A_{21} &= 1/2 \quad A_{22} = 1 \quad A_{23} = 2 \quad A_{24} = 4,5, \\ A_{31} &= 1/3 \quad A_{32} = 1/2 \quad A_{33} = 1 \quad A_{34} = 3, \\ A_{41} &= 1/5 \quad A_{42} = 1/4 \quad A_{43} = 1/3 \quad A_{44} = 1. \end{aligned} \quad (2)$$

Представим это в виде матрицы

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & A_{14} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} & A_{24} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} & A_{34} \\ A_{41} & A_{42} & A_{43} & A_{44} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Т а б л и ц а 3

Сравнение критериев развития технических объектов

	Функциональные	Экономические	Технологические	Антропологич.
Функциональные	1	2	3	5
Экономические	1/2	1	2	4,5
Технологические	1/3	1/2	1	3
Антропологич.	1/5	1/4	1/3	1

При сравнении элемента с самим собой имеем равную значимость, так что на пересечении строки и столбца по главной диагонали матрицы должны стоять единицы.

Заносим соответствующие обратные величины. Числа 1,2,3,5 (A11, A12, A13, A14) и их обратные величины (A21, A31, A41) используются для облегчения компромиссов между слегка отличающимися от основных чисел суждениями. Используем также рациональные числа (A23, A24, A34) для получения отношений из описанных выше значений шкалы, когда желательно увеличить согласованность всей матрицы при малом числе суждений (не менее $n-1$).

Следующий шаг состоит в вычислении вектора приоритета по данной матрице.

В математических терминах это – вычисление главного собственного вектора, который после нормализации становится вектором приоритетов. Точно решить эту задачу можно следующим способом.

Необходимо поделить элементы каждого столбца на сумму элементов этого столбца (т.е. нормализуется столбец):

$$\begin{aligned} C1 &= A11 + A21 + A31 + A41 & C2 &= A12 + A22 + A32 + A42 \\ C3 &= A13 + A23 + A33 + A43 & C4 &= A14 + A24 + A34 + A44 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} D1 &= A11/C1 & D2 &= A21/C1 & D3 &= A31/C1 & D4 &= A41/C1 \\ D11 &= A12/C2 & D12 &= A22/C2 & D13 &= A32/C2 & D14 &= A42/C2 \\ D21 &= A13/C3 & D22 &= A23/C3 & D23 &= A33/C3 & D24 &= A43/C3 \\ D31 &= A14/C4 & D32 &= A24/C4 & D33 &= A34/C4 & D34 &= A44/C4, \end{aligned} \quad (5)$$

затем сложить элементы каждой полученной строки и разделить эту сумму на число элементов строки:

$$\begin{aligned} E1 &= D1 + D11 + D21 + D31 & E2 &= D2 + D12 + D22 + D32 \\ E3 &= D3 + D13 + D23 + D33 & E4 &= D4 + D14 + D24 + D34 \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} E11 &= E1/4 & E12 &= E2/4 & E13 &= E3/4 & E14 &= E4/4 \end{aligned} \quad (7)$$

Получим вектор-столбец приоритетов

$$\begin{bmatrix} E11 \\ E12 \\ E13 \\ E14 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Это – процесс усреднения по нормализованным столбцам.

Умножив матрицу сравнений (3) справа на полученную оценку вектора решения (8), получим новый вектор:

$$\begin{bmatrix} A11 & A12 & A13 & A14 \\ A21 & A22 & A23 & A24 \\ A31 & A32 & A33 & A34 \\ A41 & A42 & A43 & A44 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} E11 \\ E12 \\ E13 \\ E14 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K11 \\ K12 \\ K13 \\ K14 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Разделив первую компоненту этого вектора на первую компоненту оценки вектора решения, вторую компоненту нового вектора на вторую компоненту оценки вектора решения и т.д., определим еще один вектор:

$$\begin{aligned} R1 &= K11/E11 & R2 &= K12/E12 & R3 &= K13/E13 & R4 &= K14/E14. \end{aligned} \quad (10)$$

Разделив сумму компонентов этого вектора на число компонентов, найдем приближение к числу λ_{\max} (называемому максимальным или главным собственным значением), используемому для оценки согласованности, отражающей пропорциональность предпочтений:

$$\lambda_{\max} = (R1 + R2 + R3 + R4)/4 \quad (11)$$

Чем ближе λ_{\max} к n (числу объектов или видов действия в матрице), тем более согласован результат.

При этом отклонение от согласованности может быть выражено величиной

$$(\lambda_{\max} - n)/(n - 1),$$

которую называют индексом согласованности (ИС).

Индекс согласованности сгенерированный случайным образом по шкале от 1 до 9 обратносимметричной матрицы с соответствующими обратными величинами элементов, называют случайным индексом (СИ).

В табл. 4 представлены порядок матрицы (первая строка) и средние случайные индексы (вторая строка) [4].

Индексы согласованности

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,54	1,56	1,57	1,59

Т а б л и ц а 5

Сравнение технических объектов относительно четырех характеристик

	Функциональные критерии				Технологические критерии		
	A	B	C		A	B	C
A	P11	P12	P13	A	G11	G12	G13
B	P21	P22	P23	B	G21	G22	G23
C	P31	P32	P33	C	G31	G32	G33
	Экономические критерии				Антропологические критерии		
	A	B	C		A	B	C
A	H11	H12	H13	A	V11	V12	V13
B	H21	H22	H23	B	V21	V22	V23
C	H31	H32	H33	C	V31	V32	V33

Т а б л и ц а 6

Функциональные критерии	Технологические критерии	Экономические критерии	Антропологические критерии
P111	G111	H111	V111
P112	G112	H112	V112
P113	G113	H113	V113

Отношение индекса согласованности к случайному индексу для матрицы того же порядка называется отношением согласованности. Значение отношения согласованности, меньшее или равное 0,10, считается приемлемым.

По вышепредложенной методике производится сравнение четырех независимых характеристик рассматриваемых объектов (табл. 5).

После решения получаем вектора приоритетов, представленные в табл. 6

Представим приведенную выше таблицу в виде матрицы

$$\begin{bmatrix} P_{111} & G_{111} & H_{111} & V_{111} \\ P_{112} & G_{112} & H_{112} & V_{112} \\ P_{113} & G_{113} & H_{113} & V_{113} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Чтобы получить общее ранжирование объектов, умножим матрицу (12) на транспонированный вектор – строку весов характеристик.

Предыдущие вычисления могут быть определены в виде следующего матричного произведения:

$$\begin{bmatrix} P_{111} & G_{111} & H_{111} & V_{111} \\ P_{112} & G_{112} & H_{112} & V_{112} \\ P_{113} & G_{113} & H_{113} & V_{113} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} E_{11} \\ E_{12} \\ E_{13} \\ E_{14} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Окончательно получаем следующие приоритеты объектов: M1, M2, M3.

Данный метод позволяет исключить субъективный подход при оценке качества технического объекта и получить хорошие результаты, соответствующие реальности, исходя из наших ощущений.

Метод позволяет определить наиболее перспективные технические решения для последующего формирования систем машин.

Список литературы

1. Алгоритмы оптимизации проектных решений / Под. ред. А.И. Половинкина. – М.: Энергия, 1976. – 264 с.
2. Половинкин. А.И. Основы инженерного творчества: Учебное пособие. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.
3. Половинкин. А.И. Методы инженерного творчества: Учебное пособие. – Волгоград.: Волг.ПИ, 1984. – 364 с.
4. Саати Т.Л. Принятие решений: Метод анализа иерархий / Пер.с англ. Р.Г. Вачнадзе. – М.: Радио и связь, 1993. – 314 с.
5. Теория прогнозирования и принятия решений / Под ред. С.А. Саркисяна. – М.: Высшая школа, 1977. – 351 с.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЗДУХОПЛАВАТЕЛЬНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (ВЛА) В ЛЕСНОМ КОМПЛЕКСЕ

Э.Ю. ТОЛСТОНОГОВ, доц. каф. технологии и оборудования лесопромышленного производства ХГТУ, канд. техн. наук

Трудности освоения горных, заболоченных, бездорожных лесных площадей привлекли внимание лесозаготовителей к нетрадиционному воздушному лесотранспорту.

Наиболее приемлемым для работы в труднодоступных лесных районах стал вертолетный транспорт древесины, но в связи с дороговизной летного часа он не получил широкого применения [2,8]. Сдерживающими факторами в использовании вертолетного лесотранспорта явились также низкая грузоподъемность вертолетов и невозможность работы при боковом ветре.

Вышеприведенные недостатки отсутствуют у ВЛА – аэростатов и дирижаблей различных конструкций [1, 3, 6]. По сравнению с вертолетами они могут больше выдерживать ветровые нагрузки, работать в тумане, имеют большую грузоподъемность, а стоимость их эксплуатации на порядок ниже вертолетной [1, 5]. Кроме того, они обладают такими преимуществами воздушного транспорта, как отсутствие вредного воздействия на растительный слой и почву, что ставит их в разряд экологически чистых транспортных средств.

Первые испытания аэростатной трелевочной установки древесины проводились в Швеции в 1956–57 гг. под руководством профессора Сундберга, в последующем аналогичные исследования и испытания проводились в США, Канаде, Японии, СССР и ряде других стран (табл. 1).

В начальный период лесозаготовители разных стран преимущественно применяли привязные аэродинамические сигарообразные аэростаты заграждения, оставшиеся с военных времен. Однако впоследствии опытом эксплуатации фирм Аляски, Британской Колумбии и Айдахо было доказано, что аэростаты естественной формы превосходят

аэродинамические аэростаты, т. к. имеют меньший вес, простоты в изготовлении и эксплуатации.

Некоторые аэростатические трелевочные системы американской фирмы «Богемия Ламбер» приведены на рис.1. Находясь в воздухе без груза, аэростат мог выдерживать ветер до 80 км/ч; на верхнем полюсе каждого аэростата монтировались молниеотводы, оболочка изготавливалась из многослойной дакроновой газонепроницаемой ткани.

Транспортирование трелевочного аэростата с тросами и оснасткой с одного участка работ на другой осуществлялось с помощью трактора с лебедкой для удержания аэростата. Для трелевки древесины с места разгрузки аэростата до автодороги использовался другой трактор, а для погрузки на лесовозный автомобиль – погрузчик.

Площадку для хранения и обслуживания привязного аэростата размещают в закрытом от ветра месте. Здесь же хранят баллоны с несущим газом или установки для получения водорода.

Опытная проверка аэростатно-трелевочной установки проводилась в СССР на Кавказе в 1968 г. коллективом Московского лесотехнического института под руководством В.М. Пикалкина [4]. В ходе испытаний аэростата заграждения АЗ-55 выяснилось, что его сигарообразная форма мало приемлема для работы в лесу из-за нерешенности вопросов надежной управляемости (змейковый эффект). Трудности с наполнением оболочки аэростата, его транспортировкой и хранением возникли в связи с отсутствием специализированного комплекса [7] и оборудованных ветрозащищенных мест. Относительно невысокая грузоподъемность (300–500 кг) не позволяла трелевать

крупные деревья, хлысты, сортименты, что снижало эффективность работы. Однако в целом результаты проверки показали принципиальную возможность применения аэростатов на трелевке леса в горных условиях и дальнейшую перспективу распространения этого метода. Далее исследовательские работы были продолжены.

Так, в связи с началом строительства в СССР в начале 70-х гг. Байкало-Амурской магистрали и возникшей проблемой освое-

ния горных экологически уязвимых лесных массивов, правительством в 1984 г. было поручено ЦНИИМЭ, Гипролестрансу и Долгопрудненскому КБ автоматики (головному научному центру по воздухоплаванию) исследовать возможность применения аэростатов для трелевки леса. При этом был использован положительный опыт МЛТИ 1968 г. Результаты исследований не дошли до практического применения в связи с разразившимся кризисом.

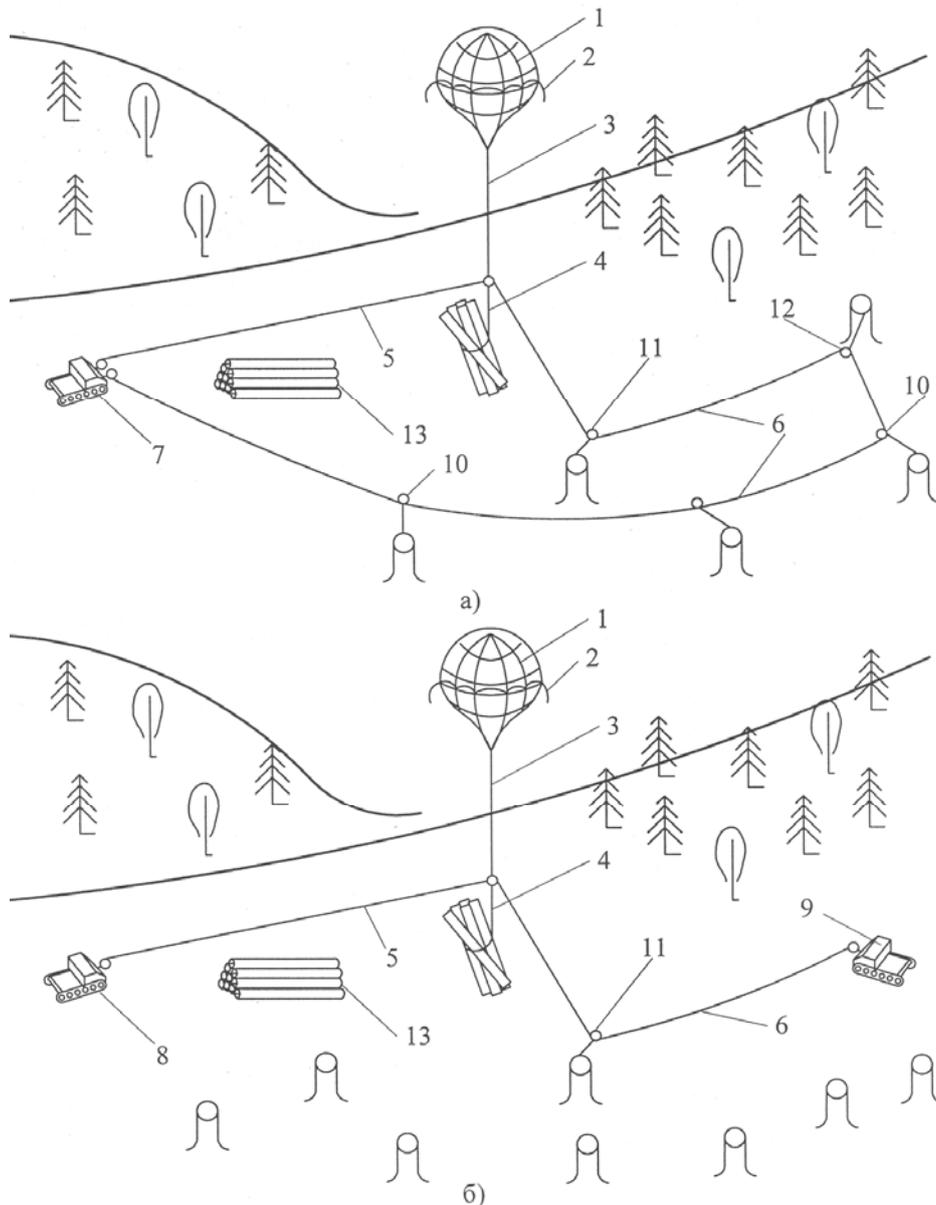


Рис. 1. Аэростатная трелевочная система (а – с одной лебедкой; б – с двумя лебедками): 1 – аэростат; 2 – швартовочные стропы; 3 – грузовой трос; 4 – чокеры; 5 – несущий трос; 6 – тяговый трос; 7 – двухбарабанная лебедка; 8 – нижняя однобарабанная лебедка; 9 – верхняя однобарабанная лебедка; 10 – тяговый блок; 11 – натяжной блок; 12 – хвостовой блок; 13 – штабель лесоматериалов

Т а б л и ц а 1

Страна, фирма	Год испытания	Параметры аэростата			Сменная производительность, м ³ /см	Среднее расстояние трелевки, м	Применяемая кинематическая схема
		Объем, м ³	форма	Полезная грузоподъемность, кг			
Швеция	1956–1957	500	Сигарообразная	200–230	9–10	150	Ленточная однолебедочная
Канада, фирма «Эйр-Рил транспорт»	1963	2х2380	Два сигарообразных	1800	60–70	300	Ленточная однолебедочная
США, фирмы «Богемия Ламбер» и «Гудиер Аэроспейс»	1963	2х1060	V-образный	800–900	20–30	500	Ленточная однолебедочная
	1965	2435	Сигарообразная	Свыше 1000	около 40	400	то же
	1965	4955	Сигарообразная	Около 2000	75–80	400	то же
США, фирма «Богемия Ламбер»	1966	7080	Естественная шарообразная	10000	160–165	500	Ленточная однолебедочная двухбарабанная
СССР, Московский лесотехнический институт	1968	750	Сигарообразный аэростат заграждения АЗ–55	300–500	20–30	1000	Ленточная однолебедочная двухбарабанная
США, фирма «Рэйвен»	1970	17360	Естественная сферическая	13100	–	–	–
	1970	44500		29600	–	–	–
Япония, фирма «Итоносенейшнл Форест»	1979	1400	Сферическая	730	–	–	Трехбарабанная трехопорная с лебедкой У–33НД6 мощностью 77 кВт
США, фирма «Богемия Ламбер»	1983	15000	Сферическая	12000	–	–	Двухопорная однобарабанная лебедка
Россия, дальневосточный центр воздухоплавания «Аэрос»	с 2000	250–500	Естественная сферическая	200–500	–	–	–

Т а б л и ц а 2

Грузоподъемность, кг	Площадь участка, га	Годовой объем перевозок древесины, м ³	Стоимость трелевки 1 м ³ , руб.		Стоимость вертолетной трелевки 1 м ³ , руб.*
			на гелии	на водороде	
1500	40	20000	13,2	9,3	180–250
3000	75	40000	8,8	5,7	150–180
5000	126	65000	6,5	4,0	130–150
10000	260	130000	4,1	2,3	100–130

* По данным исследований [2].

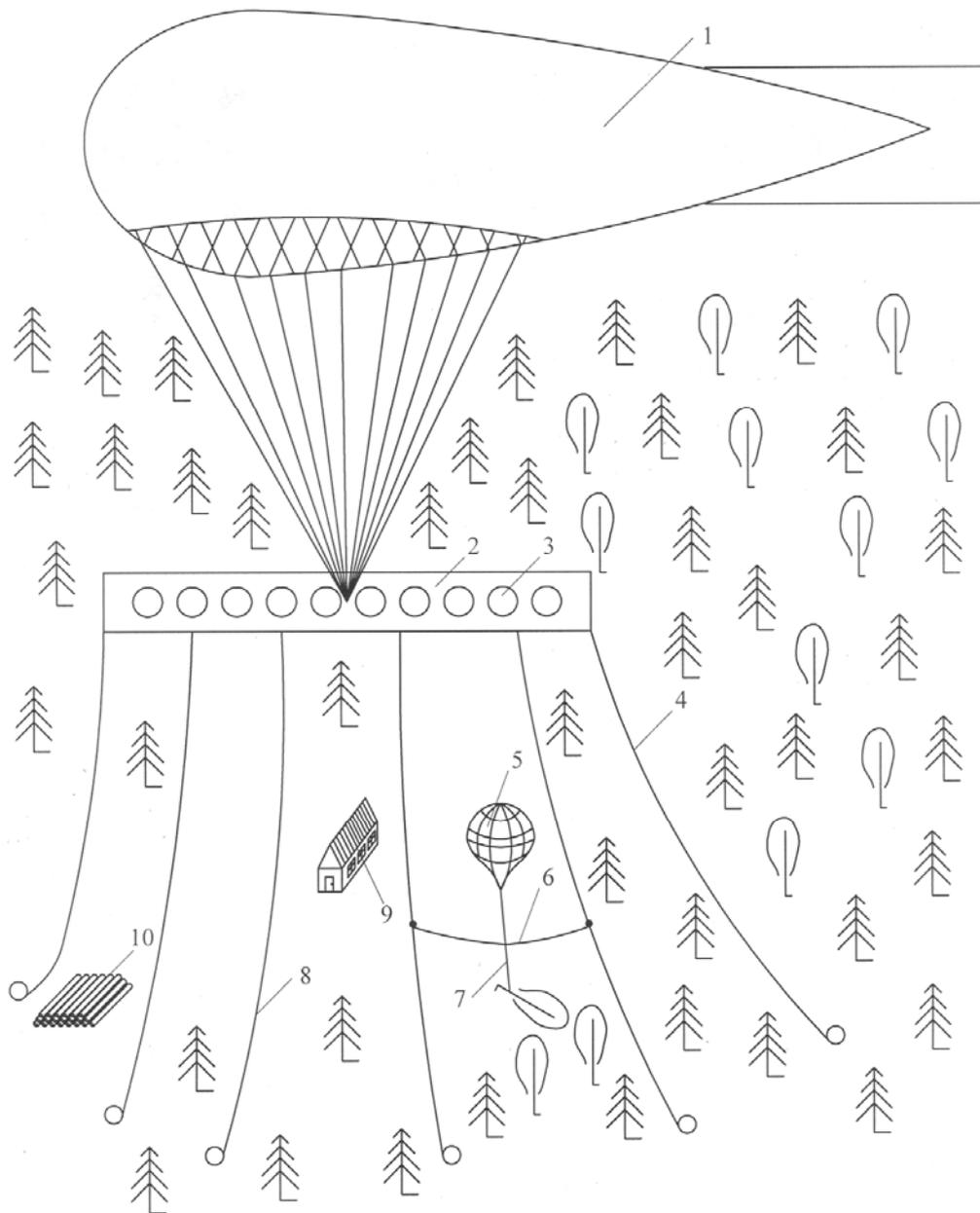


Рис. 2. Трелевочная система Торонского университета: 1 – аэростат; 2 – платформа; 3 – лебедка; 4 – трос; 5 – вспомогательный аэростат; 6 – соединительный трос; 7 – грузовой трос; 8 – кабель-трос; 9 – дом обслуживающего персонала; 10 – штабель древесины

Проведенные расчеты стоимости трелевки 1 м³ древесины (в ценах 1984 г.) аэростатами естественной формы и вертолетами грузоподъемностью 1500, 3000, 5000 и 10000 кг соответственно представлены в табл. 2 [1].

Результаты табл. 2 свидетельствуют о более эффективной работе аэростатной системы трелевки, причем повышающейся

при увеличении грузоподъемности аэростата.

В связи с этим разработчиками предлагались различные варианты более крупных аэростатов для трелевки леса.

Одним из таких проектов является предложенный Торонским университетом еще в 1959 г. специальный аэростат для лесозаготовок (рис. 2). Он выглядит следую-

щим образом. Основной аэростат (1), выполненный из специальной полиэтиленовой пленки толщиной 2,5 мм, имеет объем 57000 м³, длину 138 м, диаметр 26,2 м, грузоподъемность около 70 т. Носовая часть оболочки усилена жесткими элементами. Внутри оболочки имеются поперечные диафрагмы, обеспечивающие запас плавучести в случае ее повреждения. Для обеспечения в зимнее время нагрева несущего газа от солнечной радиации до плюсовых температур изнутри оболочка окрашена в черный цвет. К оболочке основного аэростата на стальных канатах подвешена платформа (2) с двенадцатью лебедками (3). Каждая лебедка работает со стальным канатом (4). Диаметр каната 2,5 см, длина 1000 м. Мощность каждой лебедки около 60 кВт, скорость поднятия груза 17 м/с, электропитание осуществляется с наземной дизельной электростанции по кабель-тросу (8). Основной аэростат может флюгировать по ветру относительно платформы (2), соединенной с землей стальными канатами (4). Расчетами установлено, что система будет работоспособной при ветре до 36 м/с. Основной аэростат снабжался молнеуловителями, а стальные канаты (4) заземлялись. Платформа располагается на высоте свыше 200 м. В качестве несущего газа предполагается водород, который может быть получен путем нагрева до большой температуры старых, предварительно измельченных, стальных тросов и пропуска через них водяного пара.

Вспомогательный аэростат (5) объемом 6000 м³ крепится между основными канатами (4). С его помощью транспортируются деревья до места штабелевки. Вспомогательный аэростат оборудован тремя лебедками, две из которых взаимодействуют с соединительным канатом (6) в горизонтальном положении, а третья – с грузовым канатом (7). Всеми тремя лебедками управляет один оператор. При сильном ветре вспомогательный аэростат отцепляется от стальных канатов и закрепляется на якорь или отлетает в укрытие.

Для перемещения аэростата на новое место основные канаты наматываются на

лебедки, установленные на платформе основного аэростата. Если аэростат снимается с причальных канатов, то отсутствие натяжных канатов компенсируется балластом. В качестве балласта может использоваться домик обслуживающего персонала. Основной аэростат вместе с домиком и платформой может буксироваться на новое место работы вспомогательным управляемым (с воздушным винтом) аэростатом.

После доставки на новое место основные канаты с помощью вспомогательного аэростата разматываются по отдельности с лебедок, расположенных на центральной платформе. Рабочие привязывают каждый канат к растущим деревьям на значительном по горизонтали расстоянии от основного аэростата. Освободившись от балласта, аэростат поднимается на высоту, определяемую запасным тросом. Удерживающие канаты натягиваются, затем устанавливается вспомогательный аэростат, и система готова к работе.

Погрузочный пункт располагают в центре лесозаготовительного участка площадью около 40 км². Срок службы аэростатической системы составляет 4–6 лет, количество обслуживающего персонала – 12 человек. Она может быть использована для тушения обнаруженных с нее пожаров, для рассева семян деревьев, для разбрасывания удобрений или средств борьбы с вредными насекомыми.

Данный проект из-за его дороговизны (свыше 4 млн дол. США) пока не получил практического применения.

В США и Канаде для лесоразработок, выгрузки древесины с судов на необорудованный причалами берег применяют преимущественно аэростаты объемом от 7000 м³ до 15000 м³, грузоподъемностью от 3 т до 10 т. Расстояние перемещения – до 1 км, скорость – 40 км/ч [1, с. 103].

Мирового опыта практического применения дирижаблей для трелевки древесины пока не было. Вопросами возможной области применения дирижаблей в лесном комплексе занималось несколько организаций [5,6,8], которые выделили основные

достоинства дирижаблей: плавность хода, большая грузоподъемность, возможность транспортировки крупногабаритных грузов, безаэродромная посадка, отказ от густой дорожной сети, создание небольших перерабатывающих цехов на борту дирижабля, комфортные условия проживания работающих лесного комплекса и т.д. Все эти достоинства несомненно позволяют дирижаблям составить в будущем серьезную конкуренцию самолетам, вертолетам, судам, автотранспорту.

Таким образом, изучение опыта применения ВЛА в лесном комплексе позволило установить, что аэростатические трелевочные системы – наиболее эффективные и экологически приемлемые технологические средства разработки горных лесных массивов по сравнению с вертолетами, канатными установками, машинной технологией лесозаготовок.

Однако существующие конструкции аэростатно-трелевочных систем еще несовершенны. Их применение сдерживает то, что:

- опытные конструкции аэростатов заграждения не приспособлены для работы в лесу, они практически неуправляемы, имеют низкую грузоподъемность;

- пока еще не создана надежная система управления, обслуживания и хранения аэростатно-трелевочных систем;

- используемые в конструкциях стальные тросы снижают эффективность работы аэростатов, т.к. из-за своей массивности, продольной и поперечной жесткости не позволяют перекрывать большие пролеты лесного массива, увеличивают нагрузку на аэростат, уменьшают канатовместимость барабанов лебедок, не смягчают динамических рывков от порывов ветра и т.д.;

- применяемая преимущественно ленточная одно-либо двухлебедочная схема аэростатно-тросовой системы трелевки не позволяет полностью использовать преимущества новой технологии, так как до 30 %

времени затрачивается на монтажно-демонтажные работы.

До сих пор не разработан инструктивно-правовой документ, регламентирующий применение аэростатов на лесозаготовках. Отсутствуют методики расчета и выбора параметров аэростатов для лесного комплекса, нет рекомендаций по их применению.

В связи с этим кафедра технологии и оборудования лесопромышленного производства Хабаровского государственного технического университета, а также Дальневосточный центр воздухоплавания «Аэрос» изучают более современные конструкции трех опорных (три лебедки) аэростатно-канатных систем и проводят их испытания.

Исследование влияния рабочих параметров аэростатно-канатной системы на ее производительность и эффективность изучается на разработанной кафедрой физической модели.

Список литературы

1. Бойко Ю.С. Воздухоплавание: Привязное. Свободное. Управляемое. – М.: Изд-во МГУП, 2001. – 462 с.
2. Гордиенко А. Оплата труда при транспортировке древесины вертолетами // Лесн. пром-сть. – 1993. – № 4. – С. 13–14.
3. Заманов М.Б. Основы расчета и конструирования тепловых аэростатов / Под ред. Ю.В. Щербакова. – М.: Русское воздухопл. общ-во; 2000. – 72 с.
4. Захаренков В. Дороги, поднятые в небо // Советская Россия. – 1976. – 18 марта.
5. Использование современных аэростатических летательных аппаратов (АЛА) / Под ред. В.И. Ноздрин. – М., 1989. – 207 с.
6. К вопросу о возможности использования дирижаблей в лесной промышленности / Отчет о НИР по теме № 7-И 1971 г. № Гос.рег. 71019817.
7. Кочерова В.П. Разработка метода расчета параметров свободного аэростата при газонаполнении и взлете: Дис. ... канд. техн. наук. – М., 1993.
8. Толстоногов Э.Ю. Транспортировка древесины по воздуху (опыт, целесообразность, перспективы). – Хабаровск: Хабаровское книжное изд-во, 2003. – 20 с.

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРАПЕЦЕИДАЛЬНЫХ ПЛИТ СБОРНЫХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ УЧАСТКОВ КРИВЫХ В ПЛАНЕ

Д.Н. АФОНИЧЕВ, доц. каф. транспорта леса и инженерной геодезии ВГЛТА, канд. техн. наук

Длина колесопровода на закруглении является функцией радиуса его оси R_i и угла поворота θ (рад.) и составляет $R_i\theta$ [1, 2]. Если в колесопровод укладывается n_i плит, то каждая плита занимает ячейку трапецеидальной формы со средней линией, равной $L_i = \frac{R_i\theta}{n_i}$, и шириной, равной ширине плиты B . Схема колесопровода на кривой в плане показана на рис. 1.

На рисунке 2 приведены схемы вписывания плит различного планового очертания в ячейки криволинейных колесопроводов. Площадь ячейки разделяется на несколько зон: зона поперечного шва, зоны уширения и раскрытия поперечного шва и зона тела плиты. Длина средней линии ячейки складывается из четырех составляющих: ширины поперечного шва δ , уширения поперечного шва δ_{oi} , ширины раскрытия

поперечного шва по средней линии d и длины плиты L . Итак, длина средней линии ячейки получается: $L + \delta + \delta_{oi} + d$.

Рассматривая количественную характеристику вписывания плит в ячейки, надо отметить, что L , δ , δ_o являются независимыми переменными, а d представляет собой функцию формы плиты и элементарного угла поворота α . В случае прямоугольной плиты (рис. 2а) $d = 2 \frac{B}{2} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{B\alpha}{2}$. При укладке трапецеидальной плиты с раскрытием шва к центру закругления (рис. 2б) ширина раскрытия шва составит

$$d = 2 \left(\frac{B}{2} \operatorname{tg} \frac{\alpha_o}{2} - \frac{B}{2} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right) = \frac{B}{2} (\alpha_o - \alpha),$$

где α_o – угол, образованный пересечением бедер трапецеидальной плиты, рад.

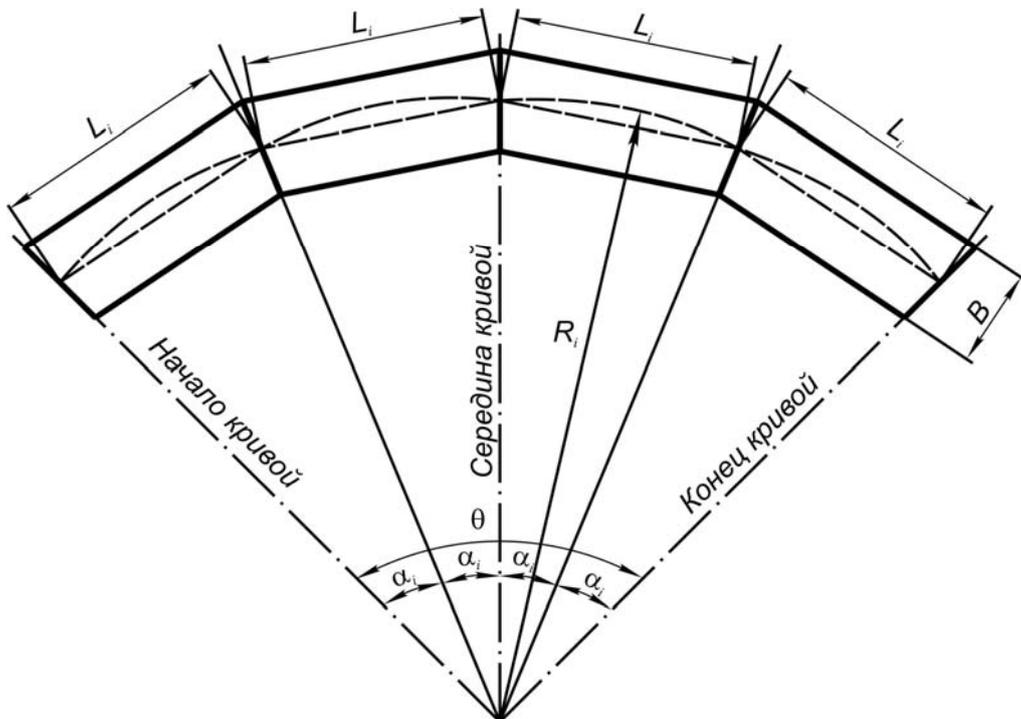


Рис. 1. Схема колесопровода на кривой

Для схемы укладки трапецидальной плиты с раскрытием шва от центра закругления, показанной на рис. 2в, ширина раскрытия шва составит $d = \frac{B}{2}(\alpha - \alpha_0)$. Полученные зависимости для определения величины d говорят о том, что для покрытия на кривой с определенными параметрами она является постоянной и не зависит от R_i .

Оптимальное вписывание плит трапецидального планового очертания в ячейку обеспечивается при $\alpha_0 = \alpha$. Угол α_0 является характеристикой плиты и зависит от ее геометрических параметров. Трапецидальная дорожная плита имеет длины боковых граней L_{\max} и L_{\min} , причем $L = \frac{L_{\max} + L_{\min}}{2}$ – номинальная длина трапецидальной плиты, или длина ее средней линии.

На рис. 3 показана схема трапецидальной плиты, из которой следует, что

$$\alpha_0 = \frac{L}{R_0},$$

где R_0 – базовый радиус плиты (м), зависящий от ее формы в плане.

Рассматривая геометрические соотношения в треугольниках, образованных сторонами трапецидальной плиты, можно получить зависимость базового радиуса от параметров плиты

$$R_0 = \frac{BL}{L_{\max} - L_{\min}}. \quad (1)$$

Введем понятие $k_{mp} = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L}$ – коэффициент трапецидальности плиты, характеризующей ее форму в плане. С учетом этого представленная зависимость (1) примет вид:

$$R_0 = \frac{B}{k_{mp}}, \text{ а } \alpha_0 = k_{mp} \frac{L}{B}.$$

Коэффициент трапецидальности определяет величину базового радиуса плиты – радиуса оси колесопровода, в который такие плиты могут быть уложены без уширения и раскрытия поперечного шва. Типовые конструкции трапецидальных дорожных плит, используемые на предприятиях лесного комплекса, имеют ширину 1 м и коэффици-

ент трапецидальности 0,01. В результате все они имеют базовый радиус $R_0 = 100$ м, что ограничивает область их применения.

Оптимальное вписывание трапецидальной плиты в криволинейную траекторию с радиусом R_i обеспечивается, если $\frac{L_i}{R_i} = k_{mpi} \frac{L}{B}$. Это тождество позволяет найти оптимальные параметры трапецидальных плит для конкретных радиусов закруглений в зависимости от R_i при помощи графиков, показанных на рис. 4.

При помощи значения коэффициента трапецидальности можно определить отклонение длины боковой грани плиты от ее номинальной длины ΔL :

$$\left(\Delta L = L_{\max} - L = L - L_{\min} = \frac{L}{2} k_{mp} \right).$$

На рис. 5 показан график зависимости отклонения длины боковой грани дорожной плиты от ее коэффициента трапецидальности и номинальной длины.

Совместный анализ рисунков 4 и 5 показывает, что форма и параметры дорожной трапецидальной плиты жестко связаны с радиусом оси колесопровода.

Для исключения необходимости изготовления плит с очень близкими параметрами в колесопроводах, по мере удаления от центра закругления, необходимо уширение и раскрытие поперечного шва.

Величина раскрытия поперечного шва, как было сказано ранее, зависит от элементарного угла поворота

$$\alpha = \frac{L + \delta + d}{R_i} = \frac{L + \delta + \delta_{oi} + d}{R_i} \text{ и базового угла}$$

$$\alpha_0 = \frac{L}{R_0} k_{mp} \frac{L}{B} \text{ и равна:}$$

а) при раскрытии шва к центру закругления

$$d = \frac{L(k_{mp} R_1 - B) - B\delta}{2R_1 + B}, \quad k_{mp} \geq \frac{B}{R_1}; \quad (2)$$

б) при раскрытии шва от центра закругления

$$d = \frac{L(B - k_{mp} R_1) + B\delta}{2R_1 - B}, \quad k_{mp} < \frac{B}{R_1}; \quad (3)$$

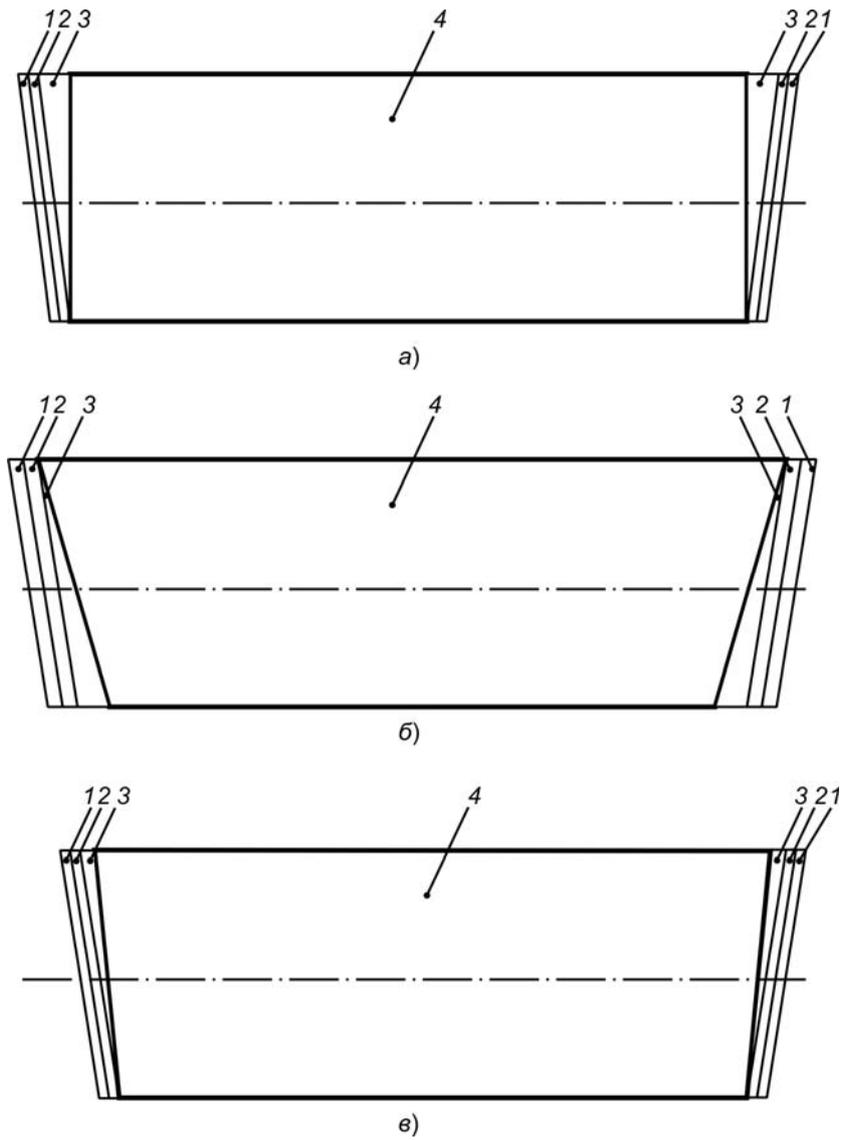


Рис. 2. Схемы вписывания плит в ячейки: 1 – поперечный шов; 2 – уширение поперечного шва; 3 – раскрытие поперечного шва; 4 – тело плиты; а – прямоугольная плита; б, в – трапециевидные плиты

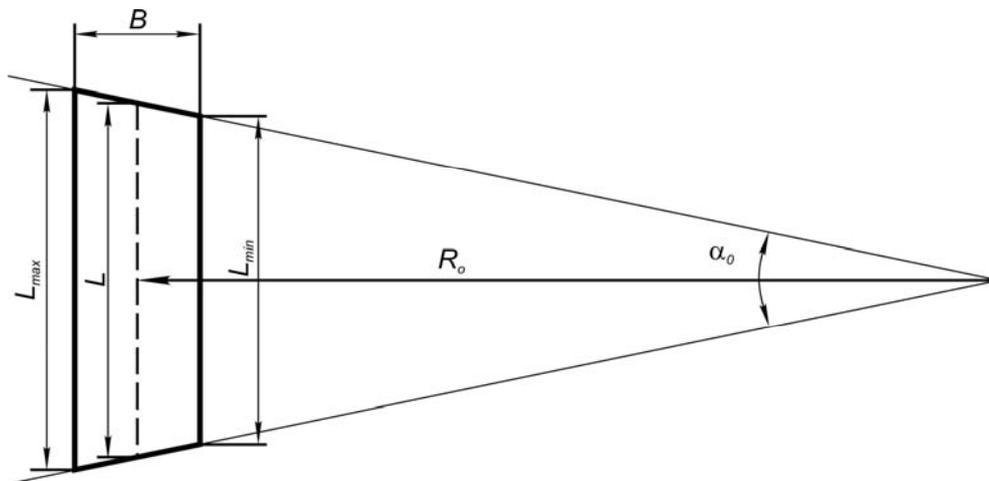


Рис. 3. Дорожная трапециевидальная плита

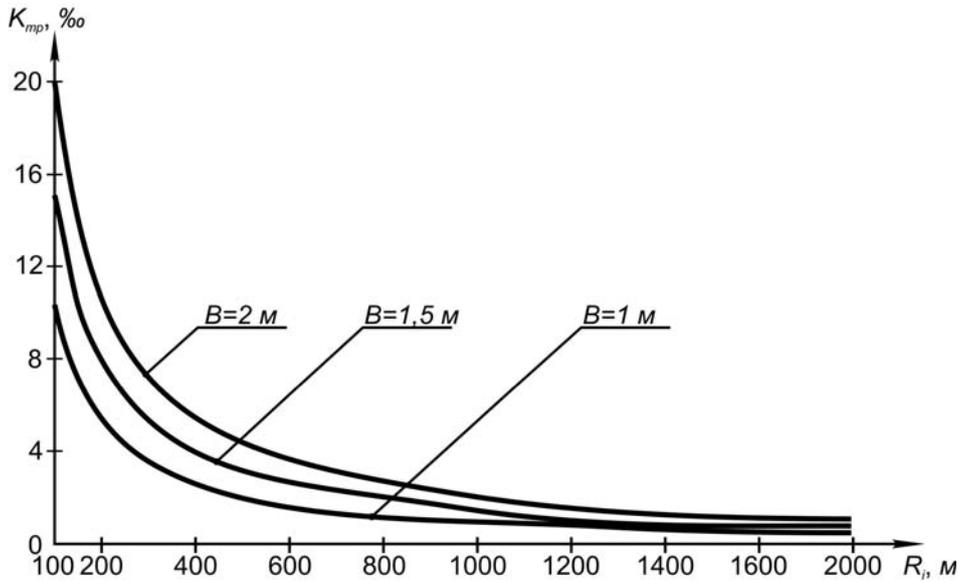


Рис. 4. Графики зависимости коэффициента трапецидальности дорожных плит от радиуса оси колесопровода

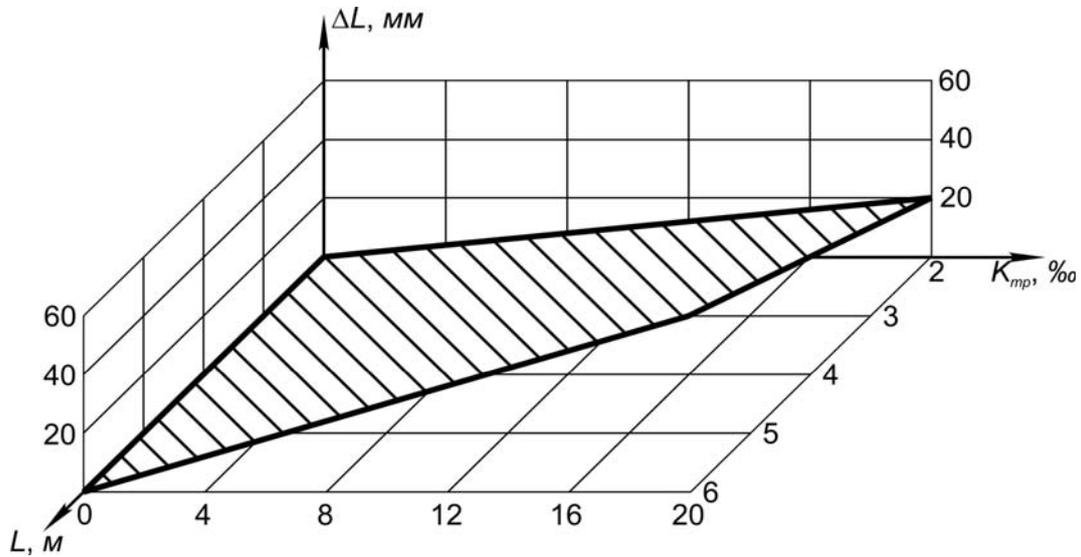


Рис. 5. График зависимости отклонения длины боковой грани дорожной трапецидальной плиты от ее номинальной длины и коэффициента трапецидальности

Учитывая, что величины

$$\frac{B\delta}{2R_1 + B} \text{ и } \frac{B\delta}{2R_1 - B}$$

очень малы, можно упростить зависимости (2) и (3) и привести их к единой форме:

$$d = \frac{L}{2} \left| \frac{B}{R_1} - k_{mp} \right|. \quad (4)$$

Уширение шва i -го от центра закругления колесопровода составит

$$\delta_{oi} = \frac{b_i - b_1}{R_1} (L + \delta + d). \quad (5)$$

Полное увеличение ширины поперечного шва $2d + \delta_{oi}$ i -го колесопровода будет

$$\frac{2d + \delta_{oi}}{L} = \frac{b_i - b_1}{R_1} + \left| \frac{B}{R_1} - k_{mp} \right| \left(1 + \frac{b_i - b_1}{2R_1} \right). \quad (6)$$

Из выражения (6) можно найти зависимости для определения R_1 при заданной величине полного увеличения ширины поперечного шва i -го колесопровода $2d + \delta_{oi}$:

$$R_1 = \frac{b_i - b_1 + B}{\frac{2d + \delta_{oi}}{L} + k_{mp}} \text{ при } k_{mp} \leq \frac{B}{R_1};$$

$$R_1 = \frac{b_i - b_1 - B}{\frac{2d + \delta_{oi}}{L} - k_{mp}} \text{ при } k_{mp} > \frac{B}{R_1}. \quad (7)$$

При $k_{mp} \leq \frac{B}{R_1}$, $R_1 = R_0$ раскрытие шва

не происходит, то есть $d = 0$, а коэффициент трапецидальности плиты составит

$$k_{mp} = \frac{B\delta_{oi}}{L(b_i - b_1)}. \quad (8)$$

Выражение (8) связывает размеры B и L , форму k_{mp} и параметры укладки трапецидальных плит в покрытия δ_{oi} , $b_i - b_1$, обеспечивающие в колесопроводах уширение поперечного шва на величину не более δ_{oi} .

Если глубоко рассматривать геометрические соотношения в ячейке колесопровода, то можно установить, что возможна укладка плит без раскрытия шва при $R_1 > R_0$. Это следует из пропорции

$$\frac{L}{R_0} = \frac{L + \delta}{R_1}; R_1 = R_0 \left(1 + \frac{\delta}{L} \right),$$

где δ – уширение поперечного шва в первом от центра закругления колесопровод – величина очень малая.

Отсюда можно сделать вывод: R_1 принадлежит диапазону $(1 \dots 1,005)R_0$.

Из формулы (8) можно получить значение R_0 , при котором обеспечивается укладка плит в колесопроводы с уширением шва на величину не более δ_{oi}

$$R_0 = R_0 \frac{L(b_i - b_1)}{\delta_{oi}}. \quad (9)$$

На рис. 6 показаны графики зависимости базового радиуса трапецидальной плиты от ее длины при значениях $\delta_{oi} = 5, 10$ и 15 мм. Данные графики показывают значения R_0 , при которых возможно осуществить раскрытие поперечного шва без ущерба качеству ездовой поверхности покрытия. Из рис. 6 видно, что чем больше длина плиты и жестче требования по ширине поперечного шва, тем больший базовый радиус должны иметь плиты. В результате существует ограничение формы плит, связанное с ограничением нижнего предела базового радиуса, выражаемое гиперболической поверхностью, показанной на рис. 7.

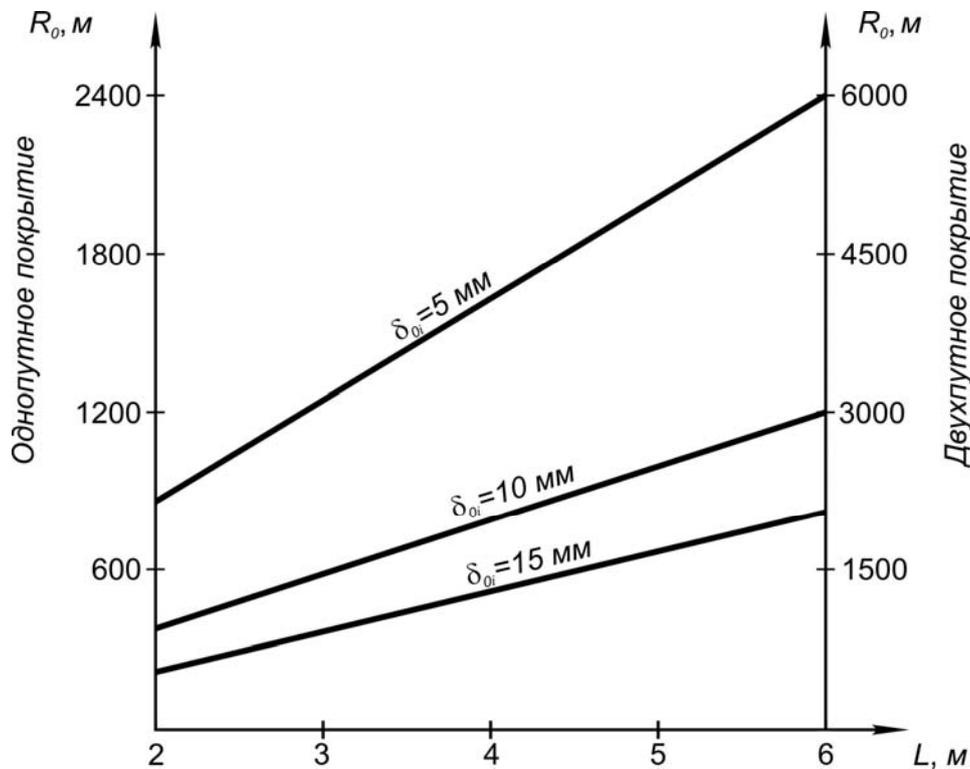


Рис. 6. Графики зависимости радиуса оси первого от центра закругления колесопровода от номинальной длины трапецидальной плиты

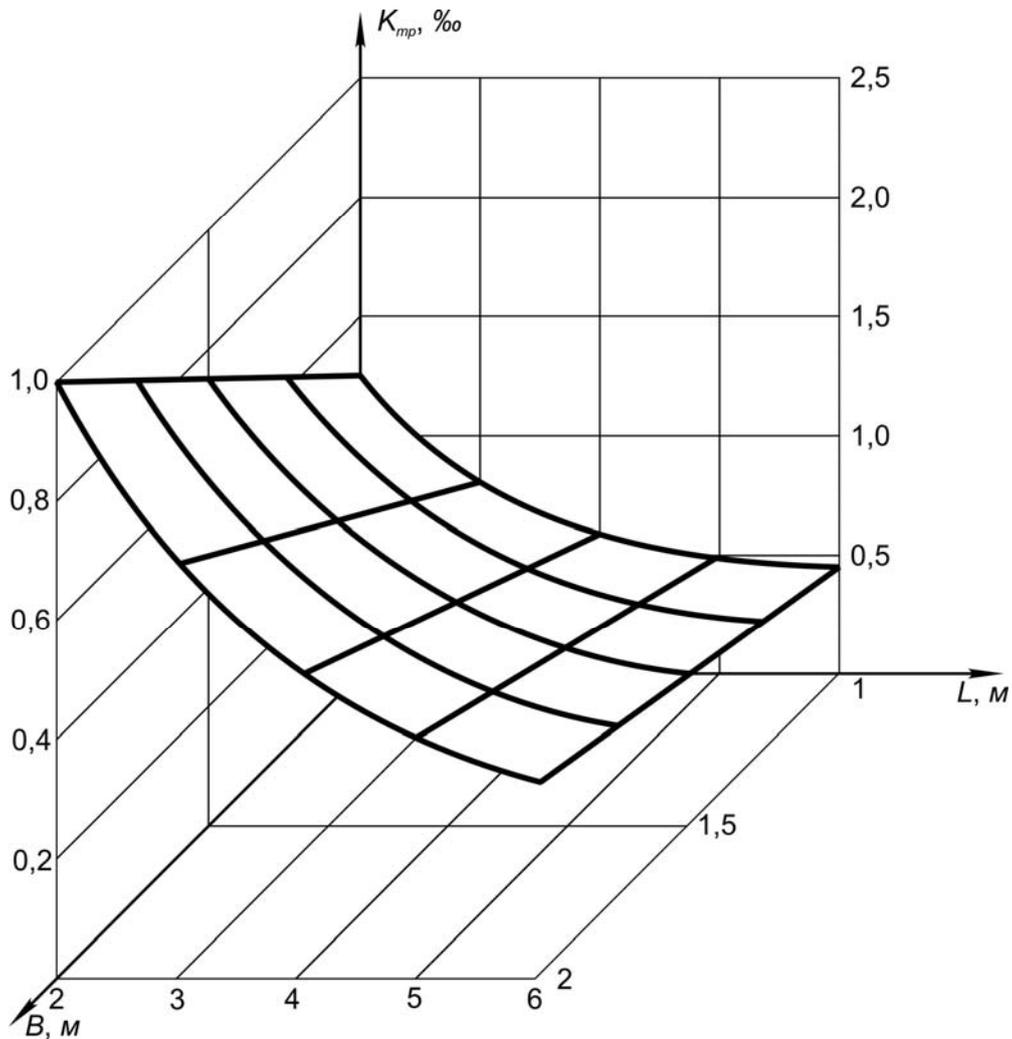


Рис. 7. Поверхность критических значений показателя формы трапецидальной плиты при полном увеличении ширины поперечного шва не более чем на 5 мм в колесопроводах однопутных (правая шкала) и двухпутных покрытиях (левая шкала). (Для получения предельных значений k_{mp} при других значениях полного увеличения ширины поперечного шва необходимо числа шкал перемножить на масштабный коэффициент $\frac{2d + \delta_{0L}}{5}$)

Параметры плиты, соответствующие точкам поверхности рис. 7, обеспечивают уширение поперечного шва на величину не более заданной, а параметры, соответствующие точкам, лежащим ниже названной поверхности, позволяют осуществлять раскрытие шва при полном увеличении его ширины на величину не более заданной и тем самым применяться на кривых с разными радиусами в диапазоне изменения последних, определяемом зависимостями (7).

Раскрытие поперечного шва в покрытиях из трапецидальных плит не целесообразно при малых радиусах по причине ограничения ширины поперечного шва, а при

больших радиусах трапецидальные плиты конструктивно не отличаются от прямоугольных. Поэтому для кривых малых радиусов следует использовать нетиповые конструкции трапецидальных плит, у которых разность длин боковых граней составляет не менее 5 мм, а длина средней линии является функцией радиуса оси колесопровода.

Список литературы

1. Сборные покрытия автомобильных дорог/ Под ред. В.М. Могилевича. – М.: Высш. шк., 1972. – 384 с.
2. Бируля А.К., Батраков О.Т., Могилевич В.М. Сборные железобетонные покрытия автомобильных дорог/. – М.: Автотрансиздат, 1960. – 157 с.

ПОВЫШЕНИЕ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ КАЧЕСТВ СБОРНЫХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОТГОНАХ ВИРАЖЕЙ

В.К. КУРЬЯНОВ, декан лесоинженерного факультета, зав. каф. транспорта леса и инженерной геодезии ВГЛТА, д-р техн. наук,

Д.Н. АФОНИЧЕВ, доц. каф. транспорта леса и инженерной геодезии ВГЛТА, канд. техн. наук

На автомобильной дороге, имеющей сборное покрытие, вираж может быть выполнен в традиционном виде – односкатное покрытие с уклоном к центру закругления [1]. В конструктивном отношении устройство виража традиционным способом не представляет сложности, проблемой в таком случае является устройство отгона виража, так как вращение поверхности проезжей части требует изменения поперечного уклона укладки дорожных плит, а это является причиной искусственного создания пороговых уступов в поперечных швах [2].

Отгон виража имеет определенную длину $l_{ов}$, которая должна удовлетворять условию

$$l_{ов} \geq \frac{B_{0кр} i_{\epsilon}}{i_{\deltaоп}}$$

где: $B_{0кр}$ – ширина проезжей части на кривой, м;

l_{ϵ} – поперечный уклон виража;

$i_{\deltaоп}$ – дополнительный продольный уклон внешней кромки проезжей части (максимально допустимое значение) [1].

Формирование односкатного профиля осуществляется в два этапа: 1 – вращение внешнего ската относительно оси покрытия (по отношению к центру закругления) на участке длиной $l_{ов1}$, при этом его поперечный уклон изменяется от i_n до i_n (i_n – поперечный уклон поверхности проезжей части на прямой вставке), то есть в конце этого участка поверхность проезжей части становится односкатной; 2 – вращение односкатной поверхности проезжей части относительно ее внутренней кромки на участке длиной $l_{ов2}$, при этом поперечный уклон изменяется от i_n до i_{ϵ} . На всем протяжении отгона виража до-

полнительный продольный уклон внешней кромки проезжей части $i_{\deltaоп}$, равный $i_{\deltaоп} = \frac{B_{0кр} i_{\epsilon}}{l_{ов}}$, является величиной постоянной, а значит

$$i_{\deltaоп} = \frac{B_0(l_{ов1}) i_n}{l_{ов1}}$$

где $B_0(l_{ов1})$ – ширина проезжей части на расстоянии $l_{ов1}$ от начала отгона виража, м.

Приравнявая выражения для $i_{\deltaоп}$, можно получить

$$k_1 = \frac{l_{ов1}}{l_{ов}} = \frac{B_0(l_{ов1}) i_n}{B_{0кр} i_{\epsilon}} \quad (1)$$

Ширина проезжей части на кривой составляет

$$B_{0кр} = B_0 + \Delta = B_0 + \Delta_n + \Delta_{\epsilon}$$

где: B_0 – ширина проезжей части на прямой вставке, м;

Δ – уширение проезжей части на круговой кривой, м;

$\Delta_n, \Delta_{\epsilon}$ – соответственно уширение внешнего (наружного) и внутреннего скатов проезжей части на круговой кривой, м.

В пределах отгона виража уширение проезжей части изменяется по линейному закону, то есть

$$B_0(l_{ов1}) = B_0 + k_1 \Delta = B_0 + (\Delta_n + \Delta_{\epsilon}) k_1$$

с учетом этого выражение (1) принимает вид

$$k_1 = \frac{i_n (B_0 + k_1 \Delta)}{i_{\epsilon} (B_0 + \Delta)}$$

$$k_1 = \frac{m B_0}{B_0 + \Delta(1 - m)} \quad (2)$$

где $m = \frac{i_n}{i_e}$ – относительный показате-

тель, выражающий поперечный уклон поверхности проезжей части на прямой в долях от поперечного уклона виража. Параметры k_1 и k_2 показывают долю участков формирования виража от длины отгона:

$$k_2 = 1 - k_1 = \frac{(B_0 + \Delta)(1 - m)}{B_0 + \Delta(1 - m)}. \quad (3)$$

Исследуем закономерность измерения поперечного уклона проезжей части в пределах отгона виража. Для этого рассмотрим сечение покрытия на расстоянии l от начала отгона, которое характеризуется относительной координатой $k = \frac{l}{l_{ог}}$.

Возможны два варианта: $0 \leq k \leq k_1$, при этом $i_{ог1} = i_n$,

$$i_{ог2} = \frac{2ki_e(B_0 + \Delta) - i_n(B_0 + 2k\Delta_e)}{B_0 + 2k\Delta_n};$$

$$k_1 \leq k \leq 1, \text{ когда } i_{ог} = ki_e \frac{B_0 + \Delta}{B_0 + k\Delta}.$$

Полученные зависимости поперечного уклона отгона виража $i_{ог}$ становятся линейными при $\Delta = 0$ и $\Delta_n = 0$, но названные параметры малы, а следовательно их влияние на значения $i_{ог}$ несущественно. Данный факт наглядно демонстрирует рис. 1. Таким образом, можно считать, что поперечный уклон возрастает линейно по длине отгона виража.

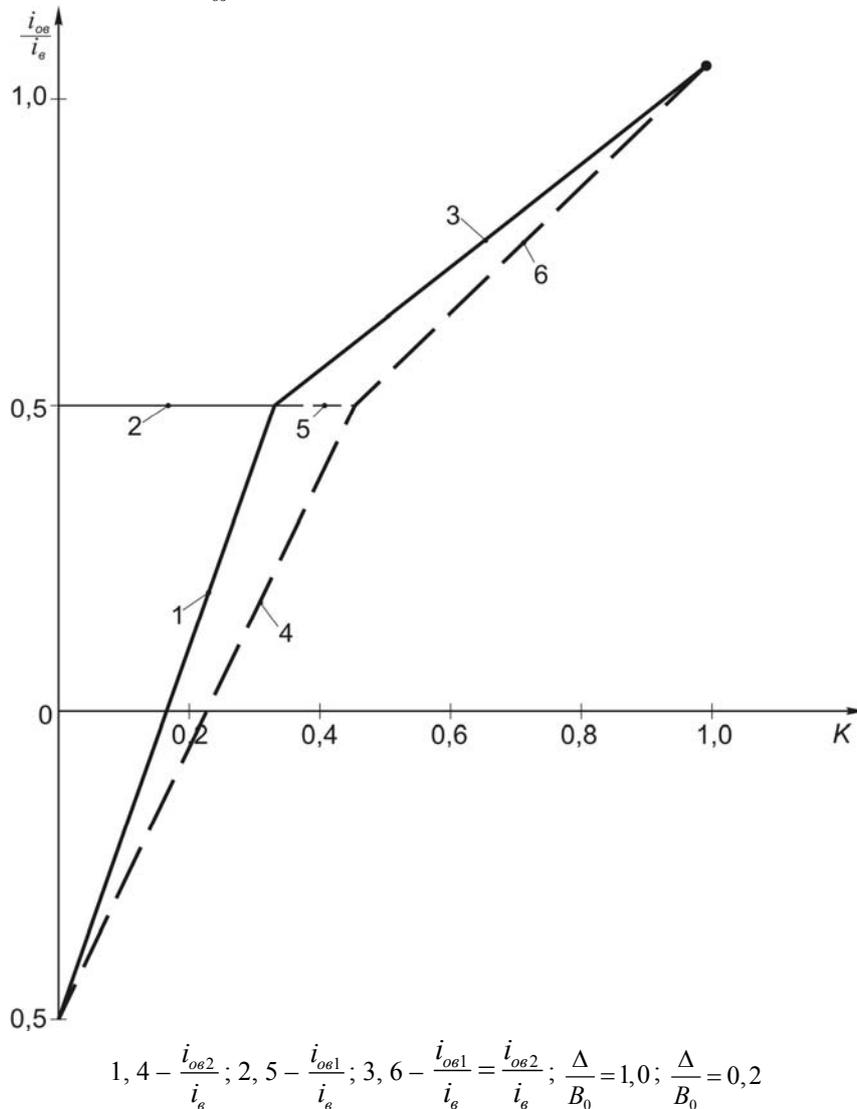


Рис. 1. Графики зависимости поперечного уклона проезжей части отгона виража от положения на переходной кривой

Количество плит, которые можно уложить в колесопровод на отгоне виража, равно $n = \frac{l_{ог}}{L}$ (L – длина плиты, м), причем, на протяжении участка длиной $l_{ог1}$ $n_1 = \frac{l_{ог1}}{L}$, а на участке длиной $l_{ог2}$ $n_2 = \frac{l_{ог2}}{L}$. Ввиду линейности функции $i_{ог} = f(k)$ можно легко найти изменение поперечного уклона на одну плиту, которое составит:

$$i_0 = \frac{2i_n}{n_1} = \frac{2i_n L}{l_{ог1}} \text{ при } k \leq k_1;$$

$$i_0 = \frac{i_s - i_n}{n_2} = \frac{L(i_s - i_n)}{l_{ог2}} \text{ при } k > k_1. \quad (4)$$

Максимальная величина порогового уступа будет у края плиты и составит $h_y = \frac{B i_0}{2}$, откуда $i_0 = \frac{2h_y}{B}$. Подставив i_0 в формулы (4), можно получить зависимости для определения $l_{ог1}$ и $l_{ог2}$:

$$l_{ог1} \geq \frac{i_n B L}{h_y}; \quad l_{ог2} \geq \frac{B L (i_s - i_n)}{2 h_y}, \quad (5)$$

где B – ширина колесопровода на кривой, м.

Неравенства (5) определяют множества значений $l_{ог1}$, $l_{ог2}$ обеспечивающих заданную величину порогового уступа. На рис. 2 показаны графики зависимости предельных значений $l_{ог1}$ и $l_{ог2}$ от параметров плиты при $h_y = 3$ мм. Из представленных графиков видно, что $l_{ог1}$, $l_{ог2}$ возрастают с увеличением размеров плиты, а значит не во всех случаях можно обеспечить допустимое значение величины порогового уступа. Возможны два варианта решения этой проблемы: применение нетиповых конструкций плит для отгонов виражей; устройство ступенчатого виража.

На рис. 3 представлены принципиальные схемы дорожных плит для отгонов виражей, исключаящие пороговые уступы в поперечных швах: с искривленными опорной и ездовой постелями, у которых один угол не лежит в плоскости, образованной оставшимися тремя углами (одним из вариантов искривления постели является «перелом» по диагонали); треугольные плиты; четырехугольные плиты; комбинации перечисленных конструкций. Все перечисленные конструктивные варианты можно назвать плитами сложной геометрической формы.

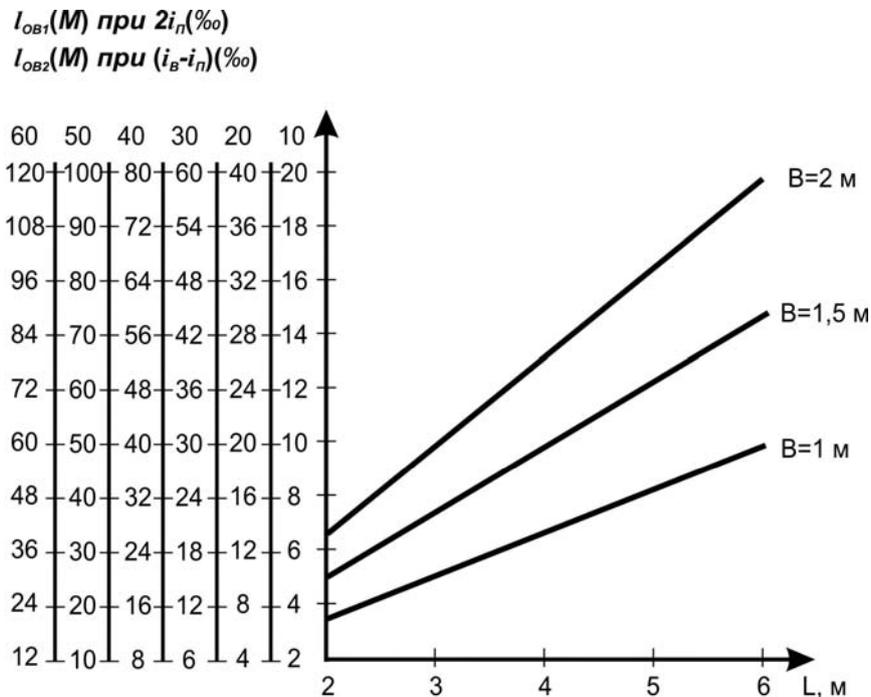


Рис. 2. Графики зависимости предельных значений длин участков отгона виража от длины и ширины плиты

Плиты сложной геометрической формы укладываются на спланированное основание, поперечный уклон поверхности которого определяется рисунком 1. Для обеспечения плотного контакта плит с основанием и друг с другом в двухслойных покрытиях целесообразно производить их укладку на выравняющий песчаный слой (при необходимости производится укрепление вяжущими), строительный раствор. Возможно использовать гибкие плиты [3], облегчающие сложную поверхность под собственным весом.

Для плиты с искривленной ездовой поверхностью превышение угла относительно плоскости, образованной остальными тремя, составляет $h_0 = B i_0$, причем для головного участка отгона виража

$$(k \leq k_1) h_0 = \frac{2BLi_n}{l_{oe1}},$$

а для глубинного –

$$(k > k_1) h_0 = \frac{BL(i_s - i_n)}{l_{oe2}}.$$

На рис. 4 представлена поверхность зависимости превышения угла плиты, имеющей искривленную ездовую поверхность

над плоскостью остальных трех углов от параметров отгона виража. Как видно из рис. 4, значения h_0 не превышают 6 мм, что создает технологические сложности при изготовлении плиты, а поэтому использование плит с искривленными ездовыми поверхностями не всегда может быть оправдано.

Для сборных покрытий однополосных дорог целесообразно применение ступенчатых виражей, преимуществом которых является то, что отгон виража можно сформировать путем придания дополнительного продольного уклона внешнему колесопроводу полосы движения. Устройство ступенчатого виража на двухполосных дорогах сопряжено с одной конструктивной проблемой – обеспечением водоотвода из межколеиного или межпутного пространства.

Превышение оси внешнего колесопровода над осью внутреннего h равно $h = Si_s$, где S – расстояние между осями колесопроводов на круговой кривой, м.

В количественном виде h находится в пределах 4–12 см при $i_s = 20...60\%$, что вполне допустимо по условию обеспечения устойчивости вышележащего колесопровода.

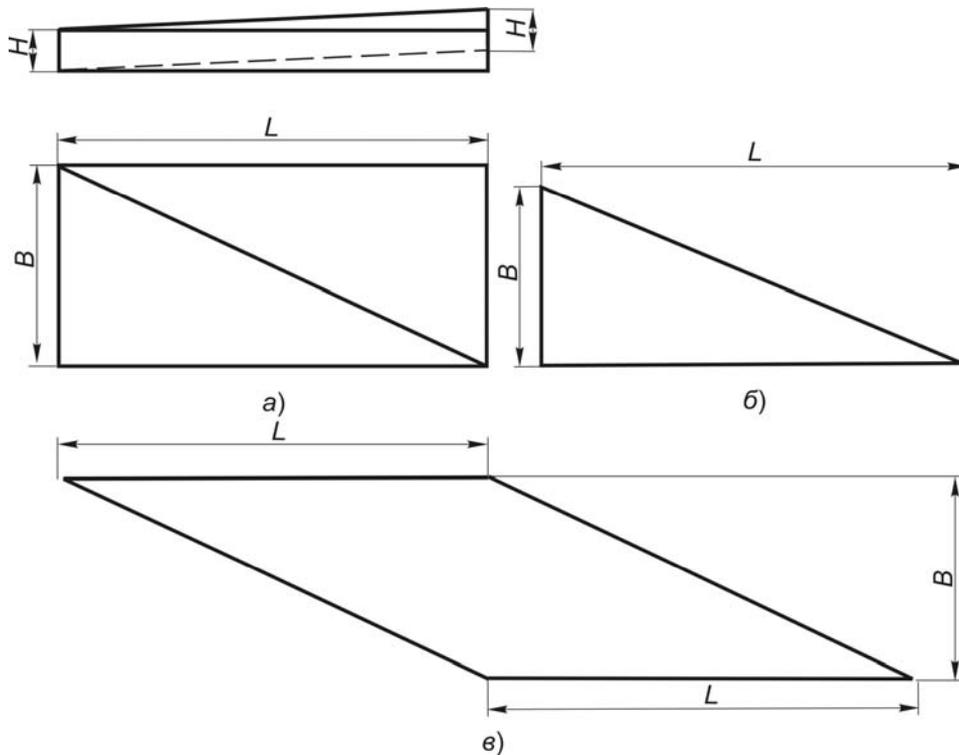


Рис. 3. Принципиальные схемы дорожных плит сложной геометрической формы: а – плита с исправленными постелями (ломаная); б – треугольная плита; в – четырехугольная плита

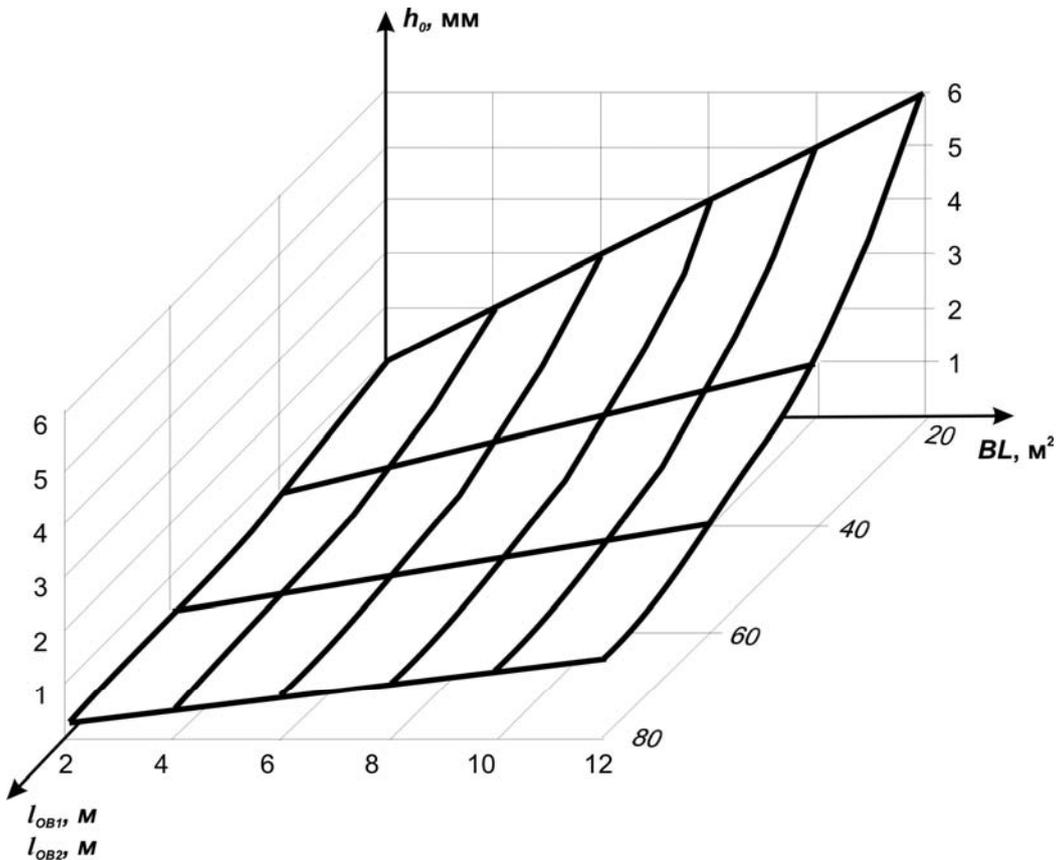


Рис. 4. Поверхность значений превышений угла плиты с искривленной поверхностью над плоскостью остальных трех углов при $2i_n = 10\%$ и $i_6 - i_n = 10\%$

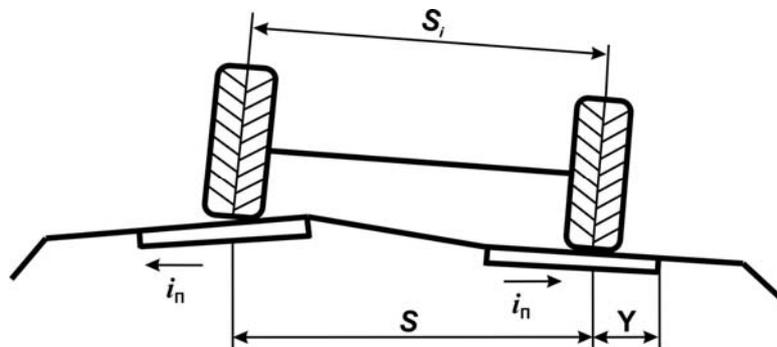


Рис. 5. Расчетная схема для определения поперечного уклона транспортного средства

Поперечный уклон автотранспортного средства при движении по ступенчатому виражу, направленный на компенсацию поперечной силы, зависит от колеи данного транспортного средства s_i и положения на покрытии, определяемого координатой внутреннего колеса оси транспортного средства y . Расчетная схема показана на рис. 5. Превышение колеса над внутренней кромкой внутреннего колесопровода составляет $y i_n$, превышение второго колеса над осью

внешнего колесопровода равно $\left(S + \frac{B}{2} - s_i - y\right) i_n$, а его превышение над внутренней кромкой внутреннего колесопровода будет

$$\frac{B}{2} i_n + S i_e + \left(S + \frac{B}{2} - s_i - y\right) i_n = S i_e + (S + B - s_i - y) i_n$$

Данное положение позволяет определить поперечный уклон транспортного средства i_{nmc} :

$$i_{nmc} = \frac{Si_6 + (S + B - s_i - 2y)i_n}{s_i}. \quad (6)$$

Из выражения (6) видно, что с увеличением y параметр i_{nmc} убывает, а, следовательно, минимальное значение i_{nmc} будет при $y = B$

$$i_{nmc}^{\min} = \frac{Si_6 + (S - B - s_i)i_n}{s_i}. \quad (7)$$

Максимальное значение i_{nmc} будет при $y = 0$

$$i_{nmc}^{\max} = \frac{Si_6 + (S + B - s_i)i_n}{s_i}. \quad (8)$$

Значение i_{nmc}^{\min} необходимо сравнивать с величиной поперечного уклона, определенного в зависимости от скорости и коэффициента поперечной силы и если оно меньше, то следует либо увеличить i_6 , либо ограничить скорость.

Превышение внешнего колесопровода над внутренним создает выступ внутренней кромки внешнего колесопровода над наклонной поверхностью, соединяющей оси колесопроводов. Величина этого выступа равна $\frac{B}{2}(i_n + i_6)$ и составляет 20...90 мм, а значит она не представляет опасности для транспортных средств, имеющих высоту клиренса более 100 мм.

Необходимый дополнительный продольный уклон оси внешнего колесопровода на отгоне виража составляет

$$i = \frac{Si_6 + (\Delta - 0,5t)i_n}{l_{ос}}, \quad (9)$$

где t – уширение колесопровода на кривой, м.

Дополнительный продольный уклон внешней кромки проезжей части при устройстве отгона ступенчатого виража равен

$$i_{дон} = \frac{Si_6 + (\Delta - t)i_n}{l_{ос}}. \quad (10)$$

Из формулы (10) можно записать выражение для определения длины отгона ступенчатого виража

$$l_{ос} \geq \frac{Si_6 + (\Delta - t)i_n}{i_{дон}}. \quad (11)$$

В сечении отгона виража, имеющем относительную координату k , поперечный уклон $i_{ос}$ составляет $i_{ос} = ki_6$.

Выводы

1. Устройство отгона виража на дорогах со сборными покрытиями представляет сложную техническую проблему. Ее решение может быть осуществлено тремя путями: 1 – разворотом плит в поперечном профиле относительно друг друга с образованием пороговых уступов в поперечных швах; 2 – применением нетиповых конструкций дорожных плит; 3 – устройством ступенчатых виражей.

2. Установлены значения длин отгонов виражей, обеспечивающих укладку плит с образованием пороговых уступов не более 3 мм.

3. В результате анализа закономерностей изменения поперечного уклона проезжей части вдоль отгона виража установлено, что данный уклон возрастает по линейному закону, а значит, отгон виража на дорогах со сборными покрытиями можно обеспечить изменением поперечного уклона плит на одну и ту же величину, созданием конструкций плит, у которых один угол выше других трех, дополнительным продольным уклоном внешнего колесопровода полосы движения.

4. Необходимое возвышение угла плиты нетиповой конструкции над плоскостью трех других ее углов зависит от ее плановых размеров и длины отгона виража и составляет до 6 мм.

5. Конструкция ступенчатого виража отличается простотой, так как не требует изготовления нетиповых плит и образования пороговых уступов. Геометрические параметры ступенчатых виражей обеспечивают безопасное движение транспортных средств с высотой клиренса более 100 мм.

Список литературы

1. СНиП 2.05.07-91. Промышленный транспорт. – М.: АПП ЦИТП, 1992. – 120 с.
2. Высоцкий Ю.Н., Петешов Ю.В. Оценка эксплуатационного состояния сборных дорожных покрытий // Вопросы проектирования дорожных одежд со сборными и монолитными цементобетонными покрытиями: сб. научн. тр./ СоюздорНИИ. – М.: Транспорт, 1983. – С. 42–48.
3. Коновалов Б.В. Бетон, который прогнулся Аргументы и факты // Золотое кольцо. – № 32. – 1996. – С. 2.

ЛЕСОВОДСТВЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАБОТЫ АГРЕГАТНОЙ ТЕХНИКИ НА ЛЕСОСЕКАХ С ПОДРОСТОМ

В.И. ОБЫДЁННИКОВ, *акад. РАЕН, зав. каф. лесоводства и подсочки леса МГУЛа*,
Ф.А. НИКИТИН, *профессор*

Высокая эффективность мероприятий по восстановлению в связи со сплошными рубками может быть достигнута лишь при научно обоснованном учете географических, экологических и экономических условий в соответствии с лесоводственными и природоохранными требованиями.

Современной научной основой восстановления леса на вырубках являются динамическая типология и её составная часть – типология вырубков. Они дают возможность познавать и предвидеть динамику типов вырубков и леса и успешно решать вопросы лесовосстановления. Важную роль при этом играют показатели критериев лесоводственно-экологической оценки лесозаготовительной техники и технологии, которые с учётом экономической эффективности их работы позволяют находить оптимальные решения при планировании систем лесозаготовительных машин, технологий лесосечных работ, способов лесовосстановления в разных географических районах с учётом типов вырубков с исходных типов леса.

Эффективность лесовосстановительных мероприятий в значительной мере связана с успешностью лесовозобновительного процесса, влиянием на него и природу вырубков лесозаготовительной техники. Предварительное возобновление леса связано, прежде всего, с типом леса, последующее – с типом вырубков [6].

Существенный отпечаток на экологические условия и возобновление при сплошных рубках оказывают техника и технология лесосечных работ [1, 7, 9]. Наиболее эффективным способом восстановления леса является сохранение подроста в процессе лесозаготовок [2, 10]. Так, по данным Н.А. Моисеева [5], в таёжной зоне за счёт сохранения подроста при рубке можно восстановить лес на

площади, равной половине годичной лесосеки. Исследования В.М. Рубцова, А.А. Дерюгина, В.И. Гурцева [11] показали, что на 60 % площади лесосек среднетаёжных ельников европейской части России можно обеспечить восстановление главной породы за счёт предварительного возобновления. По расчётам А.В. Побединского [34], за счёт сохранения подроста можно повысить ежегодный прирост лесов нашей страны на 30 млн.м³. По данным С.А. Дыренкова [3], при рубках за последние 10 лет сохранено подроста хозяйственно-ценных пород на площади 5,7 млн.га. Наибольшее распространение получил узколеночный способ разработки лесосек, обеспечивающий достаточно высокую сохранность подроста. По материалам исследований Д.И. Дерябина и А.Д. Букштынова [2], высокий экономический эффект достигается за счёт сохранения подроста по узколеночной технологии. В условиях Крестецкого леспромхоза Новгородской области он составил 46 руб. на 1 га (в старом исчислении).

«Значительную роль, – отмечал И.С. Мелехов [6], – в восстановлении леса на вырубках в таёжной зоне играет последующее, тем более нерастянутое, возобновление леса. Оно дает возможность получить древостой высокого качества».

Применение той или иной лесозаготовительной техники и технологии определяется экономической эффективностью с учётом показателей лесоводственной оценки, которая устанавливается по комплексу работ: рубка – лесовосстановление (с учётом затрат на их проведение). Значительный интерес представляет предложенный Н.А. Моисеевым [5] и С.А. Дыренковым [3] системный подход к определению экономической эффективности разных способов лесовосстановления с учётом лесохозяйственных

и лесозаготовительных затрат и эффектов за полный оборот рубки. Методическая сторона этой проблемы, требующая совместных усилий экономистов, лесоводов и технологов, в настоящее время успешно решается. Определенный вклад в её решение внёс Н.И. Кожухов [4], предложивший методику расчета региональных комплексных программ расширенного воспроизводства лесных ресурсов. Методика базируется на сверхдальнем (на оборот рубки) прогнозе лесосырьевой ситуации в регионе и экономико-математическом моделировании процессов формирования типов вырубок, типов возобновления и типа леса.

Лесоводственно-экономическая эффективность работы современной лесозаготовительной техники по технологиям лесосечных работ, предусматривающим минимально допустимую сохранность подроста

хвойных пород по сравнению с технологиями, не обеспечивающими такую сохранность, приводится для южной тайги и северной части зоны смешанных лесов Русской равнины (на примере Новгородской обл.).

Лесоводственная оценка агрегатных машин на сплошных рубках дана ранее [8]. На участках после работы машин ВТМ-4, ЛП-17 и ЛП-49 в ельниках в европейской части России следует большей частью создавать лесные культуры, т.к. в основном формируются типы рубок, неблагоприятные для естественного возобновления хвойных пород. Валочные (ЛП-2 и ЛП-19) и трелёвочные (ТБ-1, ЛП-18А, ЛТ-157, ЛТ-154) машины при сплошных рубках по технологиям с соблюдением лесоводственных требований сохраняют в определенных географических и экологических условиях достаточное количество подроста для восстановления леса на вырубках.

Т а б л и ц а 1

Лесоводственно-экологическая оценка работы лесозаготовительных машин при сплошных рубках по разным технологиям (на экспериментальных участках Крестецкого лесхоза Новгородской обл.)

Основные показатели насаждения до рубки					Лесозаготовительная техника	Технология лесосечных работ	Сохранность подроста ели, %	Всечаемость подроста ели после рубки, %	Повреждение поверхности почвы, %	Показатель лесоводст.-экол. оценки
тип леса	состав древостоя	класс возраста	полнота/бонитет	подрост ели: густота, тыс. шт./встречаем., %						
Ельник черничный свежий	4Е4Ос2 Б+Ол	V-VI	0,5-0,6/ I-III	6,82/ 87,8	ЛП-19, ТБ-1	I (укладка деревьев на волок, устройство одного лесовозного уса)	60,2	61,6	35,5	1,50
				5,46/ 90,2	та же	II (укладка деревьев под углом к волоку)	7,9	8,4	77,5	0,20
				5,46/ 90,2	та же	III (укладка деревьев поперечно на волок и под углом к нему)	36,3	48,8	52,5	1,19
Березняк кисличный	8Б1Е1 Ос	V	0,5-0,6/ III	1,31* 56,2	бензопила МП-5 «Урал», трактор ТБ-1	I (узколеночная с одним лесовозным усом)	52,2	29,3	28,0	0,71
					та же	II (без сохранения подроста, трелёвка за комель дерева)	11,1	6,2	88,4	0,15
					та же	III (узколеночная с двумя лесовозными усами)	52,2	29,3	28,0	0,71

* Участок с такой густотой подроста был подобран для экспериментальной рубки в связи с отсутствием насаждений с густым подростом вблизи мест с основной разработкой лесосек машиной ТБ-1

Основные лесоэксплуатационные показатели работы лесозаготовительной техники по разным технологиям лесосечных работ (расстояние трелёвки 125 м, на экспериментальных участках Крестецкого лесхоза Новгородской обл.)

Тип леса	Лесозаготовительная техника	Технология лесосечных работ	Производительность машин в смену (8 часов), чел. час/м ³		
			на валке	на трелёвке	на обрезке сучьев
Ельник кисличный свежий	ЛП-19, ТБ-1	I (укладка деревьев на волок, устройство одного лесовозного уса)	156,0 / 1248,0	66,8 / 534,4	–
	Та же	II (укладка деревьев под углом к волоку)	182,0 / 1456,0	91,8 / 734,4	–
	Та же	III (укладка деревьев поперечно на волок и под углом к нему)	177,0 / 1416,0	79,8 / 638,4	–
Березняк кисличный	Бензопила МП-5 «Урал», трактор ТБ-1	I (узколеночная с одним лесовозным усом)	106,56 / 852,48	78,3 / 626,4	156,22 / 1249,76
	Та же	II (без сохранения подроста, трелёвка на комель дерева)	106,56 / 852,48	105,0 / 840,0	–
	Та же	III (узколеночная с двумя лесовозными усами)	106,56 / 852,48	99,5 / 796,0	156,22 / 1249,76

На экспериментальном участке в ельнике черничном свежем в связи с работой машин ЛП-19 и ТБ-1, судя по показателям лесоводственно-экологической оценки (табл. 1), технологии I с укладкой деревьев на волок и III с укладкой деревьев поочередно на волок и под углом к волоку вполне удовлетворяют лесоводственным требованиям. Показатели лесоводственно-экологической оценки после работы бензопилы и трактора ТБ-1 в березняке кисличном по узколеночным технологиям, предусматривающим один (I) или два (III) лесовозных уса, меньше единицы (табл. 1).

Это связано с низкой встречаемостью подроста ели до рубки. На участках с большей встречаемостью подроста (75 % и выше) при такой же сохранности подроста, т.е. 52 % [8], эти технологии будут удовлетворять лесоводственным требованиям.

Производительность машин на экспериментальных участках приведена в табл. 2.

Экономический эффект работы новых машин по технологиям с сохранением подроста по сравнению с работой по технологиям без сохранения подроста, показан в табл. 3. Трудовые и денежные затраты на производство лесосечных работ рассчитаны по материалам наших исследований, по данным ЦНИИМЭ и Крестецкого леспромхоза Новгородской обл. Затраты труда и денежных средств на производство 1 га лесных культур для аналогичных условий взяты из технологических карт или приведены по данным предприятий районов исследований. Подсчитана также таксовая стоимость дополнительного прироста древесины.

Разработка лесосеки с применением комплекта машин ЛП-19 и ТБ-1 проведена в ельнике черничном свежем Новгородской обл. (схема I). Производительность машины ЛП-19 по технологии с сохранением подроста (по сравнению с базовой – без сохранения) уменьшается из-за холостых заездов

машины каждый раз для разработки новых пасек и большего угла поворота платформы при укладке деревьев сзади на волок. Производительность трактора ТБ-1 уменьшается, т.к. набор воза производится только из одной пачки деревьев и, кроме того, увеличиваются затраты времени на буксовку. Поэтому затраты на лесосечные работы по технологии с сохранением подроста увеличиваются на 4,81 дня или 14,48 чел.ч./га. В целом же по комплексу работ «рубка – лесо-

восстановление» трудовые затраты по технологии с сохранением подроста меньше, чем по технологии без сохранения подроста. Экономический эффект составил в пределах 40 руб. на 1 га или 1770 руб. в ценах 2004 г. Экономическая эффективность разработки лесосек с сохранением подроста с применением ЛП-19 и ТБ-1 несколько возрастает в типах леса с менее влажными почвами (в ельниках кисличных, брусничных и др.).

Т а б л и ц а 3

Экономическая эффективность рубок с сохранением подроста при разработке лесосек агрегатной техникой (Крестецкий ЛПХ, Новгородская обл.)

Технологические операции и другие показатели	Запас древесины на 1 га, м ³ по фактически заготовленной	Средний объём дерева, м ³	Технологии			
			с сохранением подроста, затраты на 1 га		без сохранения подроста, затраты на 1 га (базовый вариант)	
			труд. чел./дн.	денежн. средства, руб.	труд. чел./дн.	денежн. средства, руб.
1	2	3	4	5	6	7
Схема I. Разработка лесосек машинами ЛП-19 и ТБ-1 в ельнике черничном свежем Новгородская обл.						
а) лесосечные работы						
Валка леса	360,3	0,52	2,31	184,91	1,97	158,51
Трелёвка леса	–	–	5,39	195,17	3,92	141,95
Итого			7,70	380,08	5,89	300,46
б) лесовосстановление						
Создание лесных культур и уход за ними					5,09	92,07
Потери из-за увеличения периода выращивания древесины						28,10
всего:			7,70	380,08	10,98	420,68
Экономический эффект при разработке лесосек с сохранением подроста (на 1 га)			3,28	40,60		
Схема II. Разработка лесосек бензопилой МП-5 «Урал» и трактором ТБ-1 (набор воза с двух сторон в ельнике кисличном, Новгородская обл.)						
а) лесосечные работы						
Валка леса	368,7	0,48	3,46	32,35	3,46	32,35
Трелёвка леса			4,71	174,88	3,51	130,07
Обрезка сучьев и вершин			2,36	14,50	–	–
Итого			10,53	221,68	6,97	162,42
б) лесовосстановление						
Создание лесных культур и уход за ними					4,03	66,47

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7
Потери из-за увеличения периода выращивания древесины						26,80
Всего:			10,53	221,68	11,00	255,69
Экономический эффект при разработке лесосек с сохранением подроста (на 1 га)			0,47	34,01		
Схема III. Разработка лесосек бензопилой МП-5 «Урал» и трактором ТБ-1 (набор воя с левой стороны) в ельнике кисличном, Новгородская обл.)						
а) лесосечные работы	260	0,48	3,46	32,35	3,46	32,35
Валка леса			3,71	137,14	3,51	130,07
Трелёвка леса			2,36	14,50	–	–
Обрезка сучьев и вершин						
Итого			9,59	183,99	6,97	162,42
б) лесовосстановление					4,03	66,47
Создание лесных культур и уход за ними						
Потери из-за увеличения периода выращивания древесины						26,80
Всего:			9,53	183,99	11,00	255,69
Экономический эффект при разработке лесосек с сохранением подроста (на 1 га)			1,47	71,70		

Таблица 4

Лесоводственно-экологический и экономический эффект работы агрегатной техники при применении технологий с сохранением подроста

Тип леса	Лесозаготовительная техника (и технология лесосечных работ)	Показатель лесоводственно-экологической оценки	Экономический эффект (на 1 га) по сравнению с базовой технологией (II)		
			трудовые затраты, чел.дн./чел.ч.	денежные средства, руб.	
				в ценах 1980 г.	в ценах 2004 г.
Ельник черничный свежий	ЛП-19, ТБ-1 (I технология: деревья укладываются на волок, трелёвка на один лесовозный ус)	1,5	3,28 / 26,24	40,60	1270
Березняк кисличный	Бензопила МП-5 «Урал», трактор ТБ-1 (II технология: узколеночная с устройством одного лесовозного уса)	0,71	0,47 / 3,76	34,01	1037
	Бензопила МП-5 «Урал», трактор ТБ-1 (III технология: узколеночная с устройством двух лесовозных усов)	0,71	1,47 / 11,76	71,70	2509

Экономический эффект при разработке лесосек с сохранением подроста бензопилой (на валке) и трактором ТБ-1 (на трелёвке) по технологии, предусматриваю-

щей набор воя с двух сторон трактора (схема II), составил 0,47 ч./дн. или 3,76 чел.ч./га и 34,01 руб. на 1 га или 1037 руб. в ценах 2004 г. и по технологии, когда набор воя

производился только с левой стороны и трелёвка осуществлялась к двум погрузочным площадкам (схема III), – 1,47 ч./дн. и 71,70 руб. на 1 га или 2509 руб. в ценах 2004 г. Меньший эффект разработки лесосек при наборе веза с двух сторон трактора получен из-за снижения производительности его на наборе веза с правой стороны по ходу движения. Восстановление леса за счёт сохранённого подроста при разработке лесосек новыми машинами по сравнению с вырубкой леса без сохранения подроста и последующими лесными культурами более эффективно не только в лесоводственно-экологическом, но и экономическом отношении (табл. 4).

Результаты исследований показали в целом высокую эффективность возобновления и формирования ельников за счёт подростов главных пород предварительной генерации, сохранённого в процессе рубки агрегатными машинами.

Список литературы

1. Аболь П.И., Рожин Л.П., Обыденников В.И. Исследование работы машин ЛИ-19 и ТБ-1 на лесосеках с подростом // Лесозаготовка и лесосплав: Реф. информ. ВНИПИЭИ леспром. – 1977. – №8. – С. 10–11.
2. Дерябин Д.И., Букштынов А.Д. Лесоводственное значение хвойного подроста. – М.: Лесная промышленность, 1970. – 94 с.
3. Дыренков С.А. Системный анализ как методология исследований эффективности лесохозяйственных мероприятий // Эффективность различных способов лесовосстановления. – М.: Лесная промышленность, 1976. – С. 5–11.
4. Кожухов Н.И. Экономические методы управления расширенного воспроизводства лесных ресурсов. Автореф. дисс. на соискание учён. степ. доктора эконом. наук. – М.: МЛТИ, 1982. – 27с.
5. Моисеев Н.А. Пути улучшения лесного хозяйства и лесопользования в многолесных районах. М.: Лесная промышленность, 1972. – 157 с.
6. Мелехов И.С. Лесоводство. – М.: МГУЛ, 2002. – 319 с.
7. Обыденников В.И. Новая лесозаготовительная техника и возобновление леса. – М.: Лесная промышленность, 1980. 96 с.
8. Обыденников В.И. Лесоводственно-экологические требования к работе лесозаготовительной техники на лесосеках с подростом // Лесная промышленность. – 2002. – №1. – С. 24–26.
9. Обыденников В.И., Рожин Л.Н. Новая лесозаготовительная техника на лесосеках с подростом // Лесное хозяйство. – 1978. – №4. – С. 72–76.
10. Побединский А.В. Рубки главного пользования. Изд. 3-е переработ. – М.: Лесная промышленность, 1980. – 192 с.
11. Рубцов М.В., Дерюгин А.А., Гурцев В.И. Влияние лесозаготовительной техники на почву и сохранность подроста // Лесное хозяйство. – 1985. – №6. – С. 36–38.

ГОРИМОСТЬ ЛЕСОВ ЮЖНОГО ПРИМОРЬЯ И ПУТИ ЕЕ СНИЖЕНИЯ

С.К. ДОЕВ, зав. каф. лесной таксации и лесоустройства ПГСХА, канд. с.-х. наук,

А.Е. ОЛИМПИЕВ, асп. каф. лесной таксации и лесоустройства ПГСХА, инженер охраны и защиты леса ГУ Уссурийского лесхоза

Многие авторы считают, что главнейшим фактором, определяющим текущую пожарную опасность и горимость лесов, являются погодные условия [10]. В этой связи регламентация работы лесопожарных служб осуществляется в тесной зависимости от уровня пожарной опасности.

А.А. Сапожников [7] считает, что горимость определяется составом древостоя, его возрастом, патологическим состоянием, захламливаемостью, доступностью для посещения или хозяйственного использования,

близостью к населённым пунктам и промышленным производством.

Однако пожарная опасность и горимость лесов Приморского края определяется не только лесорастительными и погодными условиями, но в значительной степени зависит и от географических особенностей региона [2].

Горный рельеф создает большое разнообразие пожарной обстановки даже на сравнительно ограниченной территории и зависит от плотности населения, а также

уровня организации службы охраны лесов от пожаров.

На примере Уссурийского лесхоза нами сделана попытка исследовать горимость лесов Южного Приморья и определить пути ее снижения. Наряду с такими лесхозами, как Арсеньевский, Чугуевский, Сергеевский, Анучинский, Пограничный и Барабашский, этот лесхоз относится к числу лесхозов с большой горимостью по количеству загораний.

В лесном фонде Уссурийского лесхоза (общая площадь 73 763 га) хвойные насаждения занимают 10 % покрытой лесом площади, из них 4 % с преобладанием кедра корейского. Лиственные породы в основном представлены дубом монгольским (70 %) и березой белой (8 %). Средний класс бонитета по лесхозу составляет IV,0; средняя полнота – 0,70. Среднеполнотные насаждения (0,5–0,7) охватывают 51 % покрытой лесом площади, а высокополнотные – 39 %. Средний возраст насаждений – 86 лет. Наибольший возраст у кедра корейского (173 года) и у березы желтой (157 лет).

Климат района, как и всего Приморского края, носит муссонный характер. Зима холодная и малоснежная, весна прохладная и затяжная, осень продолжительная и сухая. Зимой преобладает северное и северо-

западное направление ветра, средняя его скорость – 2,3–2,5 м/сек; летом – юго-восточное при средней скорости ветра 3–5 м/сек.

Средняя дата появления устойчивого снежного покрова – 15 ноября, самая ранняя – 18 сентября. Средняя дата схода снежного покрова – 6 марта, самая поздняя – 4 апреля.

В конце апреля – начале мая часто устанавливается сухая, жаркая погода. По этим причинам резко увеличивается пожарная опасность, что в совокупности с сильными ветрами приводит к быстрому распространению огня. Такая же ситуация часто складывается осенью, в конце сентября – октября. Бесснежные зимы также способствуют распространению и возникновению пожаров, увеличивая и без того продолжительный пожароопасный период.

В соответствии с программой исследования и методикой работ нами проанализирована горимость лесов Уссурийского лесхоза. С этой целью из годовых отчетов Уссурийского лесхоза взяты данные о лесных пожарах за последние 11 лет (количество пожаров, количество выгоревших площадей по годам, причины лесных пожаров, начало и конец ликвидации пожаров, ущерб, причиненный лесному хозяйству, количество пожаров, обнаруженных лесной охраной и работниками авиабазы).

Т а б л и ц а 1

Распределение количества пожаров (числитель) и их площадь, га (знаменатель) по месяцам пожароопасного периода на территории гослесфонда Уссурийского лесхоза

Годы	Месяцы									Итого	Средняя площадь одного пожара, га
	II	III	IV	V	VI	IX	X	XI	XII		
1993	–	–	7/57,5	1/30,0	–	–	3/116,0	–	–	11/176,5	16
1994	–	–	3/442,0	–	–	–	–	–	–	3/442,0	114
1995	1/0,5	2/1,9	1/3,2	–	–	–	–	–	–	4/5,6	1,4
1996	–	–	5/789,5	2/30,5	–	–	–	–	–	7/820,0	117
1997	–	–	12/4782,5	3/31,5	–	–	10/187,4	3/4,5	–	28/5005,9	179
1998	–	43/387,2	25/4909,4	1/359,0	–	–	1/3,4	–	–	70/5659,0	81
1999	–	–	6/82,7	5/33,8	–	–	12/121,0	–	–	23/237,5	10,3
2000	–	–	2/18,6	–	–	–	–	3/20,4	–	5/39,0	8,0
2001	–	–	16/83,7	3/423,2	–	–	4/5,7	4/3,4	1/30,0	28/519,0	18,5
2002	–	3/6,8	14/171,3	16/39,0	–	–	–	–	–	33/217,1	6,5
2003	–	–	25/202,9	8/93,1	1/0,4	–	–	2/5,5	–	36/301,9	8,4
Итого:	1/0,5	48/395,0	116/11543,3	39/1013,1	1/0,4	–	30/433,5	12/33,8	1/30,0	248/13423,5	54

Динамика горимости лесов лесхоза приводится в табл. 1, а ущерб, причиненный лесному хозяйству, в табл. 2.

Из табл. 1 видно, что число случаев возникновения пожаров за год имеет тенденцию к возрастанию. Средняя площадь одного пожара за исследуемый период составила 54 га и колеблется в пределах от 1,4 га (в 1994 г.) до 179 га (1997 и 1998 гг.).

Характерно, что за два засушливых года (1997, 1998) выгорело 79,5 % всей пройденной огнем площади за 11 лет. При этом если в годы с нормальным ходом увлажнения в основном возникают и развиваются низовые беглые пожары на безлесных площадях (гари, вырубки, пустыри, редины и луга) и они не причиняют большого ущерба, то в засушливые годы пожары имеют высокую интенсивность и повальный характер. Они распространяются на значительные территории и уничтожают ценнейшие лесные формации, наносят громадный ущерб экономике района.

И действительно, со слов старожилов государственной лесной службы лесхоза, 1997–98 годы были катастрофически засушливы. Таких пожаров, как в эти годы, здесь не видели десятки лет. В этот период лесные пожары угрожали перейти за пределы государственной границы России в сторону КНР, однако, благодаря организованной, четкой

стратегии и тактике тушения пожаров лесной охраной Корсаковского лесничества, да и всего лесхоза, их удалось локализовать на отметке 1997 (5 005,9 га) и 1998 (5 659,0 га).

Следует также отметить еще одну особенность горимости лесов лесхоза. Апрель – самый богатый из всех весенних пожароопасных месяцев как по числу пожаров, так и по выгоревшей площади (соответственно 47 % от числа пожаров и 86 % от всей площади, выгоревшей за 11 лет). Это говорит о том, что именно апрель является в пожарном отношении наиболее опасным периодом.

Лесные пожары за последние 11 лет нанесли ущерб в виде стоимости погибшей древесины, стоимости лесовосстановительных работ после пожара, стоимости погибших лесных культур, и, наконец, затрат на тушение лесных пожаров, особенно в те самые засушливые и, вместе с тем, катастрофические 1997–1998 годы (табл. 2).

Как известно, критерием оценки горимости лесов, является отношение площади, пройденной лесными пожарами за пожароопасный период, к площади лесного фонда, выраженной в процентах. Согласно классификации Г.А. Мокеева [5], горимость считается низкой при значениях ее до 0,01 %, средней – от 0,01 % до 0,1 %, высокой – при значениях выше 0,1 %.

Т а б л и ц а 2

Общий ущерб, нанесенный лесными пожарами по годам на территории Уссурийского лесхоза (с учетом площади, выгоревшей за 11 лет)

Годы	Площадь пожара, га	Ущерб, нанесенный пожарами			
		Погибло древесины, м ³	Стоимость погибшей древесины, руб.	Затраты на тушение лесных пожаров, руб.	Сумма всего, руб.
1993	176,5	62615,70	1571,00	118,40	1689,40
1994	442,0	74252,10	1705,00	161,00	1866,00
1995	5,60	–	–	14,42	14,42
1996	820,0	13,70	27,40	889,20	916,60
1997	5005,9	264299,80	1344685,00	132809,80	1477494,80
1998	5659,0	97382,50	1640062,80	208580,80	1848643,60
1999	237,5	42,02	153721,40	6360,66	160082,06
2000	39,0	–	–	6358,48	6358,48
2001	519,0	4108,00	2174167,40	58743,88	2232911,2
2002	217,1	51,66	106945,88	101163,48	208109,36
2003	306,4	–	–	204287,70	204287,70
Итого:	13428	502765,48	5422885,80	719487,82	6142373,40
Среднегодов.	1220,73	45705,95	492989,61	65407,98	558397,58

Средняя горимость лесов Уссурийского лесхоза за последние пять лет не выходит за пределы 0,36 % с колебаниями по годам от 0,05 % до 0,70 %.(табл.1), что доказывает высокую горимость лесов лесхоза.

С целью более подробного изучения горимости лесов нами, наряду с анализом динамики лесных пожаров за последние 11 лет, проводились исследования: по определению и анализу запасов лесных горючих материалов (ЛГМ), их видов и пространственного размещения; по определению скорости распространения огня при различной суточной цикличности метеофакторов (исследования в области влияния ветра и рельефа на скорость и параметры кромки огня). Они явились результатом проведения опытов и экспериментов с выездом на действующий пожар в лесах лесхоза. Дополнительно велась работа и по анализу существующих планов по противопожарному устройству лесов лесхоза.

По мнению многих специалистов [3, 6, 9,], запас лесного горючего материала –

важнейший пирологический показатель горимости лесов, оказывающий огромное влияние на возникновение, распространение и развитие лесных пожаров, что в конечном счете влияет на масштабы экологических бедствий.

Для определения и анализа запасов ЛГМ заложены три пробные площади в дубовых насаждениях с высокой горимостью, т. к. именно там возникает основная часть лесных пожаров. В табл. 3 приводится характеристика насаждений по данным пробных площадей.

При изучении запасов ЛГМ на пробных площадях использованы основные положения работ Н.П. Курбатского, М.А. Шешукова и Г.П. Телицина [3, 8–9].

На пробных площадях проведен учет напочвенного покрова (лесная подстилка и опад), искусственные насаждения кедра корейского под пологом дуба монгольского (лесные культуры), сухостойные и фаутные деревья, а также валежник и бурелом. Результаты учета представлены в (табл. 4).

Т а б л и ц а 3

Характеристика насаждений по данным пробных площадей

№ пробы и ее площадь, га.	Тип леса	Экспозиция склона, его крутизна	Состав, ярус	Средний диаметр, см.	Средняя высота, м	Средний запас на 1 га, м ³ .	Полнота, бонитет	Возраст, лет	Подрост	Подлесок	Напочвенный покров
1–1,0	Дубняк леспедцеце-вый горный	$\frac{ЮВ}{25}$	$\frac{8Д1Бч}{1Ос}$	8	6	150	$\frac{09}{4}$	65	Порос. дубняки Н = 1,1 м	Леспедца, лещина	Лесное разнотравье, осочки папоротн., вейник
2–1,0	Дубняк лещинный горный	$\frac{СЗ}{30}$	$\frac{9Д1Бч}{1}$	14	14	50	$\frac{04}{3}$	45	Порос. дубняки Н = 0,9 м	Леспедца, лещина.	Лесное разнотравье, осочки папоротн., вейник.
3–1,0	Дубняк леспедцеце-вый горный	равнина	$\frac{10Д}{1}$	14	12	130	$\frac{08}{4}$	58	Порос. дубняки Н = 1,2 м	Леспедца, лещина	Лесное разнотравье, осочки папоротн., вейник

**Запас лесного горючего материала в постоянных опытных участках
Уссурийского лесхоза**

№ <u>ПОУ</u> Число Замер	Экспо- зиция	Состав	Запас ЛГМ, т/га					Мощность слоя, см
			Напочвенный покров	Валежник и бурелом	Сухостой, фаутные деревья	Лесные культуры, подрост, подлесок	Общий запас	
$\frac{1}{5}$	ЮВ	$\frac{8Д1Бч1Ос}{1}$	28,72	2,13	0,98	1,02	32,85	6–10
$\frac{2}{5}$	СЗ	$\frac{9Д1Бч}{1}$	28,07	4,12	3,48	0,94	36,61	6–12
$\frac{3}{5}$	равнина	$\frac{10Д}{1}$	28,55	4,46	3,92	1,17	38,10	6–16

Было замечено, что лесная подстилка с опадом, а вместе с ним и напочвенный покров накапливаются и развиваются, подчиняясь общим для всех местопроизрастаний закономерностям. Лесная подстилка образуется, в основном, в приствольных понижениях. Было установлено, что 90 % и более лесной подстилки сформировано у ствола деревьев в радиусе обхвата кроны и что запаса опада всегда больше на южной экспозиции кроны. Южные районы исследуемых участков имеют наибольший запас ЛГМ напочвенного покрова – 28,72 т/га (по сравнению с северными – 28,07 т/га), что говорит о благоприятных почвенно-климатических условиях произрастания лесов, характеризующихся пышной кроной деревьев, богатым опадом и т. д.

В связи со специфическими лесорастительными условиями лесной опад у ливы дуба и злаково-травянистой растительности играет особую роль в возникновении и развитии низовых пожаров. Последние согласно статистическим данным, в период с 1969 по 2003 годы возникают на территории лесхоза в 100 % случаев.

Максимальное количество годовичного опада в дубняке наблюдается в возрасте 45 лет. При этом в период смыкания крон молодого насаждения происходит более быстрое увеличение годовичного накопления, чем до смыкания или позже его.

Запас валежника, бурелома, сухостойных, фаутных деревьев определялся на-

ми сплошным пересчетом с переводом объема (кубические метры) в тонны. Наибольший запас данных деревьев составил 8,38 т/га на пробной площади № 3 в чистых дубняках, что говорит о том, что данная площадь была наиболее подвержена лесным пожарам и неблагоприятным климатическим воздействиям.

Запасы лесных культур хвойного происхождения были определены нами аналогичным способом – сплошным пересчетом. Здесь наибольший запас был на пробной площади № 3, он составил 1,17 т/га.

Запасы ЛГМ – важнейшая пирологическая характеристика лесных экосистем. Являясь интегральным показателем комплексов горючих материалов, их состав и запасы в совокупности обуславливают уровень природной пожарной опасности лесных участков, периодичность пожаров, их вид, силу и параметры кромок пламени, технику и тактику тушения. В конечном итоге, как указывает Э.Н. Валендик [1], информация о комплексах ЛГМ – необходимое условие для оценки лесопожарных свойств различных типов леса, противопожарного картирования лесных территорий, прогнозирования горимости лесов и проектирования мероприятий по охране их от пожаров.

В ходе определения запасов лесных горючих материалов мы выяснили, что чем больше запас, тем лесной пожар распространяется дальше и тем больше будет ущерб от пожара. Эти выводы подтверждаются и лич-

ными наблюдениями за действующими лесными пожарами в районе исследования.

Как стало известно, **запасы травянистой растительности** при одинаковых почвенно-грунтовых условиях зависят от полноты насаждения: с возрастанием полноты соответственно уменьшается и густота травостоя. С **листовым опадом** иначе: с увеличением полноты древостоя увеличивается и запас опада. Отсюда можно сделать вывод, что годовичное накопление опада от травянистой и кустарниковой растительности после снижения полноты насаждений может превышать количество опада древесных пород.

Разнообразие горючих материалов в лесу определяет и различный характер пожаров. Так, на наших пробных площадях с наличием тяжелых горючих материалов (пни, валежник, сухостой, сучья) или с хорошо развитым подростом скорость распространения пожара может не превышать 1–2 метров в минуту, но в то же время интенсивность огня может достигать значительных величин.

Проведенные нами наблюдения указывают на то, что после воспламенения горючего наиболее важным метеофактором, влияющим на скорость распространения и интенсивность горения, является ветер. Кроме того, на полигонах фактически было установлено, что на скорость распространения лесного пожара влияют такие факторы, как время суток, влажность ЛГМ, относительная влажность воздуха, температура воздуха, крутизна склона. Изменение факторов среды в течение суток обуславливает вероятность возникновения пожара и его дальнейшее развитие во времени и пространстве. Наибольшая скорость движения элементов пожара и интенсивность горения наблюдается с 13 до 17 часов, а к 21–22 часам горение ветоши вейника и напочвенного покрова при относительной влажности воздуха свыше 70 % прекращается. При этом скорость распространения огня на участках с вейниковым напочвенным покровом и разнотравьем (при прочих равных условиях) значительно меньше летом, чем в весенний период. С увеличением силы ветра эти различия возрастают.

В ходе проведения опытов была зарегистрирована наибольшая скорость движения кромки пожара, которая наблюдалась с 13 до 17 часов и составляла 27,75 м/мин., при скорости ветра 4,5 м/с. А к 21 часу ветер полностью прекратился, и с повышением влажности скорость распространения огня стала равна 0 м/мин (табл. 5). Естественно, что суточные циклические изменения метеофакторов необходимо учитывать при организации тушения пожаров. После полудня (с 13 до 17 часов) пожар достигает максимума своего суточного развития, поэтому его локализация в это время резко усложняется и не всегда дает положительные результаты. Наиболее успешно локализация пожара будет происходить с 20 до 08 часов [9].

Несмотря на относительную однородность территории лесхоза по характеру лесной растительности и природным условиям, горимость лесов здесь изменяется в широких пределах.

Для слабо освоенных территорий (Корсаковское и Николо-Львовское лесничества) характерно небольшое число пожаров, но они охватывают значительные площади. Как выяснилось, это связано с низкой плотностью населения и слабо развитой дорожной сетью, а следовательно, и с относительно малым числом источников огня на обширных пространствах. Ликвидация пожаров здесь крайне затруднена в связи с плохими транспортными условиями и недостатком людей.

В районах с высокой плотностью населения (Уссурийское лесничество) возникает большое количество пожаров, но они быстро гасятся, а поэтому средняя площадь каждого из них намного меньше, чем в слабо освоенных территориях.

С учетом вышеизложенного и в целях снижения горимости лесов рассматриваемого района необходимо провести ряд дополнительных организационно-технических мероприятий, направленных на предупреждение загораний, своевременное обнаружение возникших пожаров и ликвидацию их в начале развития.

Влияние ветра на скорость распространения элементов лесного пожара в весенний, летний и осенний периоды. (Усредненные данные огневых опытов на полигоне Уссурийского лесхоза 2003-2004 гг.)

Скорость ветра, м/с	Скорость распространения элементов пожара, м/мин								
	весной			летом			осенью		
	фронта	фланга	тыла	фронта	фланга	тыла	фронта	фланга	тыла
0	0,60	0,60	0,60	0,40	0,40	0,40	0,70	0,65	0,60
0,5	0,80	0,65	0,65	0,50	0,40	0,40	0,75	0,60	0,70
1,0	1,25	0,88	0,85	0,60	0,40	0,60	1,30	0,90	0,90
1,5	1,84	0,95	0,85	0,65	0,45	0,65	2,05	1,12	0,90
2,0	3,10	1,15	0,90	1,05	0,60	0,70	3,40	1,20	1,25
2,5	5,30	1,30	0,95	1,40	0,60	0,70	5,90	1,70	1,30
3,0	9,25	1,84	1,20	1,65	0,75	0,75	10,05	1,95	1,35
3,5	13,60	2,55	1,30	2,10	0,80	0,85	14,00	2,70	1,50
4,0	18,20	3,10	1,35	2,40	1,25	1,15	18,40	3,26	1,75
4,5	25,20	3,95	2,20	3,20	1,6	1,35	27,75	4,25	3,15

Примечание. Горючий материал – лесной опад из листьев дуба, вейника и лесного разнотравья. Влажность ЛГМ – 10-12 %. Запас ЛГМ– 28 т/га. Среднеквадратическая ошибка полученных данных от опытных составила: для фронта – ± 16 %, флангов – ± 14 %; тыла – ± 8 %

В охране лесов от пожаров, как отмечает Н.П. Курбатский [4], сформировались два четко выраженные направления. Одно из них – преимущественное развитие средств быстрого обнаружения и ликвидация пожаров. Второе предусматривает всемерное развитие лесопожарной профилактики.

Необходимо отметить, что развитие лесопожарной профилактики не исключает, а предполагает быстрое обнаружение и скорейшую ликвидацию возникших пожаров. Значение профилактики возрастает по мере увеличения частоты пожаров, которая нередко связана с ростом плотности населения.

За последние 15–20 лет широко внедряется в быт радио, телевидение, компьютерная техника, различные средства связи, поэтому эстетические требования населения к всевозможным мероприятиям быстро растут и находятся на высоком уровне. Поэтому плохо оформленные плакаты, аншлаги, лозунги, недостаточно квалифицированные выступления в печати, по радио и телевидению (часто одних и тех же лиц) не достигают цели. Агитационно-массовые мероприятия по содержанию должны быть дифференцированными по отношению к интересам различ-

ных групп населения, а по форме– удовлетворять высокие эстетические требования различных слоев современного общества.

Эффективность и польза от разъяснительной работы обеспечивается ее проведением в течение всего календарного года, но особенно усиленно ее следует проводить в период пожароопасного сезона.

Утверждение медиков о том, что самое эффективное средство борьбы с болезнями – их профилактика, справедливо также и по отношению к противопожарной службе. Поэтому противопожарной пропаганде среди населения следует придать активный наступательный характер.

Источниками лесных пожаров чаще всего являются бесконтрольные палы в районах сельхозугодий, которые впоследствии распространяются на лесные участки и повреждают хозяйственно ценные древесные породы (табл.6).

Следует отметить, что главной и единственной причиной возникновения лесных пожаров в исследуемом регионе пока все еще является деятельность человека (антропогенный фактор), так как в Южной части Приморья так называемых «сухих» гроз зарегистрировано не было.

Распределение количества пожаров по причинам возникновения

Причины возникновения пожаров	Количество пожаров по годам и %											Всего пожаров % от пожаров
	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	
I. С невыясненными причинами	5/45,5	–	1/25	5/71,5	9/32,2	53/75,7	20/87	1/20	–	3/9	–	$\frac{97}{39,1\%}$
II. С выясненными причинами, в числе которых:	6/54,5	3	3/75	2/28,5	19/67,8	17/24,3	3/13	4/80	28	30/91	36	$\frac{151}{60,9\%}$
неосторожное обращение с огнем:												
1) населения	1/9	–	–	1/14,25	8/28,6	6/8,5	1/4,3	–	7/25	3/9,1	2/5,6	$\frac{29}{11,7\%}$
2) сельхозпалы	5/45,4	2/66,6	–	1/14,25	6/21,4	8/11,5	1/4,3	4/80	12/42,9	22/66,8	29/80,5	$\frac{90}{36,3\%}$
3) умышленный поджог	–	–	1/25	–	2/7,13	–	–	–	3/10,7	4/12,1	1/2,8	$\frac{11}{4,5\%}$
4) прочие установленные причины	–	1/33,4	2/50	–	3/10,7	3/4,3	1/4,3	–	6/21,4	1/3	4/11,1	$\frac{21}{8,5\%}$
Всего пожаров:	11/4,5	3/1,2	4/1,6	7/2,8	28/11,3	70/28,2	23/9,3	5/2	28/11,3	33/13,3	36/14,5	$\frac{248}{100\%}$

В различных литературных источниках указывается, что лесной пожар теоретически может возникнуть из-за наличия вблизи горючего материала: битого стекла, кусков жести и т.д. Но практически нами были опровергнуты данные предположения. В ходе полевых работ нами было выполнено более 100 опытов и экспериментов в различных насаждениях при подборе горючего материала максимальной «спелости» в период высокой пожарной обстановки. В результате в течение 12-ти пожароопасных периодов ни на одном лесном полигоне лесного пожара не возникло.

Немаловажное значение, влияющее на возникновение пожаров, имеет заселенность края, которая возрастает с севера на юг. Она является антропогенным фактором горимости лесов в регионе. Если в среднем по краю плотность населения на 1 км² составляет 13,2, то по отдельным районам и частям края (север, средняя часть, юг) этот показатель варьируется в значительных пределах. Так, в северной части Приморья плотность населения на 1 км² составляет 1,07, в средней части – 3,19. В Южном Приморье, включающем Партизанский, Уссурийский, Лазовский, Хасанский и Шкотовский районы, показатель плотности равен 7,8, что определяет наибольшую плот-

ность населения в крае и вместе с тем провоцирует наибольшее число возгораний.

Выводы

1. Лесные горючие материалы играют самую важную роль в возникновении и развитии пожаров в изучаемом районе. В связи с этим необходимо выделить наиболее распространенные типы горючих материалов, различных по плотности сложения, влагоемкости и запасу, которые будут играть существенную роль при установлении классов пожарной опасности для того или иного участка лесного фонда (квартал, выдел). В настоящее время нами разрабатываются основные группы лесных горючих материалов, данные о которых будут привязаны к пожарным картам. Это даст возможность направленно и рационально проводить противопожарные мероприятия в данном районе.

2. Среди причин возникновения лесных пожаров в Южном Приморье человеческий фактор составляет до 100 %. Отсюда напрашивается вывод о том, что лесным службам совместно с другими природоохранными организациями и структурами края **необходимо направлять основные усилия именно на человеческий фактор**, то есть на преду-

прежде и выявление действительных виновников возникновения лесных пожаров. Немаловажную роль должна здесь играть и профилактическая работа с населением.

3. Одной из причин высокой горимости лесов исследуемого района является недостаточный уровень противопожарных работ в связи с крайне низким финансированием. Поэтому необходимо выделение значительных средств на противопожарное устройство территории (приобретение современных средств обнаружения и тушения лесных пожаров, мобильные средства связи, спутниковые навигаторы, инфракрасные видеокамеры и т. д.).

4. Учитывая большую плотность населения, уместно будет в период высокой пожарной опасности проводить мероприятия по ограничению посещаемости лесов местными жителями, обустривая для этого КПП и шлагбаумы. Здесь лесным службам необходимо тесное взаимодействие с местными органами власти по внедрению (на законодательном уровне) элементарных правил нахождения людей в лесу, правил сбора побочных продуктов леса, в которых отражались бы основные моменты поведения людей в пожароопасный период и разъяснялась реальная ответственность за нарушение Правил пожарной безопасности в лесах РФ.

5. С целью упорядочения сельскохозяйственных палов и повышения ответственности лиц, осуществляющих эти палы, необходимо перед началом пожароопасного сезона практиковать объявления по радио или через местные и краевые газеты о том, чтобы население не проводило самовольный отжиг сухой травы, а приглашало бы для этого работников лесной охраны лесхозов.

6. Анализ причин возникновения лесных пожаров в южных районах Приморского края показал, что все они так или иначе связаны с небрежным обращением человека с огнем в лесу, недостаточным вниманием к выполнению требований пожарной опасности, а нередко и с равнодушием к природе. Поэтому снова и снова особое внимание должно уделяться **разъяснительной и воспитательной работе** по охране лесов среди местного насе-

ления, работающего на с/х предприятиях и в организациях, производящих работы в лесу. Необходимо воспитывать у людей заботливое отношение к лесным богатствам и чувство ответственности за их сохранность.

Надо признать тот факт, что лесные пожары бушевали в прошлом, наносят колоссальный ущерб в настоящее время и неотвратимо будут возникать в будущем. Поэтому выполнение всего комплекса работ, включая противопожарные, профилактические мероприятия и научно-исследовательские работы, позволит успешно бороться с лесными пожарами и тем самым значительно снизить горимость лесов. Здесь немаловажную роль играет и политика государства, которая должна быть направлена на обеспечение лесных служб достаточным и устойчивым финансированием.

Список литературы

1. Валендик Э. Н. Борьба с крупными лесными пожарами. – Новосибирск: Наука, 1990. – С. 192.
2. Доев С. К., Олимпиев А. Е. Особенности возникновения и распространения лесных пожаров в Приморском крае и их профилактика // Сборник научных трудов. – Уссурийск, 2002.
3. Курбатский Н. П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов. // В кн.: Вопросы лесной пирологии. – Красноярск, 1970.
4. Курбатский Н. П. О значении и развитии лесопожарной профилактики. // В кн.: Вопросы лесной пирологии. – Красноярск, 1974. – С. 197–210.
5. Мокеев Г. А. Влияние природных и экономических условий на горимость лесов и охрану их от пожаров. // В кн.: Современные вопросы охраны лесов от пожаров и борьбы с ними. – М.: Лесная промышленность, 1965. – С. 26–37.
6. Олимпиев А. Е. Некоторые современные вопросы охраны лесов от пожаров в Приморском крае // Юбилейный сборник научных трудов. ПГСХА. – Уссурийск, 2003.
7. Сапожников А. П. Об оценке лесопожарной ситуации. // Охрана лесов от пожаров в современных условиях. Материалы междунар. Науч.-практ. конф. – Хабаровск, 2002. – С. 97–100.
8. Телицын Г. П. Лесные пожары, их предупреждение и тушение в Хабаровском крае. – Хабаровск, 1988. – С. 95.
9. Шешуков М. А. Анализ причин возникновения лесных пожаров и тенденция горимости лесов. Модельный лес «Гассинский». – Хабаровск, 1999.
10. Шешуков М. А., Громько С. А., Шведов А. Г. К оценке комплексного показателя пожарной опасности в лесу по условиям погоды // Охрана лесов от пожаров в современных условиях. Материалы междунар. Науч.-практ. конф. – Хабаровск, 2002. – С. 122–126.

СОСТОЯНИЕ И РОСТ ДУБРАВ В ВОСТОЧНОЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

С.И. КОНАШОВА, *проф. каф. лесоводства БашГМУ*

Немногим более чем за 30-летний период в восточноевропейской части России площади, занятые дубом, сократились вдвое. В Республике Башкортостан большая часть дубрав сосредоточена в лесах первой группы, ценность которых заключается в огромном санитарно-гигиеническом, эстетическом и рекреационном значении. Состояние, рост, развитие и формирование дубрав представляют научный интерес с точки зрения формирования насаждений, устойчивых к антропогенным и техногенным факторам.

Основные массивы лесов дуба в исследуемом районе сосредоточены в двух лесорастительных зонах: Предуралье и западном низкогорном склоне Южного Урала. Большая часть территории занята насаждениями дуба низкоствольного. Дуб высокоствольный в естественных условиях встречается реже и приурочен к западным склонам Южно-Уральского горного массива. Рассматривая более подробно распространение насаждений с преобладанием дуба, следует отметить, что основным фактором, определяющим его положение, является рельеф. Многие авторы [2–3, 6–8] считают характерными местами размещения дуба возвышенные положения и поймы рек. В западных предгорьях Южного Урала дуб встречается на высоте 750–800 метров над уровнем моря [1].

В историческом прошлом дуб расселялся в местах, которые раньше освобождались от ледников. Такими местами являлись возвышенности, на отдельных из них могли сохраниться широколиственные леса третичной (плиоценовой) эпохи. К таким рефугиям относится Южный Урал [5]. В местах, не подвергшихся оледенению выделяются две категории дубовых лесов [8]: леса древ-

ние, неогеновые, пережившие периоды похолоданий плейстоцена в южно-уральском предгорном рефугиуме, и дубовые леса – иммигранты более позднего голоценового времени формирования. Эти леса в настоящее время расположены на элементах рельефа молодого геологического возраста, в обширной области Камско-Бельского понижения которая в последние 10 тыс. лет освоена широколиственными лесами. Волна иммиграции широколиственных лесов началась в предбореальный период голоцена. В то время в районе нижнего течения р. Белой обнаруживаются остатки широколиственных пород. В последующий период дубовые леса продолжают мигрировать на запад, создавая ландшафт дубово-широколиственной степи.

Рассматривая современное состояние дубовых лесов, следует отметить, что их продуктивность изменяется в соответствии с условиями местопроизрастания. В южной левобережной широколиственной лесостепи дубовые леса имеют высший бонитет – II,5. В северном правобережном районе хвойно-широколиственных лесов средний бонитет составляет III,1. На юге Башкортостана в условиях Зилаирского плато преобладают дубравы IV реже III классов бонитета. Здесь же можно встретить и низкоствольные дубравы V бонитета. Низкопродуктивные дубравы приурочены в основном к местоположениям с мелкими почвами, подстилаемыми твердыми горными породами на крутосклонах и горных плато.

Дубовые леса имеют не высокую производительность по запасу – 139–217 м³/га, которая остается стабильной в течение длительного периода. Полнота низкоствольных дубрав составляет 0,6–0,7. В сильно изреженных спелых и особенно перестойных дубравах

полнота снижается до 0,3–0,5. Средний прирост дуба в среднем составляет 3,0 м³/га. Наименьший средний прирост по запасу имеют дубравы лесопарковой части зеленой зоны, где преобладают перестойные насаждения.

Изменения основных показателей роста дуба в насаждении и размерные параметры крон показаны в табл. 1, где видно, что высота к 110-летнему возрасту увеличивается до 24,2 м, при вариации не более 20 % и точности опыта до 5 %. Средний диаметр возрастает в 1,9 раза. Размер крон изменяется в среднем в 1,2 раза.

Для установления закономерностей роста одновозрастных насаждений изучены 70-летние дубравы различного видового состава, с долей участия дуба от 10 до 3 единиц. Среди рассматриваемой популяции большую площадь занимают дубравы, в котором дуб образует до 50 % состава. Как видно из табл. 2, спелые 70-летние дубравы на большей площади представлены многовидовыми насаждениями, где в составе с дубом произрастают береза, клен, липа, вяз. Доля чистых дубрав незначительна.

Вариабельность по высоте незначительная и составляет 4,3 %, по диаметру – 9,3 %. Таким образом, рассматриваемые показатели роста одновозрастных дубовых насаждений в некоторой степени зависят от состава. По сравнению с чистыми дубравами высота дуба в многовидовых насаждениях на 5–14 % выше, т. е. сопутствующие породы являются подгоном для дуба и способствуют более интенсивному его росту. Если же рассматривать соотношение диаметров, то здесь наблюдается обратное явление, т. е. диаметр дуба в чистых насаждениях выше на 6–23 %, чем во многовидовых.

В основу изучения динамики лесоводственно-таксационных показателей, характеризующих дубовые насаждения различных лесотипологических групп, был положен возрастной ряд. При анализе использованы данные пробных площадей и массовый материал лесотаксационных описаний дубрав зеленой зоны г. Уфы, что позволило получить общую характеристику дубрав с 20 до 130-летнего возрастов (табл. 3).

Т а б л и ц а 1

Основные показатели роста отдельных деревьев дуба (н) в насаждениях

Состав древостоя	Возраст, лет	Средние			
		Высота, м	Диаметр, см	Протяженность кроны, м	Диаметр кроны, м
74Д14Ос9Лп2Б	55	17,84±0,38	23,04±1,26	8,91±0,62	5,37±0,46
86Д13Ос1Лп	65	18,91±0,56	24,72±1,30	8,68±0,56	6,17±0,37
42Д58Лп+В	110	24,2±0,24	45,7±1,75	10,16±0,42	6,76±0,40

Т а б л и ц а 2

Рост дуба (н) по высоте и диаметру в 70-летних древостоях разного состава

Средний состав насаждений	Средняя высота, м	Отклонение, %	Средний диаметр, см	Отклонение, %
10Дн	18,0	± 0	32,0	± 0
9Дн1Б	19,0	+ 6	26,0	- 19
8Дн2Б	20,0	+ 11	30,0	- 6
7Дн1,5Лп1,2Б0,3В	18,9	+ 5	28,6	- 11
6Дн2Б1Лп0,7В0,3Кл	18,8	+ 4	25,2	- 21
5Дн2,6Лп1Б0,4В	18,5	+ 3	25,8	- 19
4Дн2,6Лп1,6Б1,8Кл	19,4	+ 8	24,6	- 23
3Дн2Лп2Кл1Б1Ос1В	18,9	+ 5	28,7	- 10
Средние	19,9		28,11	

Математико-статистические методы анализа роста дубовых насаждений позволили выявить наиболее тесные корреляционные связи как в пределах возрастного ряда, так и составить математические модели роста дубрав. Полученные таким образом средние таксационные показатели и их статистические характеристики дают наглядную картину возрастной динамики насаждений в зависимости от типов леса, позволяют выделить наиболее продуктивные насаждения и определить их оптимальный состав.

Анализируя показатели роста дубрав по высоте, диаметру, бонитету, полноте, за-

пасу и среднему приросту, можно сделать заключение, что, несмотря на экстремальные периоды в экологическом развитии, дубравы зеленой зоны достаточно продуктивны, что можно объяснить богатством темно-серых и черноземовидных почв, на которых и произрастают исследуемые дубравы.

Изучаемые дубравы в основном среднеполнотные, заметное снижение полноты наблюдается в старших возрастах. В этот период на 1 га произрастает всего 30–70 деревьев, однако, имея средний диаметр до 50 см, а отдельных деревьев и более, дуб занимает господствующее положение, с различной долей участия в составе.

Т а б л и ц а 3

Средние таксационные характеристики дубовых насаждений

Показатели (средние)	Классы возраста													Сред ние
	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Дубравы снытьевые														
Площадь, га	1,4	6,6	6,7	18,8	118,5	77,7	35,4	49,3	27,9	23,1	6,5	18,2		
Высота, м	7,5	11,1	15,0	17,4	20,2	21,5	23,3	23,5	23,4	23,5	24,0	24,0	19,5	
Диаметр, см	9,0	14,1	15,1	20,8	29,6	32,4	36,0	42,7	47,1	50,2	60,5	58,0	34,7	
Бонитет	2,5	3,2	3,0	2,4	2,2	2,6	2,4	2,6	2,9	3,0	3,0	3,0	2,7	
Полнота	0,55	0,66	0,70	0,65	0,64	0,57	0,59	0,56	0,52	0,57	0,51	0,51	0,59	
Запас, м ³ /га	50	95	180	195	210	199	217	214	205	219	178	171	178	
Прирост, м ³ /га	3,3	3,8	5,1	4,3	3,8	3,06	2,89	2,52	2,16	2,09	1,55	1,37	3,00	
Дубравы злаковые														
Площадь, га		4,0	27,0	3,8	42,3	-	12,8	5,1	-	-	1,0	-		
Высота, м		10,0	12,0	15,0	16,6	-	17,2	17,2	-	-	22,0	-	19,3	
Диаметр, см		14,0	16,0	18,0	25,1	-	33,2	38,0	-	-	44,0	-	23,7	
Бонитет		4,0	4,0	3,0	3,3	-	4,0	4,0	-	-	3,0	-	3,5	
Полнота		0,80	0,80	0,70	0,58	-	0,50	0,60	-	-	0,30	-	0,64	
Запас, м ³ /га		100	130	139	145	-	122	151	-	-	110	-	135	
Прирост, м ³ /га		2,8	2,9	3,1	2,6	-	1,6	1,8	-	-	0,9	-	2,5	
Дубравы ежевиковые														
Площадь, га		0,9	5,2	27,4	95,9	39,8	1,9	4,6	-	3,5	-	-		
Высота, м		9,3	15,0	16,1	18,0	19,1	20,4	23,0	-	24,0	-	-	18,1	
Диаметр, см		10,6	16,0	20,2	25,3	31,1	36,0	41,0	-	48,0	-	-	31,8	
Бонитет		3,3	3,0	3,0	2,9	2,9	3,0	2,4	-	3,0	-	-	2,9	
Полнота		0,70	0,60	0,67	0,54	0,55	0,38	0,54	-	0,40	-	-	0,54	
Запас, м ³ /га		78	119	156	147	165	116	204	-	160	-	-	153	
Прирост, м ³ /га		3,20	3,48	3,47	2,67	2,53	1,55	2,40	-	1,52	-	-	2,75	

Рассматривая возрастную динамику роста дуба в высоту и по диаметру в зависимости от лесорастительных условий, следует отметить, что лучшими показателями характеризуются снытьевые дубравы. Ежевиковые дубравы, произрастающие в пойме, занимают промежуточное положение и имеют средние показатели роста. В злаковых высота и диаметр на протяжении всего возрастного ряда ниже, чем снытьевых и ежевиковых дубравах.

На протяжении анализируемого возрастного ряда лесоводственно-таксационные показатели роста дубрав в большинстве случаев тесно взаимосвязаны и подчиняются определенным закономерностям.

Тесная корреляционная зависимость возраста прослеживается с высотой ($\eta = 0,896$), диаметром ($r = 0,993$), приростом ($\eta = -0,864$), менее тесная с полнотой ($\eta = -0,585$) и запасом ($\eta = 0,583$). Достоверность полученных корреляционных отношений заданных параметров подтверждается F-критерием Фишера.

По мере старения дуба, достижения им возраста естественной спелости и образования в результате отпада свободных ниш, происходит смена дуба породами-спутниками. Считается, что общей причиной смены растительных сообществ в глобальном масштабе является климат, второй наиболее выраженный фактор, стимулирующий смену пород, связан, как считает Н.П. Калинин [4], с биоэкологическими особенностями сменяющихся пород и их взаимоотношениями с дубом. Каждое сообщество характеризуется определенной системой взаимоотношений между населяющими его особями, и эта борьба протекает под воздействием экзогенных и эндогенных факторов, которые так или иначе влияют на исход борьбы, что и приводит к замене одного сообщества другим. В этой связи рассмотрим динамику состава дубрав в зависимости от возраста.

Состав насаждений с участием дуба на протяжении всего возрастного ряда довольно однороден и спутниками дуба является липа, клен, вяз. Иногда в составе в ко-

личестве 2–3 % присутствуют осина и береза. При снижении доли дуба в составе насаждения, к 60-летнему возрасту увеличивается участие вяза, но в 110–130 – лет при снижении доли дуба в составе возрастает участие липы.

Судя по изменению среднего состава насаждения, участие дуба в нем не снижается менее 59 %. Липа участвует в составе на уровне 19–35 %, а остальные породы представлены минимальным участием. Следует также отметить, что в возрасте 90–100 лет вяз полностью вытесняется из состава, а липа, к этому возрасту образует второе поколение. В последующем возрастном периоде (XI класс возраста) роль дуба как лесообразователя усиливается. В этом возрасте дуб произрастает в составе с липой без участия других пород, лишь в некоторых случаях отмечается единичное (1–2 %) присутствие клена остролистного. Возможно, этот возраст является переломным в формировании состава, потому что к этому времени происходит отмирание короткоживущих видов (осина, вяз, клен), а дуб и липа усиливают свои позиции – дуб за счет долголетия и конкурентоспособности, а липа за счет появления и выхода в основной ярус второго, более молодого поколения.

В 120–130 лет видовой состав насаждения может формироваться в двух направлениях – разновозрастные дубово-кленовые или дубово-липовые насаждения. В насаждениях дуба к 110-летнему возрасту липа из подроста выходит в основной полог, и насаждения представлены сложными насаждениями с участием двух поколений липы 81–100 лет и 45–60 лет. Насаждения, где дуб, по мере его отпада, сменяется кленом, встречаются реже, преимущественно в лесопарковой части зеленой зоны. Успех смены дуба кленом зависит во многом от густоты кленового подроста и полноты верхнего яруса. При полноте основного дубового яруса 0,3–0,5 и незначительном участии в составе других пород кленовый подрост развивается успешно и присутствует под пологом в количестве 10–15 тыс. экземпляров на гектаре. Благодаря высокой густоте и сомк-

нутости кленовый подрост препятствует возобновлению дуба и других пород. Смена дуба кленом характерна чаще для чистых дубовых насаждений с незначительной долей участия в составе других пород. Клен в этом случае завоевывает «окна», образовавшиеся в результате выборочной санитарной рубки или естественного отпада дуба, и образует сомкнутый полог. Устойчивое его существование в биогеоценозе обуславливается его теневыносливостью, наличием обильного количества самосева, хорошей порослевой способностью, устойчивостью к заморозкам и механическим повреждениям. Эти и другие биологические свойствами клена, в т. ч. способность произрастать в различных условиях среды, обуславливают его устойчивое существование как соподчиненного яруса в дубовых насаждениях. Сможет ли он в будущем завоевать господствующий ярус предположить трудно, так как в лесопарковой зоне такие насаждения встречаются на незначительных площадях. При невысоких рекреационных нагрузках в случае, когда полнота насаждения выше и составляет 0,6–0,9, конкуренцию выигрывает липа. Клен в таких условиях остается под пологом и в верхний ярус не выходит.

Исходя из этого можно заключить, что сокращение площади дубрав не есть результат лишь влияний климатических факторов, а отчасти является и следствием ассоциативных смен растительности, обусловленных различными факторами и, прежде всего, антропогенными.

Результаты исследований возобновления под пологом дубовых насаждений показали, что в историческом развитии у дуба выработалась способность при небольшом количестве семян давать достаточное для воспроизводства вида количество всходов, которые отличаются высокой жизнеспособностью и могут образовывать при надлежащих условиях насаждения господствующего яруса. Под пологом исследуемых лесов самосев дуба встречается в количестве до 2,2 тыс. экз./га. Подрост старших возрастных состояний почти отсутствует или со-

храняется по опушкам полян, прогалинам и редианам с достаточной освещенностью. Характеризуется неполноценным возрастным рядом с максимумом подроста в возрасте до 10 лет и высотой не более 0,5 м, пониженной жизненностью. Слабый рост и периодическое отмирание верхушечных побегов являются характерными особенностями молодого поколения, растущего под пологом леса при значительном затенении. Для последующего обеспечения выхода дуба в верхний полог необходимы меры по воспитанию подроста, обеспечивающие достаточную освещенность, снижение густоты и сохранение подроста сопутствующих пород в количестве, необходимом для формирования многовидовых насаждений. Увеличение интенсивности освещения и установление благоприятного светового режима могут увеличивать прирост в высоту с 3–5 до 30–43 см в год. В таких случаях дуб способен формировать насаждения в составе с породами спутниками (липа, вяз, клен). Только проведение своевременных уходов, позволяющих сформировать среду, близкую к оптимальной, обеспечит в дальнейшем постепенный выход дуба в первый ярус. В то же время для антропогенных лесов требуется разработка комплекса мер по сохранению и воспроизводству дубрав с учетом лесорастительных условий и состояния дубовых лесов.

Список литературы

1. Богданов А.Н. Краткий очерк растительности покрова районов БАССР // Природные условия районов Башкирии и повышение урожайности с.-х. культур. – Уфа, 1955. – С. 32–46.
2. Горчаковский П.Л. Широколиственные леса и их место в растительном покрове Южного Урала. – М.: Наука, 1972. – С. 9–110.
3. Гулисашвили В.З., Махататзе Л.Б., Прилипко Л.И. Растительность Кавказа. – М., 1975. – 228 с.
4. Калинин Н.П. Дубравы России. Монография: – М.:ВНИИЦлесресурс, 2000. – 536 с.
5. Лавренко Е.М. Лесные реликтовые (третичные) центры между Карпатами и Алтаем // Журнал русского ботанического общества. – 1930. – № 4.
6. Лосяцкий К.Б. Дуб. – М., 1981. – 100 с.
7. Новосельцев В.Д., Бугаев В.А. Дубравы. – М., 1985 – 214 с.
8. Попов Г.В. Леса Башкирии. – Уфа, 1980. – 144 с.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК ДЛЯ ВЫБОРА СТРУКТУРЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРНЫХ

Ю.Т. ЦАЙ, *проф., академик МАНЭБ (ВНИИГТОМлесхоз), канд. техн. наук*

Выбор методов и средств исследования градиентов температур воздуха рабочей зоны, теплового излучения, концентрации угарного и углекислого газов на лесных пожарах требует подробного изучения литературы по данному вопросу как у нас в стране, так и за рубежом. Важными являются данные о концентрации токсичных веществ в дыме, температуре воздуха, тепловом излучении в зависимости от интенсивности и характера пожара, а также от расстояния местонахождения пожарного до кромки пожара.

Кромка пожара представляет собой фронт горения определенной ширины, самопроизвольно продвигающийся по растительному покрову. Интенсивность лесного пожара определяется количеством тепла, выделяемого с единицы площади кромки пожара в единицу времени. Температура воздуха рабочей зоны, количественный и качественный состав токсичных продуктов горения лесных горючих материалов (ЛГМ) находятся в прямой зависимости от вида и интенсивности пожара. Существуют следующие виды лесных пожаров: беглые низовые пожары – огонь при них распространяется по напочвенному покрову; устойчивые (подстильно-гумусовые) – горит подстилка и более глубокие горизонты почвы; валежные пожары, старые гари, неочищенные лесополосы, ветровалы и т. д.; торфяные пожары; верховые устойчивые пожары распространяются по кронам хвойных деревьев. Возможны при попутном ветре или вверх по склону. Скорость такого пожара наименьшая из всех верховых пожаров и составляет 1–3 километра в час; верховые беглые пожары распространяются по склону и при попутном ветре по сомкнутым кронам высоко-

полнотных хвойных насаждений; верховые повальные пожары – горят все ярусы леса.

По степени опасности для человека условия среды пожара подразделяются на три зоны:

– первая зона – обычные условия, создающиеся в жаркую солнечную погоду на достаточном удалении от фронта пожара. Температура не превышает 60–70 °С, тепловое излучение – 1,2–1,6 кВт/м²;

– вторая зона – опасные условия, возникающие вблизи пламени. Верхняя граница этой зоны: температура около 300 °С, тепловое излучение – 8–12 кВт/м². В этой зоне воздействие повышенных температур на человека изменяется следующим образом: при температуре 150 °С дыхание становится очень затрудненным, температура 160 °С вызывает ожог сухой кожи через 30 сек., а температура 160 °С вообще непереносима. Воздействие теплового излучения 2 кВт/м² вызывает ожог кожи второй степени через 100 сек., а воздействие теплового излучения 10 кВт/м² приводит к такому же поражению кожных покровов уже через 10 сек.

– третья зона – чрезвычайно опасные условия, при которых значение температур воздуха достигает 1000 °С, а тепловое излучение достигает значений 100–200 кВт/м². Пребывание людей в таких условиях в течение нескольких секунд может привести к необратимым поражениям кожных покровов, верхних дыхательных путей и, как следствие этого, к смертельному исходу [1, 2].

Сгорающие при лесных пожарах материалы состоят из целлюлозы, лигнина и небольшой примеси многих веществ: воска, жиров, белков и некоторых других органи-

ческих и минеральных соединений [2]. Температура воспламенения горючих растительных материалов достаточно высока и составляет 300 °С и более [3, 4].

Выделение тепла при растительных пожарах составляет величину около $(1,6-2) \cdot 10^4$ кДж/кг и сравнимо с тепловыми эффектами горения взрывчатых веществ и пороха. В то же время скорость распространения кромки пожара значительно (иногда на два порядка) превышает скорость горения взрывчатых веществ и пороха (при атмосферном давлении в неподвижной инертной среде она составляет доли миллиметров в секунду). При нагревании до температуры около 300 °С лесные горючие материалы (ЛГМ) разлагаются (термолизируются) на газообразные продукты, называемые «летучими», и золу. В большинстве ЛГМ летучие вещества составляют 65–75 %, кокс – 20–25 %. Зола имеется в небольших количествах [3].

При тушении лесного пожара на человека действуют негативные факторы, которые по их природе можно разделить на три группы: физико-химические, психофизические и биологические (рис. 1).

К физико-химическим факторам можно отнести повышенную температуру воздуха рабочей зоны, световое и тепловое излучение, наличие в дыме угарного газа и углекислоты, горящих частиц ЛГМ и др.

В группу психофизических факторов входят нервно-психологические и физические нагрузки.

Биологические факторы – это наличие в рабочей зоне кровососущих насекомых, способных вызывать кожные аллергические реакции, зуд. Эти насекомые могут являться переносчиками таких заболеваний, как клещевой энцефалит, малярия и др. [5].

Кроме вышперечисленных факторов, немаловажное воздействие на организм работающего оказывают шум, вибрация, падение подгоревшего древостоя и т. д.

Шум затрудняет речевой обмен, приводит к искажению приказов, распоряжений и поступающей информации. В условиях повышенной шумности снижается способность к концентрации, увеличивается время реакции на различные сигналы, может отмечаться спазм сосудов головного мозга, повышение кровяного давления, расстройство сна и т. д.

Воздействие вибрации при работе на тракторах и при работе активного рабочего органа воздуходувок может привести к развитию вибрационной болезни. Ее клинические проявления заключаются в нарушении работы опорно-двигательного аппарата, в расстройстве со стороны периферической нервной системы. Длительное воздействие вибрации в перспективе может привести к временной и даже полной утрате трудоспособности.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ:

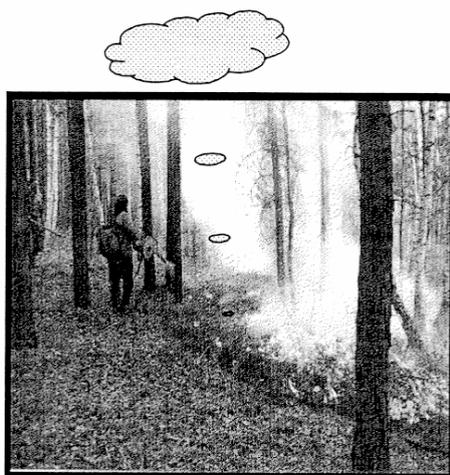
повышенная запылённость, задымлённость (угарный газ, углекислый газ), повышенная температура воздуха, горящие частицы ЛГМ, световое и тепловое излучение

ПСИХОФИЗИЧЕСКИЕ:

нервно-психологические и физические перегрузки

БИОЛОГИЧЕСКИЕ:

комары, клещи, мошка



ожоги дыхательных путей и кожи

отравление угарным газом

удушающее действие дыма

раздражение глаз, слизистых оболочек

повышенная физическая и психологическая утомляемость

повреждения защитной экипировки

заболевания клещевым энцефалитом, малярией

Рис. 1. Опасные факторы лесного пожара и их воздействие на человека

Падение подгоревших и сухостойных деревьев является непосредственной причиной травматизма и несчастных случаев. Последние возникают, как правило, вследствие нарушения техники безопасности и несовершенной организации рабочего процесса.

Наиболее характерным и часто встречающимся негативным фактором лесного пожара при работе людей является высокая температура окружающей среды. Наибольшую роль при воздействии высоких температур на организм играет физическая терморегуляция или повышение теплоотдачи организмом человека. Значение этой регуляции становится тем понятнее, если учесть, что при тяжёлой физической нагрузке в условиях нагревающего микроклимата образование тепла в организме может повышаться в 2–3 раза, а на короткий период – в 20–30 раз. С помощью терморегуляции, за исключением работы в особо неблагоприятных условиях при высоких температурах, организму удастся поддерживать нормальный теплообмен. При продолжении воздействия высокой температуры в центральной нервной системе человека после кратковременного усиления возбуждения развиваются процессы торможения, наступает дискоординация движений, появляется жажда, головная боль, головокружение, стук в висках, слабость, нежелание двигаться. Известно, что при повышении температуры тела до 40 °С и более может наступить тепловой удар (высокая степень перегревания), который сопровождается появлением судорог, галлюцинациями, потерей сознания [2].

Наиболее частой причиной, выводящей из строя личный состав пожарных команд при тушении лесных пожаров, является тепловой удар. Реальную угрозу для человека представляют температурные нагрузки, приводящие к повреждению кожных покровов, верхних дыхательных путей, слизистых оболочек носа, гортани, ушных раковин, глаз.

Температуру 65 °С человек может выносить ограниченное время. Предельное пребывание человека при температуре 95 °С резко сокращается, при температуре 120 °С

пребывание человека составляет 15 мин., при 145 °С – 5 мин., при 175 °С наступает необратимое поражение кожных покровов менее, чем за одну минуту. В США пожарные ежегодно получают ожоги, при которых поражается не менее 15 % кожных покровов.

Помимо непосредственного контакта пожарного с открытым огнем, дымом, большое влияние на организм человека оказывает тепловое излучение [3].

Преобладающую роль при распространении низового пожара играет конвективный тепломассоперенос. Интенсивность лесного пожара – количество энергии, выделяющейся с единицы горящей поверхности в единицу времени. Интенсивность пожара выражается количественно. Мощность тепловыделения с единицы погонного метра кромки может варьировать в диапазоне от 15 до 10000 кВт/м.

Типичная максимальная температура при низовых пожарах составляет 300–700 °С. Средняя температура пожаров составляет 340 ± 133 °С. Максимальная температура пожара обычно регистрировалась на высоте 5 или 10 сантиметров от поверхности.

Интенсивные верховые пожары характеризуются температурой пламени 900–1200 °С, и в отдельных случаях они достигают величины 1500 °С [3].

Для оценки нагревающего микроклимата в помещении вне зависимости от времени года, а также на открытой территории в теплый период года используется интегральный показатель – тепловая нагрузка среды (ТНС-индекс). ТНС-индекс – эмпирический интегральный показатель (выраженный в градусах Цельсия), отражающий сочетание влияния температуры воздуха, скорости его движения, влажности и теплового облучения на теплообмен человека с окружающей средой. Тепловое облучение тела человека (≤ 25 % его поверхности), превышающее 1000 Вт/м, характеризует условия труда как вредные и опасные [6].

Токсичные газы, образующиеся при горении, оказывают отравляющее действие на организм человека. Наиболее токсичным компонентом летучих веществ, образу-

щихся при пиролизе ЛГМ, является монооксид углерода (угарный газ). Угарный газ образуется как продукт неполного сгорания лесных горючих материалов вследствие недостатка кислорода и обнаруживается в больших или меньших концентрациях в дымах, выделяющихся при горении. Опасность угарного газа заключается в том, что он не имеет ни цвета, ни запаха. При попадании в организм человека он вступает в достаточно стойкое соединение с гемоглобином крови – белком, отвечающим за транспортировку кровью кислорода из вдыхаемого воздуха к головному мозгу и другим тканям организма. Сродство угарного газа к гемоглобину приблизительно в 250–300 раз выше, чем у кислорода. Таким образом, связывая гемоглобин, он препятствует транспортировке кислорода к клеткам организма, вследствие чего от его недостатка наступает фактическое удушье. Если вдыхаемый воздух содержит только 0,07 % (0,7 мг/л) окиси углерода, то, умножив 0,07 на 300 (сродство гемоглобина к СО), получим 21 – число, отвечающее концентрации кислорода в воздухе, при котором такое же количество СО, как и кислорода, будет связано с гемоглобином. Это означает, что только половина гемоглобина крови будет способна переносить кислород. В состоянии покоя вызванные этим нарушением явления не столь выражены, однако при повышении потребности в кислороде (увеличение двигательной активности, активная физическая работа) недостаток свободного гемоглобина становится ощутимым. Избыточное давление внутри пламени способствует проникновению продуктов термолитического разложения ЛГМ (в основном угарного газа) в вентилируемые и негерметичные укрытия типа землянок, блиндажей и т.п. Это создает опасность находящимся там людям. Установлено [6, 7], что при содержании окиси углерода (угарного газа) СО в воздухе 0,1 % пребывание человека в этой атмосфере в течение 45 минут вызывает слабое отравление и появляются легкая головная боль, тошнота, головокружение. При пребывании в течение 45 минут в воздухе рабочей зоны с содержа-

нием 0,15–0,2 % окиси углерода наступает опасное отравление, и человек теряет способность двигаться. При содержании СО в воздухе 0,5 % сильное отравление наступает через 15 мин., а при содержании 1 % человек теряет сознание и через 1–2 мин. может наступить смертельное отравление.

Опасность заключается, прежде всего, в токсическом воздействии недостатка кислорода на ткани головного мозга, вследствие чего состояние человека характеризуется общей слабостью, учащением сердцебиения, нарушением ритма и глубины дыхания. В дальнейшем уменьшается сосредоточение внимания, снижается мыслительная способность человека, увеличивается время реакции на различные сигналы. При тяжелом отравлении может наблюдаться потеря сознания и даже летальный исход.

На лесном пожаре каждый килограмм ЛГМ при тепловом разложении на газы и зольный остаток выделяет около 400 мг угарного газа. При этом внутри пламени концентрация его достигает 250–300 мг/л. Поскольку этот газ в пламени сгорает не полностью, над пламенем его концентрация составляет 25–30 мг/л, а у поверхности земли перед зоной горения – 0,7–2,0 мг/л. При прохождении низового пожара над землянкой или другим негерметичным укрытием концентрация угарного газа в нем составляет 0,2–0,5 мг/л. Длительность работы при различных ПДК угарного газа в воздухе рабочей зоны представлена в табл. 1.

Углекислота – менее токсичное соединение. Содержание его в воздухе от 12,1 до 38,2 мг/м³, вызывает раздражение глаз и верхних дыхательных путей. Продолжительность работы при такой концентрации СО₂ допускается не более 1 ч.

Концентрация же его, равная 160–200 мг/м³ при вдыхании в течение 5–10 мин может оказаться смертельной. Наступающие вследствие нарушения обмена веществ изменения в организме человека происходят не потому, что происходит уменьшение содержания кислорода в крови, а в результате обогащения ее углекислотой.

Продолжительность работы при различных ПДК СО в воздухе рабочей зоны

Предельно допустимые концентрации СО в воздухе, мг/м ³	Продолжительность работы
20	не ограничено
50	не более 1 часа
100	не более 30 минут
200	не более 15 минут

Типичная смерть от удушья является результатом отравления углекислотой, а не следствием недостатка в воздухе кислорода. Действие углекислоты на людей играет решающую роль, но в крайних случаях это действие усиливается вследствие возрастающего недостатка кислорода. При длительных процессах окисления в пространствах с недостаточной вентиляцией дело может дойти до постепенного израсходования всего кислорода. При подобного рода «вялом воздухе» возникает опасность удушья вследствие недостатка кислорода. Известно, что углекислый газ вызывает учащение дыхания и тем самым увеличивает поступление в организм других газов (при содержании в воздухе 3 % СО₂ дыхание ускоряется в два раза). Углекислота также вызывает раздражение глаз и верхних дыхательных путей.

В период напряженной работы при крупных затяжных лесных пожарах в США (1987) у многих лесных пожарных наблюдались повышенная утомляемость, раздражение глаз, респираторные заболевания. Тщательному обследованию подверглись более 150 человек, большинство из которых имело нарушения со стороны дыхательной системы. Были выявлены высокие концентрации в крови угарного газа и углекислоты, а также содержащегося в дыме горящей древесины бензо- α -пирена, обладающего высокой канцерогенной активностью. Было изучено также влияние дыма на функцию легких и выявлено, что эффект воздействия дыма на организм зависит от дозы. Для ее регулирования следует ограничивать продолжительность работы в зависимости от плотности

задымления и устанавливать интервалы отдыха, в течение которых содержание оксида углерода в крови могло бы вернуться к норме.

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ однонаправленного действия сумма отношений фактических концентраций каждого из них к ПДК₁ ПДК₂, ... , ПДК_N не должна превышать единицы /ГОСТ 12.1.005-88/.

Наличие дыма при лесном пожаре создает, кроме вышеизложенного, снижение видимости, что значительно ухудшает условия работы на кромке пожара, воздействуя на лесных пожарных не только физически, но и как психологический фактор. Данные ПДК при действии на человека окислов углерода, температуры и теплового облучения представлены в табл. 2.

В характере протекания лесных пожаров и пожаров на гражданских объектах, есть очевидное различие. Понятно что для борьбы с лесными пожарами требуется больше людей (причем некоторые из них могут иметь недостаточный опыт или не иметь его совсем), больше финансовых ресурсов, распределяемых на обширных территориях. В связи с этими факторами лесные пожары представляют проблемы для личной безопасности в трех областях: для самих лесных пожарных, для района, непосредственно окружающего пожарного, для района самого пожара.

Прямым способом повышения безопасности лесного пожарного является его профессиональная подготовка и улучшение боевого оснащения.

Предельно допустимая концентрация на человека

Наименование вещества	Величина ПДК
Углерода оксид (СО), мг/м ³	20
Углекислый газ (СО ₂), мг/м ³	9000
Температура воздуха рабочей зоны, °С	29-33 °С > 60 °С следует использовать головной убор > 100 °С необходимо использовать средства индивидуальной защиты
Тепловой поток, кВт/м ²	≤ 100 при облучении 25 % поверхности тела необходимо использовать средства защиты глаз и органов дыхания

До тех пор, пока профессиональная подготовка не стала стандартной практикой и программы подготовки не приобрели универсального характера, знание специфики лесопожарных работ может стать инструментом спасения человеческих жизней. В связи с тем, что тушение лесного пожара часто представляет собой трудную многодневную работу в сложных условиях окружающей среды, забота о личной безопасности начинается с приобретения необходимой физической формы.

У лесного пожарного, обладающего хорошей физической и аэробной формой, имеется гораздо больше шансов на сохранение здоровья и жизни.

Вредные факторы, воздействующие на пожарных при тушении лесных пожаров, имеют существенные отличия от факторов, действующих на людей при тушении пожаров на гражданских объектах и в других чрезвычайных ситуациях. Поэтому средства индивидуальной защиты лесных пожарных (СИЗ) должны иметь характеристики, которые бы учитывали специфику лесопожарных работ набором показателей-измерителей наиболее существенных факторов: X_1 – высокая температура; X_2 – тепловое излучение; X_3 – наличие в воздухе рабочей зоны угарного газа; X_4 – наличие в воздухе рабочей зоны углекислоты; X_5 – недостаток кислорода; X_6 – наличие кровососущих насекомых (комаров, клещей, мошек); X_7 – длительность пребывания в средствах защиты (нервно-психологические и физические перегрузки).

Z_1, \dots, Z_7 – кратность превышения ПДК с учетом длительности нахождения в

рабочей зоне t_{1j}, \dots, t_{7j} ($j_1 = 15$ мин., $j_2 = 30$ мин., $j_3 = 60$ мин., $j_4 > 60$ мин.) для факторов x_1, \dots, x_7 .

Таким образом, по трем группам факторов насчитывается достаточно большое число единичных (частных) показателей ($n = 7 + 4 \cdot 7 = 35$) по видам оценок (число видов оценок – по типам пожаров и классам их опасности, $m = 4 \cdot 3 = 12$).

Применение при оценке безопасности лесных пожаров комплексного критерия предполагает предварительный выбор наиболее существенных частных показателей и измерителей факторов для последующего включения их в комплексную оценку.

Выявление наиболее значимых (информативных) показателей методами многофакторного физического экспериментирования в настоящее время практически неосуществимо по причинам отсутствия методических разработок и большой трудоемкости реализации.

В условиях указанных неопределенностей и трудностей, связанных с чрезвычайной сложностью системы «человек – лесной пожар – окружающая среда», с учетом имеющей место неоднозначности формирования некоторых из ее существенных признаков, неполноты информации и невозможности полной математической формализации процесса решения поставленной задачи был принят метод экспертных оценок (ЭО).

Метод ЭО включает три составляющие:

– интуитивно-логический анализ задачи, поставленной группой аналитиков или

ее фрагмента каждым экспертом индивидуально на базе своих знаний;

– решение и выдача количественной или качественной характеристики (оценки) – завершающая часть индивидуальной работы эксперта, выполненная им после ознакомления с предварительными результатами предыдущего этапа для экспертов данной группы и взаимодействия с аналитиками;

– обработка результатов решения извлеченных знаний экспертов для обобщения и формирования результирующего показателя (оценки результата задачи).

Для измерения таких качественных показателей, как весомость признаков, используются различные методы: ранжирование, парное сравнение, последовательное сравнение, непосредственная оценка и др.

При разработке анкет, организации и проведении экспертных оценок группой специалистов-аналитиков было предусмотрено априорное ранжирование показателей. Ранжирование позволяет из данной используемой совокупности объектов, признаков выбрать наиболее существенный и провести упорядочение без точного измерения весомости или степени выраженности того или иного качества. Достоинством этого метода является простота реализации составляющих его процедур; его можно рекомендовать при оценке, когда число объектов упорядочения меньше 15–20 [9].

Проведение экспертизы по ранжированию показателей включало следующие этапы: формирование группы специалистов-аналитиков, отбор экспертов, проведение экспертного опроса, оценка согласованности мнений экспертов и получение характеристик группового ответа.

С учетом того, что экспертному оцениванию подлежат не только входные факторы x_i и z_i , но также и выходные факторы y_k , определяющие степень воздействия этих опасных факторов x_i и их продолжительности z_i на организм человека, а также и средства защиты людей на лесных пожарах U_m (u_1 – костюм лесопожарный огнезащитный,...), предполагается разработка эксперт-

ной системы оценивания и создания базы знаний.

Реализация отдельных этапов экспертизы осуществляется следующими методами:

1. *Формирование группы специалистов – аналитиков.*

На группу специалистов-аналитиков возлагается решение всех последующих задач опроса и оценки. Большой объем и разнообразие этих задач потребовали включения в ее состав высококвалифицированных специалистов как в отдельных, так и в смежных видах оценок. В состав группы входят 3 человека.

2. *Отбор экспертов*

Объективность экспертной оценки, ее точность и надежность зависят от количественного и качественного состава группы экспертов. При ранжировании показателей конкретного вида оценки экспертами были специалисты, компетентные в данном виде оценки и достаточно эрудированные в смежных видах оценок. В группу экспертов были включены парашютно-пожарные, имеющие стаж работы на тушении лесных пожаров более 5 лет, инструкторы, летчики-наблюдатели, главные лесничие, лесники и работники наземной лесной охраны. Количество экспертов по каждой группе оценок составляло 12–15 человек.

3. *Проведение экспертного опроса*

Сбор информации осуществлялся с помощью анкет. По каждой группе факторных оценок составлялась анкета, которая включала в себя перечень показателей по видам оценок, приведенных выше.

В каждой анкете проставлялись объективные данные о самом эксперте (ф. и. о., место работы, занимаемая должность, образование, стаж работы, ученая степень).

За основу при формировании группового ответа экспертов принят метод Дельфи.

При условии реализации основных предпосылок метода был осуществлен ряд следующих процедур: проводилось три тура опроса; во время каждого опроса эксперты нумеровали показатели, включенные в анкету в порядке убывания степени их важности (информативности), т.е. приписывали ранги

каждому из показателей числа натурального ряда. Показателям, которые эксперты считали одинаково важными, проставлялись одинаковые ранги. Ответы по каждой анкете были обоснованы экспертами. После каждого тура опроса проводилась оценка согласованности мнений экспертов и определялись характеристики группового ответа. Все эксперты знакомились с результатами группового ответа и мотивировками мнений других участников экспертизы.

Экспертный опрос проводился при личном контакте исследователя с экспертом.

В табл. 3, 5 приведена часть заполненной анкеты по ранжированию показателей X_i . В эту же анкету были включены и показатели Z_i, Y_k, U_m по всем не приведенным здесь видам оценок.

В табл. 4 приведено ранжирование факторов, оказывающих влияние на скорость распространения горения при низовых лесных пожарах.

АНКЕТА

Ранжирование оценочных показателей

Тип пожара: _____

Эксперт (ф. и. о.) Иванов А.Б.

Место работы _____

Стаж работы _____

Должность _____

Образование _____

Подпись _____

Т а б л и ц а 3

Ранжирование опасных факторов пожара

	Наименование показателей	Ранг
1	Огонь, искра	1
2	Повышенная температура	1
3	Тепловое излучение	2
4	Угарный газ (оксид углерода)	1
5	Углекислый газ	4
6	Дым, сажа	3
7	Падение подгоревших и сухостойных деревьев	5
8	Шум	6

Т а б л и ц а 4

Ранжирование факторов, оказывающих влияние на скорость распространения горения при низовых лесных пожарах

№	Факторы	Уровень фактора	Название фактора	Размерность	Ранг
1	2	3	4	5	6
1	Ф1	> 5	Ветер фронтальный, скорость на высоте 2 м	м/с	2
2	Ф1	3 ÷ 5	То же	м/с	3
3	Ф1	2 ÷ 3	« »	м/с	5
4	Ф1	1 ÷ 2	« »	м/с	7
5	Ф1	0 ÷ 1	« »	м/с	11
6	Ф2	> 3	Ветер фланговый, скорость на высоте 2 м	м/с	6
7	Ф2	0 ÷ 3	То же	м/с	14
8	Ф3	2 ÷ 5	Ветер тыловой, скорость на высоте 2 м	м/с	9
9	Ф4	> 40	Уклон	град	1
10	Ф4	25 ÷ 40	То же	град	4
11	Ф4	15 ÷ 25	« »	град	8
12	Ф4	0 ÷ 15	« »	град	12
13	Ф5	20 ÷ 35	Относительная влажность воздуха	%	10
14	Ф5	35 ÷ 40	То же	%	13
15	Ф5	> 40	« »	%	15

Ранжирование средств защиты людей на лесных пожарах

№	Наименование показателей	Ранг
1	Костюм лесного пожарного огнезащитный	1
2	Рукавицы (перчатки) огнезащитные	2
3	Обувь огнезащитная	2
4	Каска с экраном для защиты лица	4
5	Респиратор для защиты органов дыхания от вредных газов (дыма, угарного газа)	3
6	Средства защиты лица, глаз, органов дыхания от теплового излучения и угарного газа	3
7	Накидка лесопожарная	8
8	Укрытие лесопожарное	5
9	Сооружение защитно-спасательное	6
10	Полог лесопожарный для защиты снаряжения и имущества	7

Т а б л и ц а 6

Ранжирование показателей оценки факторов

№	Наименование показателей	Номера экспертов и присвоенный ранг													ΣR_j	R_j
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
1	Огонь, искра	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13	1
2	Повышенная температура	1	3	2	2	2	3	2	1	3	2	3	2	2	28	2
3	Тепловое излучение	2	6	5	4	4	3	4	3	5	3	4	4	5	52	5
4	Угарный газ (CO)	1	2	3	2	3	2	2	2	2	2	2	3	2	29	3
5	Углекислый газ (CO ₂)	4	7	7	6	7	5	5	5	6	5	6	5	4	72	7
6	Дым, сажа	3	4	4	3	3	2	3	2	4	2	3	3	3	39	4
7	Падение подгоревших и сухостойных деревьев	5	5	6	5	5	4	4	4	5	4	5	4	7	63	6
8	Шум	6	8	8	7	6	6	6	6	7	6	7	5	6	84	8

После каждого тура опроса информация из анкет сводилась в таблицы. В табл. 6 приведены результаты третьего тура опроса.

Информация взята из анкет экспертного опроса по 13 экспертам для оценки опасных факторов пожара и средств защиты людей на лесных пожарах.

4. Оценка согласованности мнений экспертов и получение характеристик группового ответа

Для установления степени согласованности мнений экспертов вычисляется коэффициент конкордации. Предварительно осуществляется процедура корректирования рангов. Показателям, имеющим одинаковые ранги, приписываются скорректированные ранги.

Корректируем ранги показателей табл. 6:

для первого эксперта

$$R_1 = R_2 = R_3 = \frac{1+2+3}{3} = 2,0,$$

для четвертого эксперта

$$R_2 = R_3 = \frac{2+3}{2} = 2,5 \text{ и т.д.}$$

Подобным образом скорректировали ранги для всех экспертов по средствам защиты людей на лесном пожаре.

Для нормальной ранжировки, полученной после корректирования рангов (табл. 6), сумма рангов показателей равна сумме чисел натурального ряда [8, 9]

$$\sum_{j=1}^M R_{jr} = \frac{1}{2}M(M+1) = 0,5 \times 8 \times 9 = 36, \quad (1)$$

где R_{jr} – ранг, присвоенный r экспертом j показателю оценки;

M – число показателей в оценке.

Сумма рангов по L экспертам для каждого показателя представляет числовой ряд

$$\sum_{r=1}^L R_{1r}, \sum_{r=1}^L R_{2r}, \dots, \sum_{r=1}^L R_{jr}, \dots, \sum_{r=1}^L R_{lr}, \quad (2)$$

13, 28, 29, 39, 52, 63, 72, 84,

среднее значение которого будет

$$a = 0,5L(M + 1) = 0,5 \times 13 \times 9 = 58,5. \quad (3)$$

Величина (невязка)

$$S(d^2) = \sum_{j=1}^i \left[\sum_{r=1}^L R_{jr} - 0,5L(M + 1) \right]^2 = (13 - 58,5)^2 + (28 - 58,5)^2 + (29 - 58,5)^2 + (39 - 58,5)^2 + (52 - 58,5)^2 + (63 - 58,5)^2 + (72 - 58,5)^2 + (84 - 58,5)^2 = 5129 \quad (4)$$

принимает максимальное значение, если все ранжировки совпадают, и будет равна:

$$S(d^2)_{max} = \frac{1}{12} L^2 (M^3 - M) = \frac{13^2 \cdot (8^3 - 8)}{12} = 7098. \quad (5)$$

Коэффициент конкордации определяется как отношение:

$$W = \frac{S(d^2)}{S(d^2)_{max}} = \frac{5129}{7098} = 0,72. \quad (6)$$

Поскольку ранжировки имеют скорректированные ранги, в формулу (6) вводится поправка

$$W = \frac{S(d^2)}{S(d^2)_{max} - L \sum_{r=1}^i T_r} = \frac{5129}{7098 - 13 \cdot 10,5} = 0,74, \quad (7)$$

где

$$T_r = \frac{1}{12} \left[\sum_{v=1}^d (t_v^3 - t_v) \right], \quad (8)$$

$$T_1 = \frac{3^3 - 3}{12} = 2 = T_{10},$$

$$T_2 = T_3 = 0,$$

$$T_4 = \frac{2^3 - 2}{12} = 0,5 = T_5 = T_6 = T_9 = T_{11} = T_{13},$$

$$T_7 = 2 \cdot \frac{2^3 - 2}{12} = 1 = T_8,$$

$$T_{12} = 3 \cdot \frac{2^3 - 2}{12} = 1,5,$$

где t_v – число повторений равных рангов в v группе у r -го эксперта;

D – число групп повторений у r -го эксперта.

Согласованность мнений экспертов выявляется нахождением значимости коэффициента конкордации с использованием F -критерия Фишера

$$F = \frac{1}{2} \ln \left[\frac{(L-1)W}{(1-W)} \right] = 0,5 \cdot \ln \left(\frac{12 \cdot 0,7}{0,3} \right) \approx 1,65. \quad (9)$$

Величина F , рассчитанная по формуле (9), сравнивается с критическим значением данного критерия, которое берется из табли-

цы распределения Фишера при уровне значимости $\alpha = 0,1$ и числе степеней свободы f_1 и f_2

$$f_1 = M - 1 - \left[\frac{2}{L} \right] = 7, f_2 = (L - 1)f_1 = 12 \cdot 7 = 84. \quad (10)$$

В случае, если $F < F_{кр}(\alpha, f_1, f_2)$, мнения экспертов для уровня значимости α считаются согласованными (с доверительной вероятностью 0,9).

5. Алгоритм обработки результатов решения Для оценки согласованности мнений экспертов по данной методике проверки проведем расчет промежуточных характеристик по формулам (1–8) по следующей схеме:

Шаг 1. $\sum_{r=1}^{13} R_{jr} \rightarrow d_j = \sum_{r=1}^{13} R_{jr} - a \rightarrow d_j^2$ – по формуле (1) для $j = \overline{1,8}$.

Шаг 2. $\frac{1}{8} (\sum_{r=1}^{13} R_{1r} + \dots + \sum_{r=1}^{13} R_{8r})$ – среднее значение ряда (2).

Шаг 3. Вычисление α по формуле (3).

Шаг 4. Расчет суммы квадратов отклонений от среднего по формуле (4).

Шаг 5. Определение поправок на связанные ранги по формуле (8).

Шаг 6. Нахождение коэффициента конкордации по формуле (7).

Шаг 7. Расчетное значение F -критерия по формуле (9).

Шаг 8. Расчет числа степеней свободы f_1, f_2 по формуле (10).

Шаг 9. Нахождение табличного значения критерия Фишера из стандартной таблицы при $\alpha = 0,1, f_1, f_2$.

Шаг 10. Сравнение расчетного и табличного (критического) значения F -критерия.

Шаг 11. Вывод о согласованности (несогласованности) мнений экспертов при критерии уровня α .

Окончательное ранжирование показателей производим по характеристикам группового ответа, которыми для каждого показателя являются суммы рангов по всем экспертам (табл. 6).

Наивысший (первый) ранг приписывается фактору «огонь, искра», получившему наименьшую сумму рангов. Соответственно сум-

мам рангов распределяются номера рангов (иерархических уровней) других показателей.

Для принятия решений по выбору показателей построим ряд предпочтительности (рис. 2).

Для определения комплексного показателя по данному виду оценки (для соответствующего типа лесных пожаров) оставляем четыре показателя, имеющие наивысший групповой ранг. Построение комплексного показателя системной оценки произведем на следующем этапе исследований с использованием факторного анализа и метода главных компонент.

Аналогичным образом отбирались показатели и по другим видам оценок, например, экспертиза по средствам защиты

лесных пожарных. Получены следующие ранговые оценки: наивысший ранг – «костюм лесного пожарного огнезащитный», – u_1 . Далее, в порядке изменения значимости: u_2 – «рукавицы (перчатки) огнезащитные», u_3 – «обувь огнезащитная», u_4 – «каска с экраном для защиты лица», u_5 – «респиратор для защиты органов дыхания от вредных газов».

В заключение следует отметить, что изложенный метод может быть использован при априорном выборе входных действующих факторов моделей, которые будут применяться при решении ряда других задач обеспечения безопасности и жизнедеятельности людей, работающих на тушении лесных пожаров.

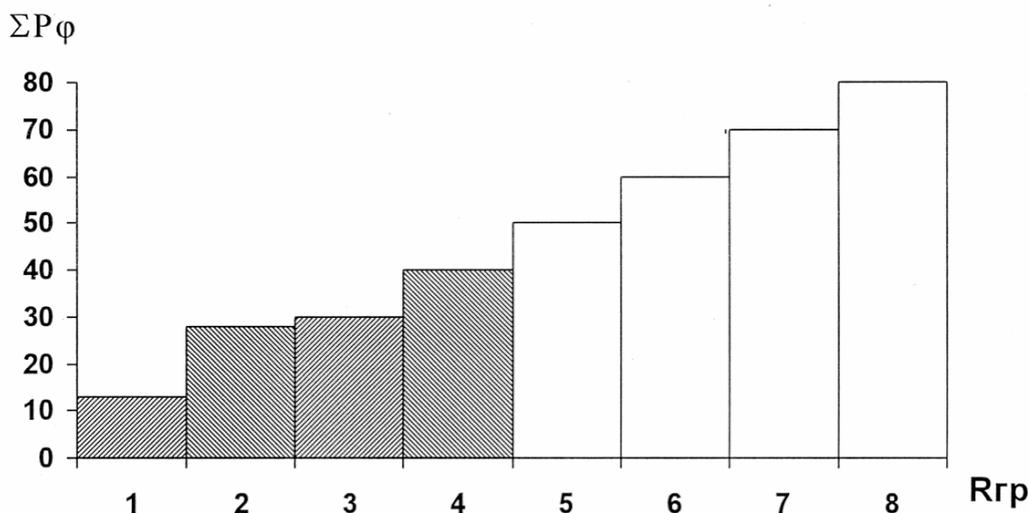


Рис. 2. Ряд предпочтительности факторов опасности лесного пожара

Список литературы

1. Отчет о НИР «Разработать требования к средствам защиты людей и перечень средств для охраны труда, обеспечения безопасности и жизнедеятельности людей, работающих на тушении лесных пожаров» / Рук. темы – Ю. Т. Цай. – Красноярск, 2003.
2. Телшын Г.П. Лесные пожары, их предупреждение и тушение в Хабаровском крае. – Хабаровск, 1998. – 93 с.
3. Телшын Г.П. Рекомендации по борьбе с крупными лесными пожарами на Дальнем Востоке. – Хабаровск, 1997. – 48 с.
4. Конев Э.В. Основы горения растительных материалов. – Новосибирск: Наука СО, 1977. – С. 17.
5. Главацкий Г.Д., Цай Ю.Т., Липина Л.А. Охрана труда и безопасность лесных пожарных. – Красноярск: КГУ, 2001. – 158 с.
6. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности ГОСТ 12.1.007-76 – М.: Гос. комитет СССР по стандартам, 1984. – 5 с.
7. Гигиенические критерии оценки и классификации условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса. – М.: Апрохим, 2000. – 162 с.
8. Манасян С.К. Теория и технология системного моделирования сложных объектов // Новые информационные технологии. – Тбилиси, 1990.
9. Бешелев С.Д., Гуревич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. – М.: Статистика, 1984.

ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ В НАСАЖДЕНИЯХ С ЛЕСНЫМИ КУЛЬТУРАМИ ЕЛИ ПОД ПОЛОГОМ

В.М. СИДОРЕНКОВ, *асп. ВНИИЛМа*

В лесном фонде России накоплены значительные площади мягколиственных насаждений с лесными культурами под пологом. По породному составу основное количество лесных культур под пологом представлено елью обыкновенной (206,4 тыс. га), сосной (166 тыс. га), дубом (25,7 тыс. га). Значительная часть культур ели под пологом (88,4%) сосредоточена в Центральной России на территориях Смоленской (53 тыс. га), Калужской (28,2 тыс. га), Костромской (28,2 тыс. га) и Ярославской (27 тыс. га) областей.

Отнесение лесных культур под пологом по учету лесного фонда в большинстве случаев к погибшим или утратившим ценность не способствует решению проблемы, а лишь отдалает необходимость первоочередного ухода, тем самым снижая перспективность их использования для формирования хозяйственно-ценных насаждений. Проведенные нами исследования на 31 постоянной пробной площади в зоне хвойно-широколиственных лесов в коренных группах типов леса ельники сложные показали, что под пологом средневозрастных березовых и осиновых древостоев преобладают относительно неблагоприятные для лесных культур условия произрастания. По анализу обработки данных текущего прироста по высоте и диаметру ствола ели, проведенного по 68 моделям, выявлено, что уже с 10-летнего возраста происходит заметная дифференциация роста ели в зависимости от фитоценологических условий. Дальнейшее произрастание ели в неблагоприятных условиях освещенности приводит к увеличению потерь в приросте по высоте и диаметру ствола, достигающих в возрасте 30–35 лет 70–80 % от ве-

личины прироста в благоприятных условиях произрастания. Ухудшение условий произрастания оказывает также непосредственное влияние на формирование корневой системы ели. Показатель корненасыщенности почвы корнями ели в неблагоприятных условиях произрастания на 58–87 % меньше по сравнению с благоприятными.

Основным способом освобождения лесных культур от полога средневозрастных и приспевающих мягколиственных насаждений является проведение рубки переформирования различной интенсивности, зависящей от количества жизнеспособных деревьев ели, степени их угнетения, сомкнутости верхнего полога. Исследования показали, что при достаточном количестве жизнеспособных деревьев ели лучшие условия для ее роста создаются проведением рубки переформирования высокой интенсивностью (более 50 %) по запасу. При низкой категории жизнеспособности предпочтительно проведение двух-трех приемных рубок переформирования слабой или средней интенсивности по запасу в первые приемы рубки. При незначительном количестве жизнеспособных деревьев ели и неравномерном их размещении общую интенсивность рубки переформирования можно снизить до 20–30 % за счет предпочтительной вырубki деревьев мягколиственных пород в местах сосредоточения ели. Лучшие результаты были получены при проведении рубки переформирования в мягколиственных насаждениях по среднепасечным технологиям на базе бензиномоторных пил и трелевочных тракторов с трелевкой хлыстов за вершину.

ВЫРАЩИВАНИЕ В СЕРГИЕВО–ПОСАДСКОМ ОПЫТНОМ ЛЕСХОЗЕ ЦЕЛЕВЫХ НАСАЖДЕНИЙ ЕЛИ ИЗ ПОДРОСТА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПИЛОВОЧНИКА И БАЛАНСОВ

В.А. СЕЛИВАНОВ, *гл. лесничий Сергиево-Посадского опытного лесхоза ФГУ ВНИИЛМа*

Сергиево-Посадский опытный лесхоз ФГУ ВНИИЛМ обладает значительными ресурсами естественного возобновления хвойных пород, в том числе ели [4], которые можно использовать для восстановления этих хозяйственно-ценных пород на вырубках, не прибегая к довольно затратному созданию лесных культур. В целом по лесхозу подрост ели имеется на 41 % площади спелых и перестойных насаждений, доля удовлетворительного возобновления составляет 23 %. Наиболее обеспечены подростом ели насаждения в типах леса ельниках сложных широколиственных и черничниках, то есть наиболее производительных типах елового экологического ряда. Таким образом, имеются благоприятные условия для эффективного использования естественного возобновительного потенциала лесов лесхоза в целях выполнения поставленных Концепцией развития лесного хозяйства Российской Федерации на период 2003–2010 гг. задач по повышению качества и продуктивности лесного фонда, а вместе с тем и по повышению его доходности. Эффективным способом использования естественного возобновления ели на вырубках является формирование из него насаждений целевого ресурсного назначения для получения пиловочника или балансов.

С середины 60-х гг. лесхоз проводит постепенные и сплошные рубки с сохранением подроста ели. Это обеспечивает сохранение предварительного возобновления, стимулирование последующего с конечным результатом на выращивание насаждений ресурсного назначения. Лесхозом проведена серия лесоводственных уходов за молодняками на участках с сохраненным подростом, изучены ход роста и структура формирующихся под влиянием рубок ухода насаждений. Результаты проведенного комплекса

работ нами обобщены и частично приводятся в данной статье.

Как показали исследования на опытных участках лесхоза, режим рубок ухода за подростом ели в насаждениях из подроста ели и возобновления лиственных пород зависит от их пространственной структуры: размещения подроста и лиственных пород по площади, строения насаждения по вертикали.

При сплошных рубках с сохранением подроста ели сохраненный подрост чаще всего имеет групповую структуру из-за неравномерной сомкнутости материнского древостоя и расчленения куртин подроста на группы при проведении лесосечных работ.

Исследования показали, что на участках, включаемых в целевое выращивание, количество равномерно размещенного по площади подроста должно быть не менее 2,0–2,5 тыс. шт./га. При групповом размещении расстояние между группами подроста не должно превышать 3,0 м при выращивании на балансы, 4,0 м – на пиловочник. В этом случае за первую половину периода выращивания сформируется сомкнутый еловый полог, а за оставшийся период до главной рубки будет сформирована целевая часть древостоя.

На вырубках подрост редко занимает всю площадь. На них могут быть участки с малым количеством подроста или он может совсем отсутствовать. В этом случае в таких местах на вырубках для более полного использования площади проводят посадку саженцев ели под меч-лопату без обработки почвы с размещением их группами или равномерно.

С использованием результатов исследований хода роста сохраненного на вырубках подроста ели, проведенного лабораторией лесоводства ВНИИЛМ, и возобновивше-

гося молодняка лиственных пород на вырубках Сергиево-Посадского лесхоза и других лесхозов зоны хвойно-широколиственных лесов [1, 2, 3], а также результатов проведенных лесхозом осветлений и прочисток на вырубках с сохраненным подростом ели нами разработаны нормативы режима рубок ухода за подростом: срок начала проведения рубок ухода, период их повторяемости, интенсивность и способы изреживания при выращивании целевых насаждений до момента смыкания елового полога. Основным критерием определения режима осветлений и прочисток принята высота сохраненного при главной рубке подростка ели.

Осветления и прочистки обеспечивают смыкание подростка и исключают угрозу затенения его лиственными породами на последующих этапах роста молодняка.

После завершения рубок ухода первого этапа выращивания (осветлений и прочисток), заканчивающегося полным смыканием елового полога, достижением высоты древостоя ели 7–10 м, устранением угрозы затенения древостоя ели лиственными породами, прореживаниями и проходными рубками формируют целевую часть древостоя.

Возможен вариант естественного формирования древостоя без активного воздействия на него рубками ухода. Он применим при отсутствии сбыта мелкой древесины и недостатке средств на проведение рубок ухода. В этом случае к возрасту главной рубки будет сформирован древостой с минимальным количеством целевой древесины.

При активном варианте выращивания, то есть при проведении полного цикла (программы) прореживаний и проходных рубок и других мероприятий (внесение удобрений) возможно более раннее техническое созревание (техническая спелость) древостоя или, при том же периоде выращивания, накопление большего количества технически спелой древесины.

Могут применяться также промежуточные варианты формирования целевой части древостоя, когда проводится сокращенный цикл (программа) рубок ухода. Ре-

зультат выращивания древостоя, соответственно, промежуточный – между минимальным и максимальным вариантами по накоплению технически спелой древесины.

Для того чтобы хозяйство могло выбрать оптимальный для своих условий вариант выращивания, всем вариантам выращивания целевых древостоев дана экономическая оценка.

Для ориентирования в выборе варианта формирования структуры древостоя нами разработан активный вариант с полным циклом рубок ухода. За основу взят древостой с параметрами таксационных показателей, соответствующими принятому нормативу – разработанной нами модели хода роста целевой части древостоя.

В соответствии с разработанным нами режимом рубок ухода на втором этапе выращивания проектируется проводить три прореживания с интервалом в 10 лет. Полнота древостоя поддерживается на уровне 0,8 и только в период интенсивного роста (30 лет) – 0,7.

Режим прореживания одинаков для всех целевых древостоев (на пиловочник и на балансы). При выращивании на балансы после прореживаний намечена одна проходная рубка в 50 лет слабой интенсивности. Древостой за последующие 10 лет, к возрасту главной рубки (60 лет), накопит нормативный запас стволовой древесины.

При выращивании на пиловочник после серии прореживаний намечены две проходные рубки с интервалом 20 лет. При первой проходной рубке полнота древостоя снижается до 0,7, чтобы дать возможность интенсивно расти деревьям по диаметру ствола. При второй проходной рубке полнота снижается до 0,8, чтобы в древостое к возрасту главной рубки (80 лет) был накоплен нормативный запас стволовой древесины при интенсивном росте деревьев по диаметру ствола.

Прореживания и проходные рубки проводят по низовому методу: выбирают самые тонкие, не входящие в целевую часть древостоя деревья, и ослабленные, сильно поврежденные деревья из целевой части.

За все приемы рубок ухода второго этапа выращивания будет заготовлено древесины дополнительно к выращенному целевому запасу при 25 % выращивании на балансы, 35 % – на пиловочник. Заготавливаемая древесина, в основном, мелкая, из подчиненной части древостоя, поэтому хозяйству при организации целевого выращивания целесообразно решить вопрос переработки и сбыта этой древесины.

Список литературы

1. Рыбальченко Н.Г. Формирование хвойных молодых на площадях, пройденных постепенными рубками // Повышение комплексной продуктивности лесов: Сб. науч. тр. ВНИИЛМ. – М., 1987. – С. 72–82.
2. Рыбальченко Н.Г. Лесоводственная оценка молодых, формирующихся на пройденных постепенными рубками площадях // Совершенствование способов рубок и лесовосстановительных мероприятий: Сб. науч. тр. ВНИИЛМ. – М., 1988. – С. 101–110.
3. Рыбальченко Н.Г., Селиванов В.А. Выращивание высокопродуктивных целевых насаждений ели из сохраненного на вырубках подроста в Сергиево-Посадском ОЛХ // Научно-исследовательские работы на базе Сергиево-Посадского опытного лесхоза: Сб. науч. тр. ВНИИЛМ. – Пушкино, 1999. – С. 93–101.
4. Селиванов В.А. Естественное возобновление древесных пород в лесах Сергиево-Посадского опытного лесхоза и его лесоводственное значение // Научно-исследовательские работы на базе Сергиево-Посадского опытного лесхоза: Сб. науч. тр. ВНИИЛМ. – Пушкино, 1999. – С. 88–93.

ПОВЫШЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ ИСКУССТВЕННЫХ ЛЕСОВ ЮЖНОГО УРАЛА

Р.Г. СИТДИКОВ, доц. БГАУ, канд. с.-х. наук

В Республике Бурятия насчитывается 650 тыс. гектаров искусственных лесов, что составляет более 10 % лесопокрытой площади республики. Часть этих лесов представлена несомкнувшимися лесными культурами последних 7 лет. На большей части сомкнувшихся культур проведены рубки промежуточного пользования. На незначительной площади в культурах старшего возраста проведены и проводятся рубки главного пользования. Лесные культуры в прошлом столетии в основном создавались без учета экологического и генетического потенциала лесов. Лишь только в последние два десятилетия появились лесосеменные плантации и участки, которые позволяют учитывать наследственные свойства лесных семян. Использование же обезличенных семян в ряде случаев приводит к снижению продуктивности искусственных лесов.

За последние 10 лет приведены в соответствие объемы работ по лесовосстановлению. Лесные культуры создаются ежегодно на площади около 10,0 тыс. га. На такой же площади проводится разработка лесосек с

сохранением подроста и самосева ценных видов древесных растений и содействие естественному возобновлению. Такое оптимальное соотношение сохранится и до 2010 года. Серьезной остается проблема финансирования комплекса лесокультурных работ. В 2003 году они были профинансированы на 50 %, поэтому не проводился ряд технологических операций по выращиванию искусственного леса.

Для восстановления функциональных качеств лесных территорий в 2004–2006 гг. следует привести их в соответствие требованиям и провести намеченные мероприятия во всех аттестованных лесосеменных объектах каждого лесхоза, а также подготовить к аттестации семенные объекты, созданные в последние годы. В 2007–2010 гг. предстоит создать лесосеменные участки и плантации для полного обеспечения потребности каждого лесхоза в семенах с известными наследственными свойствами, с внедрением достижений генетики и селекции в лесном семеноводстве.

Сохранение экологического и генетического потенциала будущих искусственных

лесов должно строго регламентироваться при выращивании посадочного материала в лесных питомниках. Паспортные данные семян следует строго учитывать как в книге лесного питомника, так и в паспорте питомника, а также в посевном отделении, первой, второй и третьей школ питомника. Вторая и третья школы в 2004–2010 гг. должны занять должное место в питомниках, где в последние годы в результате уменьшения объемов посадок леса часть площади не используется или находится под паром. Крупномерный посадочный материал найдет применение при создании культурных аграрных ландшафтов.

Изучение 100-летнего опыта лесовыращивания на Южном Урале позволяет констатировать его высокую лесоводственную эффективность в различных экологических условиях региона, где смена их наблюдается как в широтном, так и меридиональном направлениях, а в горной части – с изменением высоты местности.

С учетом такого разнообразия экологических условий нами проведено лесокультурное районирование. На территории республики Башкортостан на почвенно-типологической основе выделены 7 лесокультурных районов (ЛКР). Выявлены наиболее продуктивные и устойчивые к условиям лесокультурных районов культуры основных лесобразующих древесных пород, наиболее удачные технологические схемы созданных культур при лесовосстановлении и лесоразведении.

Культуры сосны создаются во всех ЛКР на различных типах почв, и при соблюдении агротехники выращивания формируются высокопродуктивные насаждения: к 60 годам запас составляет 500 м³/га. Для улучшения роста культур и продления срока посадки необходимо увеличить производство посадочного материала с закрытой корневой системой в Дюртюлинском лесхозе.

Лесные культуры ели вначале растут медленно и развиваются по II классу бонитета, затем, с 25–30 лет, их рост убыстряется, развитие идет по I классу бонитета, и к 75 годам они накапливают до 600 м³/га каче-

ственной стволовой древесины. При посадке саженцами с закрытой корневой системой ель имеет лучшие показатели роста.

Лесные культуры лиственницы имеют широкую перспективу во всех лесокультурных районах и технической спелости достигают в 35 лет, к 40 годам они набирают 350 м³/га ценной древесины. Благодаря быстрому росту лиственницы за 3–4 года выходят из-под влияния сорной растительности. Для обеспечения потребности производства в семенах необходимо закладывать лесосеменные участки и плантации. Применение линейных рубок ухода в смешанных культурах лиственницы позволяет повысить ее продуктивность и получить в возрасте 25–30 лет до 100–150 м³ с 1 га дополнительной ценной древесины. При создании смешанных культур наряду с древесными породами следует вводить для лесной фауны плодово-ягодные кустарники.

Выращивание лесных культур кедра должно быть направлено на создание орехово-промысловых хозяйств, что одновременно обеспечит потребности лесного хозяйства в семенах. Создавать следует редкие культуры рядами и биогруппами в площадки. Для усиления роста и плодоношения следует провести обрезку нижней 1/3 части кроны кедра (рис. 2).

Для повышения устойчивости культур хвойных от поедания лосями следует повысить первоначальную густоту до 10 тыс. шт./га. Для предотвращения распространения корневой губки следует создавать культуры смешанные с лиственными породами по кулисной схеме смешения (6–7 рядов хвойных и 3–4 ряда березы) или чистые широкополосные с оставлением полос шириной 10–15 м с естественным возобновлением из лиственных пород.

Учитывая успешность культур дуба в ряде лесхозов, следует внедрить в производство Иглинскую технологию, заключающуюся в создании предварительных культур в дубовых и липовых насаждениях. Почву готовят бульдозерными площадками и посев производится по способу «густых культур местами». В ранее созданных культурах дуба для улучшения роста и защиты от под-

мерзания необходимо ввести сосну по опыту Белебеевского лесхоза.

Липа в культурах используется как подгонная порода. В зонах пасек следует создавать ее плантационные культуры по садовому типу при размещении 6х6 или 8х8 м с индивидуальным уходом. Удобрения вносятся в порядке подкормки. В междурядьях культур можно высаживать плодовые кустарники и получать дополнительную продукцию. Чистые культуры обычной густоты должны создаваться с целью замены порослевых насаждений на семенные.

Лесные культуры, созданные в порядке реконструкции малоценных молодняков и уплотнения низкополнотных насаждений, повышают продуктивность и улучшают состав будущих лесов, о чем свидетельствует выход в первый ярус созданных нами 25-летних культур сосны в малоценных молодняках низкоствольного хозяйства дуба (рис. 1) и 15-летних культур сосны под пологом усыхающих насаждений дуба.

Достаточно высокую продуктивность и устойчивость к лесорастительным условиям на оврагах, балках и крутосклонных землях имеют культуры лиственницы; в полесных защитных лесных полосах – тополь, листвен-

ница и береза; а в засушливом Зауралье – сосна и береза. Защитные полосы из вяза мелколистного находятся здесь на пределе своего существования и требуют реконструкции.

В зонах техногенного загрязнения культуры сосны и ели развиваются с отклонениями, потери качества культур составляют до 25 %. Несмотря на это, искусственные леса в зеленых зонах городов выполняют важные функции по оздоровлению окружающей среды.

Исследования количественного и качественного изменений в культурах сосны под влиянием рубок ухода позволили выявить перспективные в селекционном отношении формы. Ими являются деревья с продольно-бороздчатым строением коры и широкой кроной. При отборе деревьев в рубку следует назначать экземпляры с чешуйчатой корой и узкой кроной. При этом интенсивность изреживания в молодняках можно повысить до 20–30 % с оставлением на корню 4,5–4,8 тыс. шт., при прореживании – до 20–25 % с оставлением на корню 2,1–2,3 тыс. шт. и при проходных рубках до 20–30 % с оставлением на корню 1,0–1,2 тыс. шт. деревьев на 1 гектаре.

При полноте древостоя 0,6 самосев сосны в культурах появляется в достаточном количестве: до 14 тыс. шт./га.



Рис. 1. Лесные культуры сосны сибирской в Калмакуловском лесничестве



а



б

Рис. 2. Реконструкции малоценного молодняка коридорным способом: а) общий вид; б) 34-летние культуры сосны в I ярусе

Подрост сохраняется на опушках и в прилегающих низкополнотных насаждениях. Проводя минерализацию почв, а при необходимости и огораживание мест прогона скота, можно обеспечить естественное возобновление хвойных. Обеспечению непрерывного лесопользования способствует перевод лесных культур в разновозрастные.

Для этого рекомендуем замену 3–5 рядов чистых культур старших возрастов новыми смешанными культурами.

При выращивании лесных культур на вырубках и реконструкции малоценных насаждений необходимо постепенно переходить на частично-сплошную обработку почвы широкими полосами с предварительной

раскорчевкой пней, что позволит осуществить комплексную механизацию трудоемких процессов. При выращивании леса под пологом низкополнотных насаждений на почвах легкого механического состава посадку леса необходимо производить без предварительной обработки почвы.

Правильный подбор пород, внедрение новых технологий обработки почвы,

схем смешения, перевод культур в разновозрастные, систематическое удаление больных и поврежденных деревьев, проведение агротехнических и лесоводственных уходов позволят сохранить культуры и сформировать высокопродуктивные насаждения в регионе, что полностью согласуется с положениями Концепции развития лесного хозяйства Российской Федерации на 2003–2010 гг.

ОСОБЕННОСТИ ЛЕСОКУЛЬТУРНОГО ПРОИЗВОДСТВА В УСЛОВИЯХ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА

А.Р. РОДИН, *проф. каф. лесных культур МГУЛа, д-р с.-х. наук*

Лесные культуры создают для последующих поколений, а поэтому лесовод должен не только учитывать современное состояние почвенно-климатических условий лесокультурной площади, но и предвидеть динамику изменений внешней среды, в которой будет расти лес. Последний является сложным природным и территориальным комплексом, систематически подвергающимся воздействию многообразных факторов, одним из которых является потепление климата.

По данным Всемирной метеорологической организации, с началом промышленной революции, то есть примерно с 1800 года, наблюдается устойчивый рост концентрации углекислого газа и средней температуры нижних слоев атмосферы в самых различных точках Земли. Особенно это проявилось в последние 50 лет в результате усиления антропогенного воздействия. Это привело к потеплению климата из-за так называемого парникового эффекта – свойства атмосферы пропускать солнечную радиацию, но задерживать земное излучение, способствуя аккумуляции тепла нашей планеты. Эксперты Международной группы по изменению климата утверждают, что даже если бы человечество смогло уже сейчас стабилизировать промышленные выбросы парникового газа (двуокись углерода, водяной пар, оксиды азота и серы, фенолы и др.) на уровне нынешнего дня, то температура все равно

повышалась бы на величину 0,2° за каждое десятилетие в течение XXI века [6].

Согласно прогнозу этой же группы экспертов, основанному на компьютерном моделировании изменений в атмосфере, связанных с аккумуляцией парниковых газов, глобальная средняя температура будет повышаться примерно на 0,25 °С за десятилетие [9]. Долговременные измерения показателей погоды подтверждают эти выводы [2]. Так, обработка архивных данных метеостанции МГУ имени М.В. Ломоносова с 1900 года по настоящее время показала, что среднегодовая температура воздуха повысилась на 2,2°.

Повышение температуры воздуха ведет за собой перемещение на север границ лесорастительных зон, а следовательно изменяются условия для произрастания лесной растительности и соответственно изменяется ареал древесных и кустарниковых пород.

По данным Семейского Ф.Н., Голубева А.В. [7], повышение температуры на 1°С соответствует перемещению границ лесорастительных зон на 150 км в северном направлении.

Произошедшее в 20 в. потепление климата, а главным образом в последние 50 лет, фактически привело к перемещению границ лесорастительных зон в северном направлении на 300–350 км, а к 2050 году оно составит не менее 450–500 км. Одно-

временно изменились условия произрастания лесной растительности. Это уже приводит к соответствующей реакции существующих насаждений. Например, по данным профессора Б.В. Гроздова [1], ареал ели европейской в 1938 г. проходил по линии, расположенной посередине между Подольском и Москвой, то есть на широте Подольска и Серпухова. К настоящему времени условия для ареала произрастания ели сместились на 330 км к северу. В результате этого еловые насаждения, растущие ниже указанной линии, имеют неблагоприятные условия для их произрастания и не в полной степени соответствуют биологии ели европейской. Это, по нашему мнению, и привело к массовому появлению в еловых древостоях очагов короеда-типографа, который продолжает свирепствовать в Московской и других, смежных с ней областях.

Изменение климата влияет на смену древесных пород, усыхание лесов и на другие неблагоприятные явления в лесу. Исследования М.В. Никонова [4] показали, что одной из причин смены пород и изменения природных ландшафтов в Новгородской области является изменение климата.

Приведенные материалы говорят о необходимости внесения корректив в лесокультурное производство: лесосеменное районирование, агротехнику выращивания посадочного материала, лесных культур и лесомелиоративных насаждений. Семенной и посадочный материал для создания искусственных насаждений следует использовать из более южных районов, где до недавнего времени условия роста лесных растений были аналогичны образовавшимся в результате потепления климата.

При создании лесных культур следует использовать древесные породы, имеющие увеличенную фотосинтезирующую поверхность, высокую степень депонирования углекислого газа. Они должны соответствовать измененным климатическим условиям. Такие насаждения более активно поглощают углекислый газ и в определенной степени нейтрализуют парниковый эффект. По данным Ю.В. Новикова [5], гектар соснового леса поглоща-

ет в 20-летнем возрасте 9 т углекислого газа, а в 60-летнем – 13 т. Наиболее производительные в этом отношении средневозрастные леса. Эффективность поглощения углекислого газа лесом зависит от его породного состава. Если способность поглощать углекислый газ гектаром елового насаждения принять за 100 %, то способность лиственного леса оценивается в 120 %, соснового – в 160 %, липового – в 250 %, дубового – в 450 %. В.П. Тарасенко и В.К. Тепляков [8] утверждают, что при накоплении в процессе фотосинтеза одной тонны древесной массы лесными насаждениями используется 1,5–1,8 т углекислого газа и выделяется 1,1–1,3 т кислорода.

Таким образом, при создании лесных культур необходимо выращивать высокопродуктивные насаждения, обеспечивающие высокую степень депонирования углекислого газа. Биология культивируемых лесных растений должна полностью соответствовать условиям среды, образовавшимся в результате потепления климата.

Список литературы

1. Гроздов Б.В. Дендрология. М.– Л.: Гослесбумиздат, 1952 – 435 с.
2. Кокорин А.О. Влияние изменения климата на экосистемы. – М.: Русский университет, 2001 – 184 с.
3. Научно прикладной справочник по климату Москвы. – Н.: НГУ, 2002 – 160 с.
4. Никонов М.В. Природно-антропогенные нарушения и восстановительный потенциал лесов Новгородской области // 10 лет на службе Новгородского леса. Великий Новгород: Кирилица, 2004. – 160 с.
5. Новиков Ю.В. Экология, окружающая среда и человек: Учебное пособие для ВУЗов, а также учащихся средних школ и колледжей – М.: ФАИР-ПРЕСС, 1999. – 320 с.
6. Страхов В.В., Писаренко А.И., Борисов В.А. Глобализация лесного хозяйства – М.: ВНИИЦ Лесресурс, 2001. – 400 с.
7. Семевский Ф.Н., Голубев А.В. Леса и потепление климата. // Экология, мониторинг и рациональное природопользование. М.: МГУЛ, 2002.– Вып. 318.– С 104–111.
8. Тарасенко В.П., Тепляков В.К. Русской лес в антропогене: очерки истории народов и леса Европейской России за 25...30 лет.– М.: Стагирит – М, 2003. – 400 с.
9. Houghton J.T., Jenkins G.J., Ephraums J.J. 1990. Policymakers summary – In. Climate Change, Ho IPCC scientific assessment. Cambridge, P 11–34.

СТРАТИФИКАЦИЯ ЛЕСОВ КЫРГЫЗСТАНА ПРИ СТАТИСТИЧЕСКОМ МЕТОДЕ ЛЕСОУСТРОЙСТВА

К.О. МАТРАИМОВ, *асп. каф. лесоустройства и охраны леса МГУЛа*

С целью обеспечения достоверности информации о фактическом состоянии лесных ресурсов и о происшедших за определенный период изменениях в их состоянии в инвентаризации леса применяются методы выборочной оценки в сочетании с методами статистического анализа. При статистическом методе большое значение придается типу выборки пробных площадей [2].

В основе выборочной оценки, применяемой в инвентаризации лесов Кыргызстана на уровне лесхоза, лежит выборка по стратам. **Стратификация** является процессом распределения насаждений на однородные категории или группы, находящиеся на территории данного лесхоза и называемые **стратами**.

Выборка по стратам как нельзя лучше учитывает варьирование насаждений. Она позволяет определить процент выборки в зависимости от коэффициента вариации.

Одной из целей стратификации является получение более точных результатов для различных страт. Еще одним преимуществом стратификации является достижение заданной точности и повышение эффективности лесоустройства за счет сокращения объема полевых работ, т. е. процент выборки прямо пропорционально количеству страт.

Стратификация является важным и эффективным инструментом сокращения затрат, связанных с проведением лесохозяйственной инвентаризации леса на уровне лесхоза

Метод стратификации

Для составления страт руководствовались нижеследующим принципом: *выде-*

лы, которые объединяются в страты, имеют близкие таксационные и лесоводственные характеристики и нуждаются в аналогичных лесохозяйственных мероприятиях.

При разработке руководств по проведению полевых лесоустроительных работ учитывались дальнейшие действия по стыковке полевых данных инвентаризации леса и оценке выделов, для чего определялись коды пробных площадей и выделов. Коды состоят из комбинаций соответствующих чисел (рис. 1), обозначающих нижеследующие критерии:

– стадия развития – 1-ая цифра в коде, и обозначающая различные степени развития древостоя, оцениваемая по доминирующему среднему диаметру насаждения (стадия развития определяется по 7 критериям);

– вид леса – 2-ая цифра в коде (оценивается по породному составу выдела, определяется по 5 критериям);

– сомкнутость крон – 3-ая цифра в коде, (отношение площади, перекрываемой проекцией крон к общей площади выдела и определяется по 3 критериям);

– доля грецкого ореха – 4-ая цифра в коде, обозначающая соотношение доли участия ореха грецкого в породном составе выдела (в еловых насаждениях доля ореха равна цифре «3», которая обозначает, что в породном составе доля ореха 0–20 %).

Критерии описания выдела позволяют иметь в общей сложности 189 типов выделов ($7 \times 3 \times 3 \times 3 = 189$). Само собой разумеется, что такое количество типов выделов нельзя рассматривать в качестве страт. Выделы, имеющие сопоставимые, измеримые лесорастительные условия, которые

предполагают предъявление к лесонасаждениям определенных требований планирования и ведения лесного хозяйства, должны быть объединены в страты, количество которых доводится до приемлемого операционного уровня, то есть количество страт для одного лесхоза должно быть примерно от 10 до 20.

В ходе анализа базы данных лесоустройства после окончания полевых работ проводились работы по составлению предварительных страт для определенного вида леса.

В результате было составлено 12 страт по хвойным лесам, 16 страт по орехоплодовым лесам и 21 страта по смешанным лесам (ореховые леса смешаны с хвойными лесами).

Цель составления предварительных страт – регулирование процента выборки пробных площадей, которые существенно влияют на уменьшение затрат лесоустройства.

Составленные страты служат основой при лесоустройстве других лесхозов. При этом с учетом характерных особенностей лесов этих лесхозов количество окончательно составленных страт может варьировать в ту или иную сторону.

Для достижения точности, когда ошибка $P < 10 \%$, количество пробных площадей на каждую страту должно быть минимум 20 [3]. Соответственно общее количество пробных площадей для одного лесхоза определяется по простой формуле:

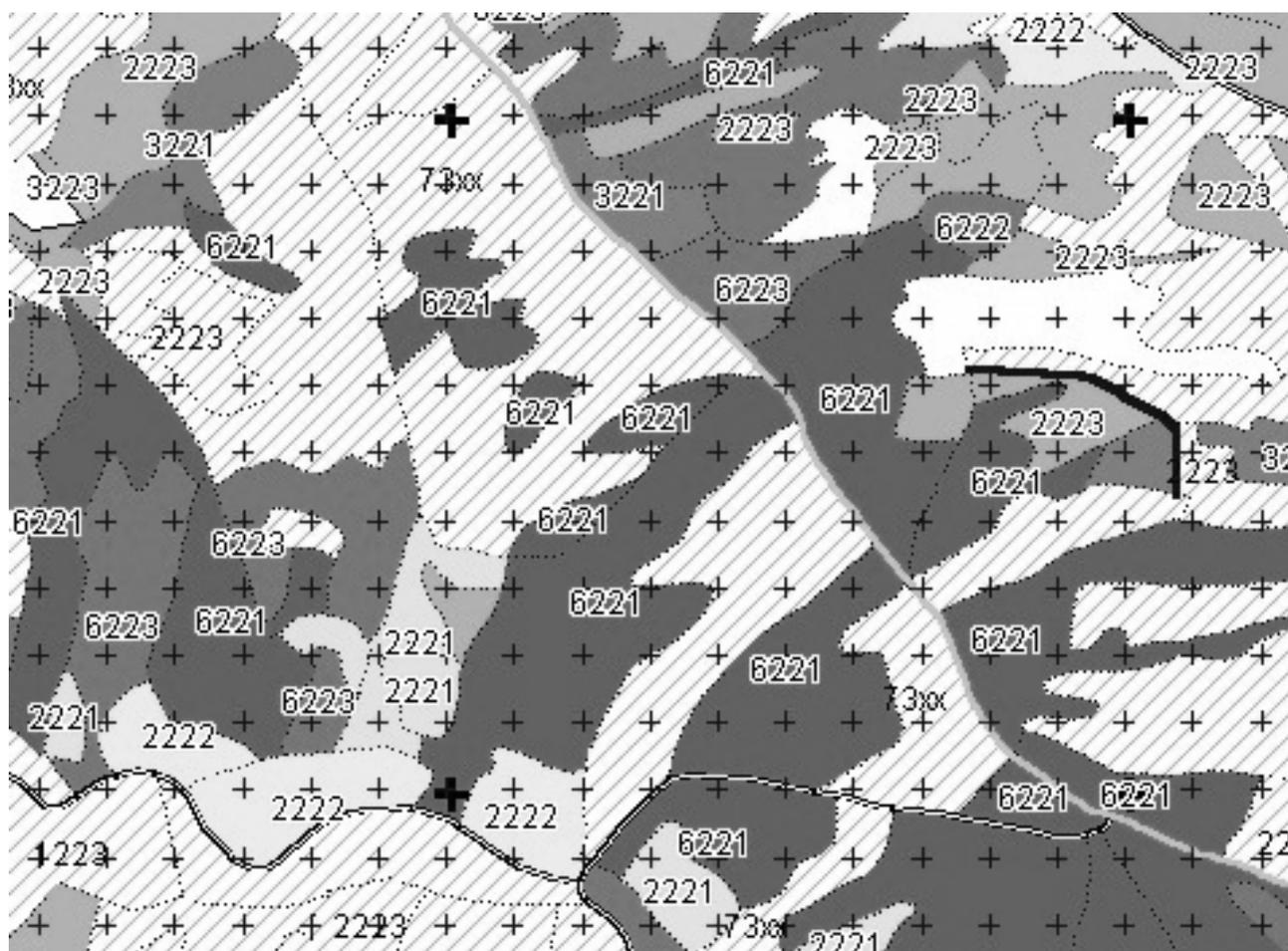


Рис. 1. Расположение пробных площадей на лесной карте

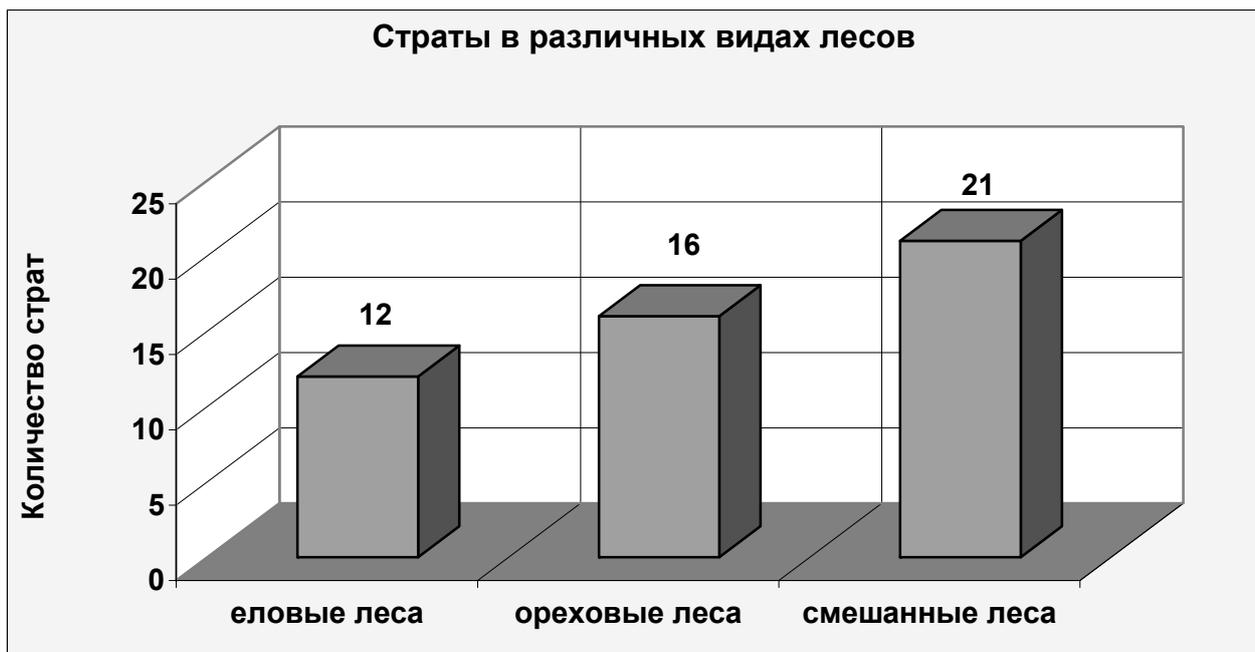


Рис. 2

$$Np = 20 * n_{st}, \quad (1)$$

где: Np – количество потребных пробных площадей;

n_{st} – количество предварительно составленных страт.

Из рис. 2 видно, что количество страт пропорционально степени разнообразия и разнородности (гетерогенность) соответствующих лесов, обнаруженных в процессе оценки выделов.

Погрешность (ошибка в расчетах) зависит от степени однородности, единообразия рассматриваемого леса и от количества пробных площадей выборочной оценки, то есть пробных площадей, на которых оценивается информация о данном лесе:

$$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

Чем более однородным, гомогенным является лес (низкая степень несоответствия, несходства, соответствующее среднее отклонение s) и чем больше производится выборочных оценок (n), тем ниже степень погрешности $s_{\bar{x}}$ рассчитанной оценки (на-

пример, средний объем древесины лесного выдела на гектар \bar{x}).

Для требуемой точности количество пробных площадей может быть уменьшено посредством достижения однородности внутри страт, что и является одной из целей стратификации.

Поскольку осуществление стратификации подчинено потребностям планирования, то в результате стратификации обычно появляются страты разных размеров. В том случае, если для размещения пробных площадей для проведения выборочной оценки в процессе инвентаризации используется точечная сетка с фиксированной шириной (например, 500 м × 500 м), небольшие по площади страты не могут получить достаточное количество пробных площадей выборочной оценки, в то время как большие по площади страты получают слишком большое число пробных площадей. Следствием этого является, с одной стороны, более низкая степень точности по сравнению с требуемой, а с другой стороны, более высокие затраты на осуществление запланированных работ по сравнению с необходимыми.

Критерии для стратификации	Данные последнего лесоустройства
1. Стадия развития	Средний диаметр лесного выдела
2. Вид леса	Породный состав лесного выдела
3. Сомкнутость крон	Полнота
не лес	с 0,0 до 0,2
3	с 0,3 до 0,5
2	с 0,6 до 0,7
1	с 0,8 до 1,0
4. Доля грецкого ореха	Породный состав лесного выдела

Выводы

Для решения проблемы предлагается применить нижеследующий подход при размещении в стратах пробных площадей выборочной оценки:

1. Первый набор пробных площадей размещается на основной точечной сетке национальной инвентаризации леса шириной 1 000 м × 1 000 м.

2. Второй набор пробных площадей размещается на точечной сетке шириной 100 м × 100 м с целью представления всех частей различных страт.

3. Остальные пробные площади размещаются на той же самой точечной сетке, 500 м × 500 м, таким образом, чтобы гарантировать: 1 – требуемое количество пробных площадей для достижения заданной точности оценки и 2 – пропорциональное единообразное распределение в различных частях страты.

Для осуществления этой процедуры необходима предварительная стратификация (пристратификация). Целью процесса при стратификации является определение границ и расположение страт, которые должны быть, по возможности, близки к окончательным вариантам страт и окончательно

могут быть определены лишь после того, как будут осуществлены работы, связанные с оценкой выделов и планированием непосредственно в ходе полевых лесоустроительных работ.

Процесс пристратификации требует наличия вспомогательной информации, на основе которой возможно осуществление этого процесса.

В табл. 1 представлен перевод существующей информации из данных последнего лесоустройства (таксационное описание), в информацию, необходимую для осуществления предварительной стратификации.

Список литературы

1. Анучин Н.П. Лесоустройство.– М.: Экология, 1991 г. – 51с.
2. Анучин Н.П. Лесная таксация.– М.: Лесная промышленность, 1982 г – 348 с.
3. Шойбер М. Новые методы инвентаризации леса и планирования на уровне лесхоза в Кыргызской республике.: Отчет миссии.– Бишкек, 2003 г.
4. Бернаскони А. Лесохозяйственное управление: Планирование и контроль. Временное руководство.– Бишкек, 2002 г.
5. Матраимов К.О., Филипп де Пурталес, Березовой А.В., Руководство по проведению оценки выделов и лесохозяйственному планированию. Бишкек, 2002 г.

ОСОБЕННОСТИ ВОДНОГО РЕЖИМА АССИМИЛЯЦИОННОГО АППАРАТА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

А.А. БОЙКО, *асп. лаборат. лесоведения института биологии Уфимского научн. центра РАН*,
Р.В. УРАЗГИЛЬДИН, *ученый секр. института биологии Уфимского научн. центра РАН*

Водный режим растения связан с физиологическими процессами в организме, и от него зависит соотношение процессов ассимиляции и диссимиляции. Поэтому водообеспеченность и особенности транспирации в условиях техногенного загрязнения являются важными показателями состояния и устойчивости растений.

Установлено, что под влиянием токсических газов вследствие снижения скорости водопоглощения корнями и нарушений в регуляции расхода воды листьями происходит нарушение водного баланса растений [1, 8, 9]. Атмосферное загрязнение способствует снижению водоудерживающей способности растений, снижению общего уровня воды в листьях, падению тургора листьев [4, 6].

Кислые газы (SO_2 , NO_x) способствуют разрушению покровных тканей листовой пластинки, что приводит к увеличению кутикулярной транспирации на фоне общего снижения транспирационных потерь воды и появлению глубокого водного дефицита [1, 4].

Н.В. Гетко [1] выявлена видоспецифическая реакция растений на воздействие неорганических токсикантов. Так, сразу после фумигации токсическим газом высокой концентрации одни виды резко усиливают транспирацию, другие, наоборот, резко ее ослабляют.

Цель данной работы – охарактеризовать особенности водного режима ассимиляционного аппарата березы повислой, лиственницы Сукачева и сосны обыкновенной в условиях смешанного, с преобладанием углеводородного, типа загрязнения атмосферы.

Объекты, район исследования и методика

Исследования проводились на территории Уфимского промышленного центра (УПЦ), характеризующегося высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха. На территории УПЦ расположено более 500 промышленных объектов. Ежегодные выбросы в атмосферу составляют 364 тыс. т, в том числе 194,4 тыс. т от стационарных источников загрязнения воздуха и 169,6 тыс. т – выбросы автотранспорта. Процент улова загрязняющих веществ от стационарных источников газоочистными установками составляет 27,3 % [3]. На территории района исследования было выделено три зоны с различной интенсивностью аэротехногенного загрязнения. I зона (сильное загрязнение) – территория, прилегающая к Уфимскому нефтеперерабатывающему комплексу; II зона (среднее загрязнение) – парковая зона, расположенная в селитебной зоне города; III зона (контроль) – относительно экологически чистые насаждения, расположенные в 40 км к юго-западу от УПЦ.

Для характеристики водного режима листьев древесных растений были выбраны три вида, широко представленные в лесонасаждениях УПЦ: береза повислая (*Betula pendula Roth.*), лиственница Сукачева (*Larix sukaczewii Dyl.*) и сосна обыкновенная (*Pinus silvestris L.*).

Сбор листьев осуществлялся из нижней части кроны с 4–5 деревьев на каждой пробной площади. Для анализа водного режима были определены показатели интенсивности транспирации и водного дефицита. Согласно методике, описанной Ю.С. Григорьевым [2], наблюдения проводились в яс-

ные дни с 8 до 12 ч. и с 14 до 17 ч. Интенсивность транспирации листьев определялась весовым методом, путем повторного взвешивания на торсионных весах (*Techniprot, Poland*) в двадцатикратной повторности (для березы повислой – отдельные листья, для сосны обыкновенной и лиственницы Сукачева – пучки хвои). Интервал между взвешиваниями составлял 3 мин., причем листья в этот период помещались в затененные условия. Определение водного дефицита проводилось по весу влаги, поглощенной из закрытого эксикатора за 3 часа в двадцатикратной повторности. Во время опыта эксикатор находился в тени под пологом насаждения.

Результаты и обсуждение

В ходе исследования было установлено, что в течение вегетационного периода водный дефицит листьев возрастает, а интенсивность транспирации снижается вне зависимости от уровня загрязнения.

Отмечено возрастание показателя дефицита водного насыщения листьев в зоне сильного и среднего атмосферного загрязнения (табл. 1).

Наибольшее увеличение показателя дефицита водного насыщения (среднего за вегетационный период) относительно контроля происходит у березы повислой в I (185,5 %) и во II зонах (131,9 %). Водный дефицит сосны обыкновенной и лиственницы Сукачева в условиях УПЦ характеризу-

ется более высокими величинами, но в то же время отличается стабильностью.

В течение вегетации минимум водного дефицита у исследуемых видов пришелся на июль, что связано с весьма высокой относительной влажностью воздуха этого периода в 2003 г.

Было установлено, что в условиях аэротехногенного загрязнения УПЦ у всех исследуемых видов происходит снижение интенсивности транспирации. Наибольшее снижение транспирации по сравнению с контролем обнаружено у лиственницы Сукачева (в I зоне на 43,3 %, во II зоне на 29,3 %) и березы повислой (в I зоне на 33,6 %, во II зоне на 12,0 %); менее заметно это явление у сосны обыкновенной (в I зоне на 18,9 %).

Известно, что интенсивность транспирации листьев имеет колебательный характер суточной динамики с максимумом в 12–14 ч., но в условиях атмосферного загрязнения определяется главным образом концентрацией загрязняющих веществ в атмосфере [1, 9]. Для древесных растений в ясные дни характерно полуденное снижение транспирации. При высоком показателе дефицита водного насыщения послеполуденный подъем транспирации может быть выражен значительно слабее [7]. У исследуемых видов, особенно у лиственницы Сукачева, в зоне сильного и среднего загрязнения показатель утренней транспирации (8–9 ч.) превышает дневной (13–14 ч.) (рис. 1).

Т а б л и ц а 1

Усредненные по вегетационному периоду показатели водного режима листьев древесных видов в условиях УПЦ

Зона загрязнения	Водный дефицит, %		Интенсивность транспирации, мг/г*час	
	среднее	%	среднее	%
1	2	3	4	5
Береза повислая				
I зона	5,12	185,5	192,24	66,4
II зона	3,64	131,9	254,66	88,0
Контроль	2,76	100,0	289,60	100,0
Лиственница Сукачева				
I зона	9,85	110,0	174,87	56,7
II зона	8,79	98,1	218,10	70,7
Контроль	8,95	100,0	308,44	100,0
Сосна обыкновенная				
I зона	7,15	124,3	128,40	81,1
II зона	6,74	117,1	159,67	100,8
Контроль	5,75	100,0	158,39	100,0

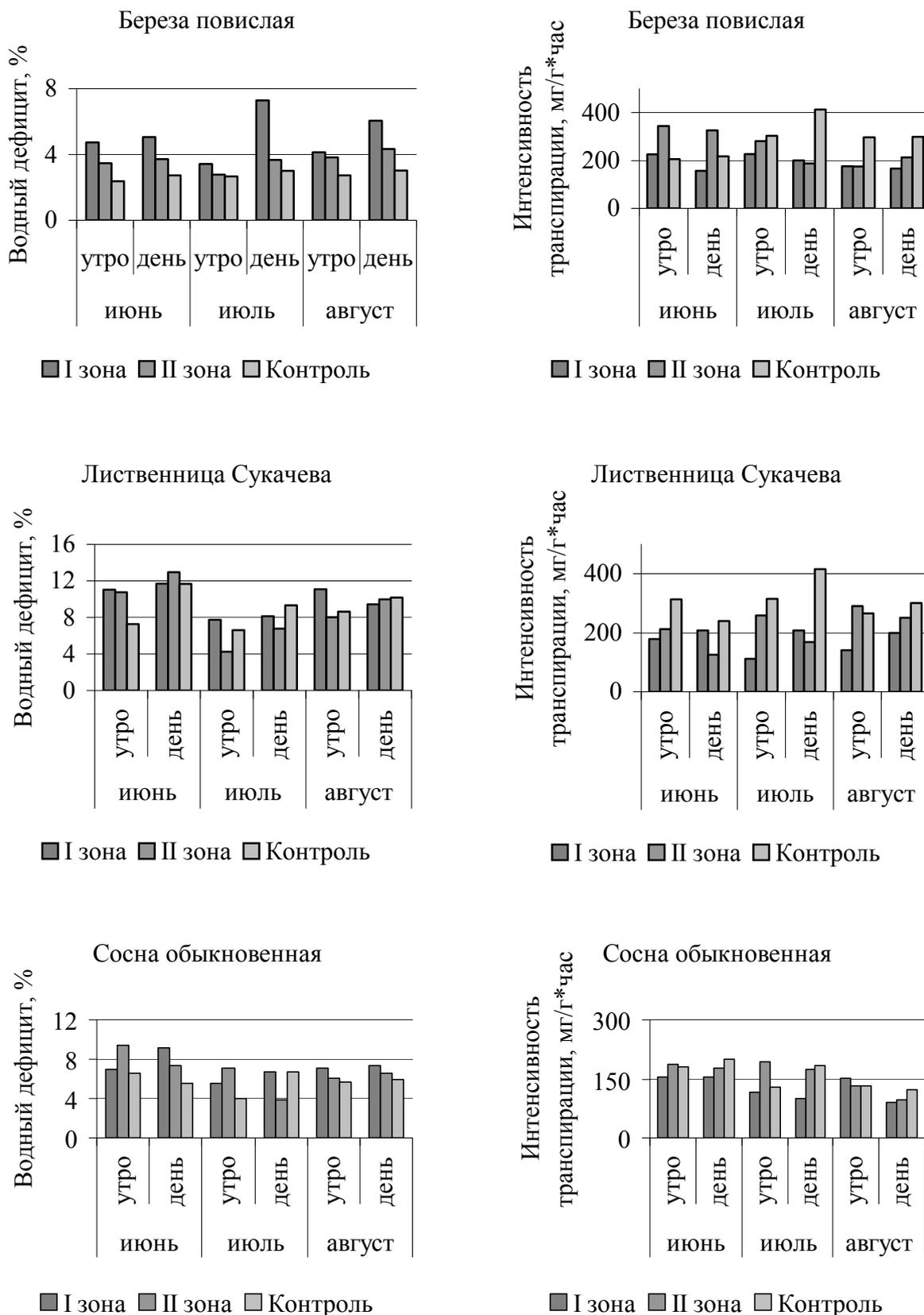


Рис. 1. Суточная динамика показателей водного режима листьев древесных растений в условиях УПЦ

Это, по-видимому, связано с низким показателем водного насыщения листьев в районах загрязнения атмосферы на фоне полуденного снижения транспирации. В контроле сохраняется естественная картина превышения дневной транспирации.

Таким образом, в условиях аэротехногенного загрязнения УПЦ происходит нарушение водного режима листьев древесных растений. Отмечено нарушение суточной динамики транспирации листьев древесных пород под воздействием загрязнения воздуха. Уровень водного дефицита возрастает, а интенсивность транспирационных потерь снижается с усилением уровня загрязнения воздуха, что, возможно, говорит о недостаточном потреблении воды корнями растений [1].

Техногенное загрязнение воздуха вызывает нарушения водного режима растений подобно засухе. В связи с этим некоторые авторы предполагают, что более засухоустойчивые виды обладают большей газоустойчивостью [5, 8]. Лиственница Сукачева и сосна обыкновенная известны как более засухоустойчивые виды по сравнению с березой повислой. В условиях УПЦ наибольшие изменения показателей водного режима отмечены у березы повислой.

При сравнении хвойных видов выявлено, что сосна обыкновенная отличается более стабильным уровнем водного режима,

чем лиственница Сукачева. У лиственницы Сукачева менее выражены ксероморфные черты в строении ассимиляционного аппарата. В связи с этим у нее наблюдается большее падение интенсивности транспирации в зоне сильного загрязнения по сравнению с контролем.

Список литературы

1. Гетко Н.В. Растения в техногенной среде.– Минск: Наука и техника, 1989. – 208 с.
2. Григорьев Ю.С. Сравнительно-экологическое исследование ксерофилизации высших растений.– М.: Издательство АН СССР, 1955. – 158 с.
3. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Башкортостан в 2001 году.– Уфа, 2002. – 240 с.
4. Илькун Г.М. Загрязнители атмосферы и растения.– Киев, 1978. – 246 с.
5. Кулагин Ю.З. Водный режим и газоустойчивость древесных растений // Растительность и промышленные загрязнения. – Свердловск: Уральский филиал АН СССР, 1966. – С. 49–51.
6. Кулагин Ю.З. Древесные растения и промышленная среда.– М.: Наука, 1974. – 128 с.
7. Лархер В. Экология растений. –М.: Мир, 1978 – 384 с.
8. Николаевский В.С. Биологические основы газоустойчивости растений. Новосибирск: Наука, 1979. – 280 с.
9. Ситникова А.С. Об изучении физиологических показателей древесных и кустарниковых пород в связи с газодымоустойчивостью // Растительность и промышленные загрязнения.– Свердловск: Уральский рабочий, 1966. – С. 39–44.

ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ РАЗВИТИЯ ЛИСТЬЕВ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ В УСЛОВИЯХ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

А.А. БОЙКО, *асп. лаборат. лесоведения института биологии Уфимского научн. центра РАН*

Стабильность развития обеспечивает нормальное формирование организма и является индикатором состояния природных популяций. Техногенное загрязнение нередко выступает в роли экстремального фактора окружающей среды, способствующего снижению эффективности регуляторных механизмов стабильности развития организма, что в свою оче-

редь способствует появлению отклонений в морфологических признаках отдельных особей [3].

Для оценки стабильности развития растений неоднократно использовался показатель флуктуирующей асимметрии как неспецифический показатель, характеризующий уровень стрессового воздействия внешней среды на организм [2, 4, 5, 6].

Объекты, район исследования и методика

Район исследований был ограничен территорией Уфимского промышленного центра (УПЦ). Уровень загрязнения атмосферного воздуха УПЦ высок и в основном определяется высокой концентрацией формальдегида и бензапирена [1]. По степени увеличения аэротехногенного загрязнения было заложено 5 пробных площадей (ПП) в насаждениях березы повислой с возрастом 50–65 лет. В качестве относительного контроля было выбрано насаждение вблизи пос. Юматово (ПП № 5), расположенного в 40 км к юго-западу от УПЦ (в районе исследования преобладают ветры юго-западного направления).

Величину флуктуирующей асимметрии (ΦA) листьев определяли по показателю дисперсии асимметрии как отношение абсолютной величины разности промеров слева и справа к их сумме $\Phi A = (L - R)/(L + R)$ и по интегральному показателю среднего относительного различия между сторонами на признак (средняя арифметическая величина отношения разности к сумме промеров слева и справа от центральной жилки, отнесенная к числу признаков [2]).

Для анализа интегрального показателя асимметрии листьев с 4–5 деревьев на каждой пробной площади в течение вегетационного периода (май – август) собиралось по 20 шт. листьев первой генерации с укороченных побегов в нижней части кроны. Для определения показателя дисперсии асимметрии с ПП № 1, ПП № 4, ПП № 5 в июле дополнительно собиралось по 100 шт. листьев с тех же деревьев.

Стабильность развития оценивали по следующим показателям листовой пластинки: (a) – длина жилки первого порядка, (b) – длина жилки второго порядка, (c) – расстояние между основаниями жилок первого и второго порядков, (d) – расстояние между концами жилок первого и второго порядков, (e) – расстояние между центральной жилкой и краем листа на середине листовой пластинки.

Результаты и обсуждение

Статистически значимое отличие между промерами справа и слева всех изучаемых показателей листовой пластинки по t -критерию Стьюдента обнаружено не было, что говорит о флуктуирующем характере асимметрии листовой пластинки березы повислой на изучаемых пробных площадях.

В ходе исследований было установлено, что величина дисперсии асимметрии увеличивается по мере возрастания уровня загрязнения окружающей среды (табл. 1). Так, сумма рангов величины дисперсии асимметрии изучаемых признаков листовой пластинки березы повислой для ПП № 1 составляла 24, ПП № 2 – 18, ПП № 3 – 17, ПП № 4 – 9, ПП № 5 – 7. Это подтверждает положение о том, что техногенное загрязнение нарушает внутренние механизмы организма, отвечающие за стабильность развития.

Интегральный показатель флуктуирующей асимметрии возрастает в течение вегетационного периода (рис. 1), что свидетельствует о том, что изменение программы нормального развития напрямую зависит не только от интенсивности загрязнения, но и от возраста листьев.

Т а б л и ц а 1

Величина дисперсии асимметрии некоторых признаков листовой пластинки березы повислой (в скобках указаны ранги по возрастанию)

№ПП	Признаки					Сумма рангов
	a	b	c	d	e	
1	0,032 (5)	0,042 (5)	0,102 (4)	0,068 (5)	0,050 (5)	24
2	0,031 (4)	0,036 (2)	0,105 (5)	0,059 (3)	0,044 (4)	18
3	0,029 (3)	0,037 (4)	0,100 (3)	0,068 (4)	0,041 (3)	17
4	0,027 (2)	0,036 (3)	0,083 (1)	0,057 (1)	0,033 (2)	9
5	0,026 (1)	0,035 (1)	0,083 (2)	0,059 (2)	0,027 (1)	7

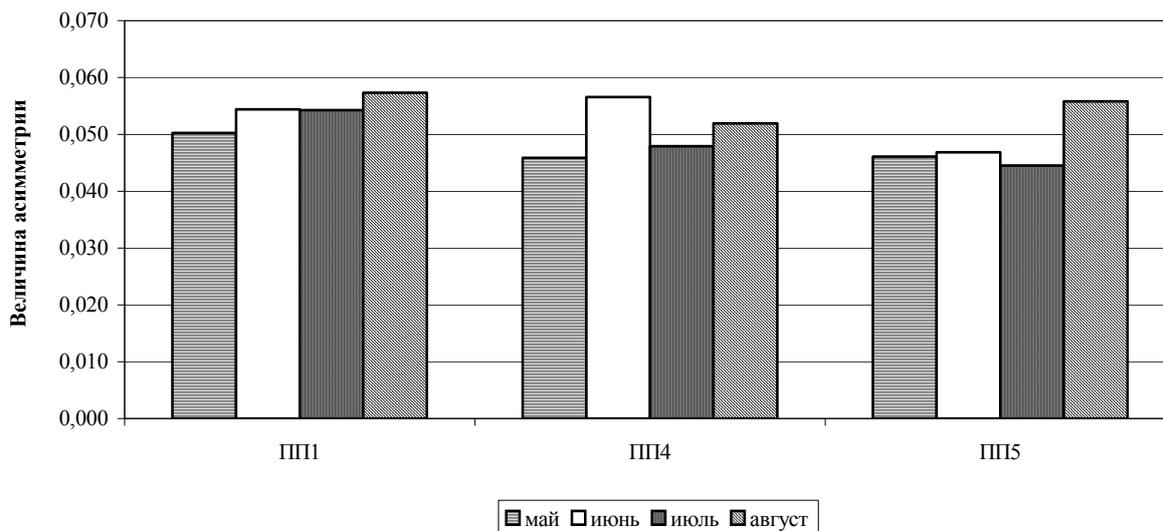


Рис. 1. Величина интегрального показателя флуктуирующей асимметрии промеров листьев березы повислой по месяцам вегетационного периода

Таким образом, в условиях техногенного загрязнения УПЦ наблюдается усиленная диверсификация листьев. Стабильность развития листьев березы повислой снижается как при усилении уровня промышленного загрязнения, так и в течение вегетационного периода.

Список литературы

1. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Башкортостан в 2001 году. – Уфа, 2002. – 240 с.
2. Кряжева Н.Г., Чистякова Е.К., Захаров В.М. Анализ стабильности развития березы повислой в ус-

3. Шмальгаузен И.И. Организм как целое в индивидуальном и историческом развитии: Избранные труды. – М.: Наука, 1982. – 364 с.
4. Gangestad S.W., Thornhill R. Individual differences in developmental precision and fluctuating asymmetry: a model and its implications. *J. Evol. Biol.* 1999 12, P. 402–416.
5. Zvereva E.L., Kozlov M.V., Nienela P. Delayed induced resistance and increase in leaf fluctuating asymmetry as reapond of *Salix borealis* to insect herbivory // *Oecologia*. – 1997. V. 109. – P. 368–373.
6. Lempa K., Martel J., Korieheva J., Haukioja E., Ossipov V., Ossipova S., Pihlaja K. Covariation of fluctuating asymmetry, herbivory and chemistry during birch leaf expansion // *Oecologia*. – 2000. V. 122. P. 354–360.

ВЛИЯНИЕ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ ГЕЛЕЙ НА ТЕПЛОПЕРЕДАЧУ В ПОЧВАХ

Г.Н. ФЕДОТОВ, доц. каф. химии и биотехнологии МГУЛа, канд. хим. наук,
Д.В. ЖУКОВ, асп. каф. химии и биотехнологии МГУЛа

Температуропроводность (ТП) является одной из теплофизических характеристик почвы, часто применяемых для расчета и прогнозирования ее температурного режима [1–3]. Знание теплового режима почв позволяет понять направленность почвообразовательных процессов и предсказать урожайность растений.

Считается, что тепло в почве переносится по твердой и жидкой фазам, а также через газовую фазу и посредством излучения [3]. По мнению ряда авторов [2–3], основным механизмом теплопереноса в почвах является перенос по почвенному раствору.

В последнее время появились работы, в которых делается вывод о вхождении поч-

венной влаги в состав органоминеральных гелевых структур (ОМГ) [4–6]. Причем предполагается, что при влажности, близкой к наименьшей влагоемкости (НВ), вся почвенная влага входит в структуру ОМГ. В этих условиях подвижность почвенного раствора должна резко уменьшаться, что должно оказывать влияние на ТП почв.

Целью работы является доказательство изменения температуропроводности почв при изменении структуры ОМГ.

В качестве объектов исследования были выбраны доступные нам почвы, включая торфяную и дерново-подзолистую из поймы р. Яхромы и ее окрестностей, а также тепличный субстрат и кубанский выщелоченный чернозем. Выбор определялся тем, что исследуемые почвы достаточно сильно отличались по своим характеристикам и количеству и составу ОМГ. Свойства почв, определенные по общепринятым методикам, приведены в работе [5].

ТП определяли по общепринятой методике способом регулярного режима [30]. Для этого брали полый тонкостенный алюминиевый цилиндр диаметром 50 мм, высотой 150 мм, заполняли его почвой и уплотняли её. Цилиндр закрывали пробками, в одну из которых был вставлен термодатчик так, чтобы в закрытом состоянии он находился в центре почвенного образца. Затем для предотвращения попадания воды из термостата со стороны пробок цилиндр стягивали пластинами из оргстекла, используя длинные болты. Устанавливали температуру воды в термостатах на уровнях $A^{\circ}\text{C}$ и $A+5^{\circ}\text{C}$. Помещали цилиндр с почвенным образцом в термостат с температурой воды $A^{\circ}\text{C}$. После термостатирования, по достижении температуры почвы в середине цилиндра температуры воды в термостате, цилиндр с почвой перемещали в термостат с температурой воды $A+5^{\circ}\text{C}$. В течение 10 минут снимали показания термодатчика с интервалом 30 секунд. По полученным данным рассчитывали коэффициент температуропроводности (КТП).

Для этого строили график зависимости $\ln \xi$ от времени термостатирования (при $t = A + 5^{\circ}\text{C}$):

$$\xi = \frac{\Delta t}{\Delta t_0},$$

где: $\Delta t = t_{\text{кон.}} - t_{\text{в точке}}$, $\Delta t_0 = t_{\text{кон.}} - t_{\text{нач.}}$,

ξ – нормированная разность температур,

$t_{\text{нач.}}$ – температура в первом термостате,

$t_{\text{в точке}}$ – температура термодатчика в момент измерения,

$t_{\text{кон.}}$ – температура во втором термостате.

Проводили прямую через точки, соответствующие регулярному режиму, когда натуральный логарифм нормированной разности температур меняется с течением времени по линейному закону. Не учитывали начальные показания, измеренные до установления регулярного режима, и последние, соответствующие малым перепадам температуры и большим относительным ошибкам измерений. По построенному графику определяли коэффициент температуропроводности:

$$\alpha = \frac{\Delta \ln \xi}{\Delta \tau} [\text{час}^{-1}].$$

В работе [5] было показано, что при внесении воды в почвы, высушенные до воздушно- или абсолютно сухого состояния, происходит взаимодействие воды с каркасом ОМГ с постепенным расширением «сжатого» при высушивании каркаса. Если принять данную концепцию, то можно предположить, что при подобной постановке экспериментов ТП почв должна уменьшаться.

Полученные данные (рис. 1) подтвердили эти предположения. На графике хорошо видно уменьшение коэффициента температуропроводности от времени, прошедшего после добавления воды в воздушно-сухие (ВС) образцы на всех четырех почвах в течение первых 3 суток. Однако в дальнейшем КТП начали расти, что, по-видимому, связано с организацией ОМГ в какое-то упорядоченное квазикристаллическое образование, обладающее способностью передавать тепло с большой скоростью.

Для подтверждения влияния структуры ОМГ на скорость теплопередачи в почвах и уточнения механизма этого влияния были сняты зависимости КТП от температуры для почв, в которых структура ОМГ уже восстанавливалась после добавления воды, и для почв

в которых она была разрушена (ВС сразу после добавления воды).

При постановке данного эксперимента исходили из того, что, во-первых, поведение почв с восстановленной структурой ОМГ должно отличаться от поведения почв с разрушенной структурой, а во-вторых, что при повышении температуры почвенный гель должен разрушаться и на кривых изменения КТП должен наблюдаться излом.

Полученные данные (рис. 2) подтвердили эти предположения, но результаты экспериментов несли большее количество информации, которую можно сформулировать следующим образом:

– после добавления воды в ВС почвы наблюдается сначала уменьшение КТП, а затем его рост;

– для почв с восстановленной структурой ОМГ с ростом температуры наблюда-

ется сначала рост КТП, а затем спад до значений, меньших исходных (исключение составляет тепличный субстрат: в нем КТП не изменяется);

– для ВС почв, в которые была добавлена вода, с ростом температуры КТП меняется значительно меньше (для чернозема, тепличного субстрата и торфяной почвы КТП при повышении температуры практически не изменяется).

Объяснить полученные результаты, по нашему мнению, можно, предположив, что в «жидкой фазе» почв существует три системы с отличающимися КТП: свободный почвенный раствор, частично структурированный коллоидами почвенный раствор с повышенной вязкостью и структурированный ОМГ с КТП большей, чем у частично структурированного почвенного раствора.

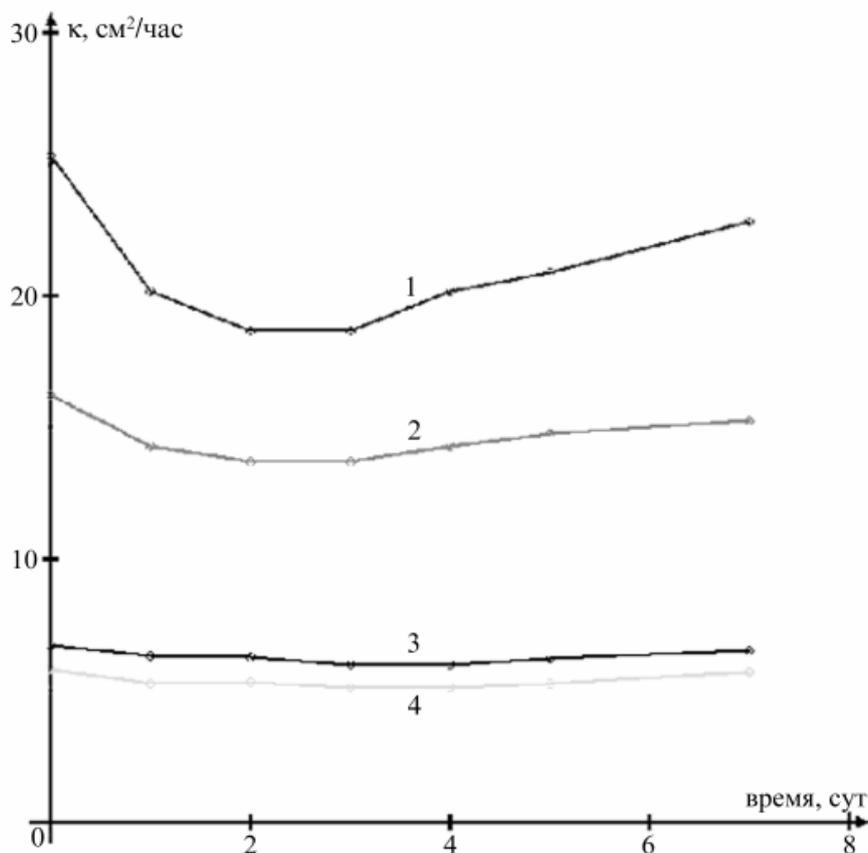


Рис. 1. Зависимость коэффициента температуропроводности почв от времени, прошедшего после добавления воды в воздушно-сухие почвы. 1 – дерново-подзолистая почва; 2 – чернозём; 3 – тепличный субстрат; 4 – торфяная почва

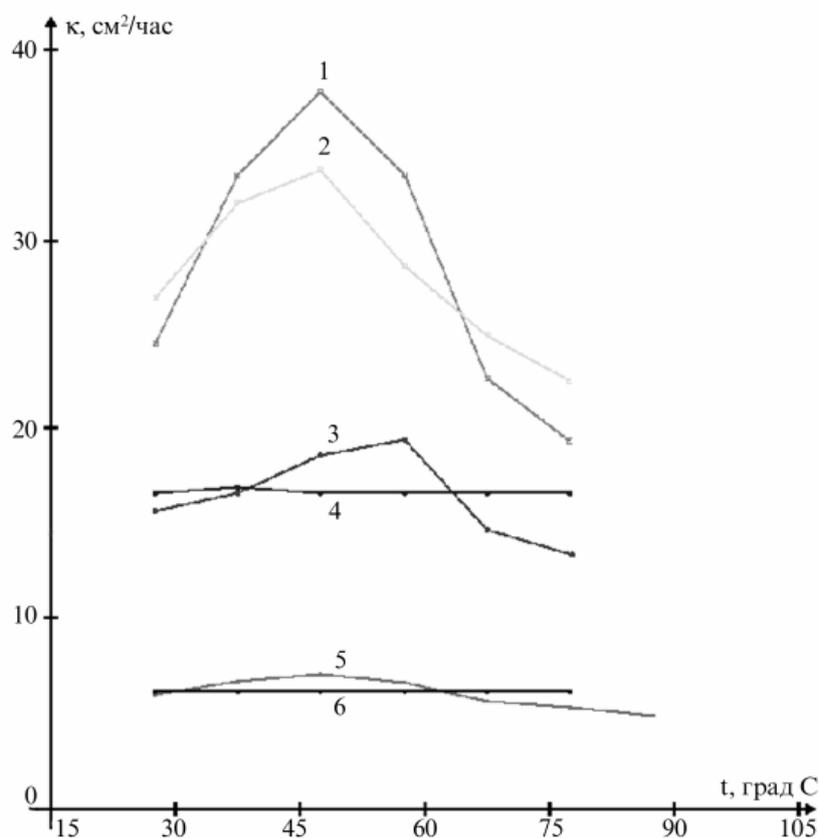


Рис.2. Зависимость коэффициента температуропроводности почв от температуры. 1 – дерново-подзолистая почва с восстановленной структурой ОМГ; 2 – дерново-подзолистая почва ВС сразу после добавления воды; 3 – чернозём с восстановленной структурой ОМГ; 4 – чернозём ВС сразу после добавления воды; 5 – торфяная почва с восстановленной структурой ОМГ; 6 – торфяная почва ВС сразу после добавления воды

После добавления воды в ВС почву происходит расширение ОМГ, в свободный почвенный раствор начинают поступать коллоиды, повышая его вязкость, что приводит к уменьшению КТП. Дальнейшее поступление коллоидов в почвенный раствор и структурные перестройки приводят к образованию структур ОМГ с более высоким КТП.

При повышении температуры образование структур ОМГ с более высоким КТП ускоряется. При этом разное поведение почв, содержащих свободный почвенный раствор и входящий в ОМГ, свидетельствует о том, что образование структур ОМГ с более высоким КТП связано в большей мере с процессами структурных перестроек, чем с поступлением коллоидов из плотного слоя ОМГ. По достижении определенной температуры структуры ОМГ с более высоким КТП начинают распадаться. Причем распа-

даются как те структуры, которые образовались при повышении температуры, так и те, которые уже существовали, что приводит к снижению КТП ниже начального значения. Структуры же ОМГ плотных слоев меньше подвержены разрушению, поэтому КТП почв, в которых структура ОМГ еще не восстановилась, меньше меняются с повышением температуры.

Выводы

1. Структура ОМГ почв оказывает значимое влияние на теплопередачу.
2. При изменении структуры ОМГ почв КТП меняется сложным образом.

Список литературы

1. Архангельская Т.А. Температуропроводность серых лесных почв Владимирского ополья // Почвоведение, 2004. – № 3. – С. 332–342.

2. Нерпин С.В., Чудновский А.Ф. Физика почвы. – М.: Наука, 1967. – 584 с.
3. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв и грунтов. – М.: Высшая школа, 1973. – 400 с.
4. Федотов Г.Н., Третьяков Ю.Д., Поздняков А.И. Возникновение остаточной поляризации при неустановившейся фильтрации воды через коллоидные почвенные структуры // Доклады Академии Наук. – 2003. – Т. 392. – № 3. – С. 350–355.
5. Федотов Г.Н., Третьяков Ю.Д., Поздняков А.И., Жуков Д.В., Пахомов Е.И. Роль органоминерального геля в формировании естественных электрических полей в почвах // Доклады Академии Наук. – 2003. – Т. 393. – № 4. – С. 497–500.
6. Федотов Г.Н., Третьяков Ю.Д., Поздняков А.И., Жуков Д.В., Пахомов Е.И. Влияние коллоидной структуры органоминерального геля на свойства почв // Доклады Академии Наук. – 2004. – Т. 394. – № 2. – С. 212–214.
7. Шеин Е.В., Архангельская Т.А., Гончаров В.М. и др. Полевые и другие методы исследования физических свойств и режимов почв. – М.: МГУ, 2001. – 200 с.

ОРГАНИЗАЦИЯ КОЛЛОИДНЫХ ЧАСТИЦ В ПОЧВАХ В ГЕЛЕВЫЕ СТРУКТУРЫ

Г.Н. ФЕДОТОВ, *доцент кафедры химии и биотехнологии МГУЛа, канд. хим. наук,*
Д.В. ЖУКОВ, *асп. каф. химии и биотехнологии МГУЛа,*
Е.И. ПАХОМОВ, *асп. каф. химии и биотехнологии МГУЛа*

В конце XIX начале XX веков было показано, что ионообменная способность почв обусловлена наличием в почвах коллоидных частиц [2, 5, 6, 12, 15, 21], которые, являясь преимущественно отрицательно заряженными коллоидами, удерживают катионы в адсорбционном и диффузном слоях двойного электрического слоя (ДЭС) [15]. Давно и хорошо известно, что почвенные коллоиды определяют большинство почвенных свойств [2, 5, 12, 15]: влагоемкость, фильтрационные характеристики, способность удерживать катионы и многие другие.

Вигнером для объяснения ионообменной способности почв была предложена модель коллоидной мицеллы [2], и почву стали воспринимать как природное тело, содержащее достаточно большое количество таких мицелл, поведение которых стали рас-

сматривать с позиций предложенной модели. Подобный подход означает, что коллоидные частицы почв рассматривают с позиции их существования в состоянии золь*. Фактически при этом не учитывают взаимодействие между коллоидными частицами, предполагая, что оно отсутствует.

Простые расчеты, сделанные на основе данных по удельной поверхности почв, [9], свидетельствуют, что во многих почвах содержится около 20 % коллоидных частиц. В этих условиях расстояние между коллоидными частицами в почвенном растворе даже при влажности, близкой наименьшей влагоемкости, часто сравнимо с размером этих частиц, и они не могут между собой не взаимодействовать с образованием гелевых** структур [7, 8, 19].

* Золь - коллоидная система, состоящая из дисперсионной среды (для почвоведения это, прежде всего, вода или водные растворы) и твердых коллоидных частиц, реологические свойства которой определяются свойствами дисперсионной среды. То есть, золь это коллоидная система, в которой взаимодействие между коллоидными частицами пренебрежимо мало и им можно пренебречь [7,8,19].

** Гель - коллоидная система, состоящая из дисперсионной среды и твердых коллоидных частиц, реологические свойства которой определяются взаимодействием между коллоидными частицами и значительно отличаются от реологических свойств дисперсионной среды. Гели - упорядоченные системы. Они могут возникать в локальных объемах, и тогда их можно рассматривать как агрегаты из коллоидных частиц. Образуя сетку, они могут пронизывать всю систему. Гели, в которых сетка образована лиофильными коллоидами, представляющими собой развернутые органические молекулы с большим молекулярным весом, хорошо взаимодействующие с водой, называются студнями [7, 8, 19].

Взаимодействие между коллоидными частицами описано в рамках теории ДЛФО [7, 8, 19], которая дает ответ на вопрос о структуре гелей. Не рассматривая ее в деталях, приведем лишь исходные предпосылки и выводы, которые следуют из этой теории.

Между коллоидными частицами действуют Ван-дер-Ваальсовы силы притяжения и электростатические силы отталкивания. Силы отталкивания убывают от расстояния между частицами по экспоненциальному закону, а силы притяжения – по степенному закону. Поэтому заранее знак результирующей силы предсказать нельзя. Анализ полученных уравнений свидетельствует, что на малых расстояниях преобладает притяжение. На больших расстояниях также преобладает притяжение, поскольку степенная функция убывает значительно медленнее, чем экспонента. На средних расстояниях может преобладать отталкивание. В этом случае на кривой зависимости энергии взаимодействия от расстояния между частицами появляется потенциальный барьер и два минимума («ямы»).

Возможность сближения частиц в элементарном акте определяется высотой барьера и глубиной ям. Могут образоваться три типа структур:

I. Коагуляция происходит в результате ближнего взаимодействия частиц, при достаточной глубине первого минимума.

II. Частицы не могут преодолеть барьера и расходятся без взаимодействия, при этом образуются агрегативно устойчивые системы. Частицы стараются разойтись как можно дальше друг от друга, образуя псевдокристаллические решетки. Такие системы получили название периодических коллоидных структур (ПКС) ограниченного объема.

III. Если глубина второго минимума достаточно велика (\gg кТ), то, независимо от высоты барьера, происходит так называемое дальнейшее взаимодействие коллоидных частиц, и они фиксируются на расстоянии, соответствующем второму минимуму. При этом устанавливается гибкая связь, частицы не могут ни разойтись, ни приблизиться друг

к другу. Частицы, связанные на столь больших расстояниях (иногда на порядок превышающих размер частиц), приобретают фазовую устойчивость, а система в целом сохраняет свою дисперсность и удельную поверхность. Подобные системы получили название локальных ПКС. Они весьма распространены и практически всегда образуются при коагуляции коллоидов из-за замедленности стадии дегидратации частиц.

Нами было выдвинуто предположение о том, что взаимодействие между коллоидными частицами в почвах необходимо принимать во внимание и что коллоидные частицы в почвах существуют в виде гелевых структур, включающих в свой состав большое количество почвенного раствора, а при влажностях ниже наименьшей влагоемкости – весь почвенный раствор.

Доказать выдвинутое положение, на наш взгляд, можно было, рассматривая различные свойства почв и их изменения под влиянием внешних факторов с позиций наличия в почвах свободных почвенных растворов и невзаимодействующих между собой коллоидных частиц, а также с позиций наличия в почвах гелевых структур и включения почвенного раствора в эти структуры.

Были изучены электропроводность почв, скорость диффузии, поведение «неотмываемых» солей и активность ионов в почвах, температуропроводность, липкость и структурно-механические свойства почв.

В качестве объектов исследования были выбраны торфяная и дерново-подзолистая почвы из поймы р. Яхромы и ее окрестностей, а также тепличный субстрат и кубанский выщелоченный чернозем. Свойства почв определяли по стандартным методикам [4]. Результаты приведены в работе [17].

Эксперименты по изучению электропроводности проводили с насыпными почвами. Образцы почв высушивали до воздушно-сухого состояния при температуре 40⁰С и просеивали через сито с диаметром отверстий 1 мм. Влажность почв изменяли, вводя в них соответствующее количество дистиллированной воды небольшими пор-

циями при перемешивании и выдерживая в течение 7–10 дней. Измерение электросопротивления проводили в пластиковых кюветах различного размера четырехэлектродным методом [1] на постоянном и переменном токе частотой 10–100 Гц. Напряжение подавалось на электроды из нержавеющей стали, расположенные в торцах кювет. В качестве источника питания использовали генератор GFG-8217A и источник питания постоянного тока Б5-48, а в качестве измерителей напряжения и силы тока – цифровые мультиметры фирмы «Mastech» серии M890. Термостатирование кювет с почвой проводили в воздушном термостате в течение 18–20 часов. Влажность почв изменяли, вводя в них соответствующее количество дистиллированной воды и выдерживая в течение 7–10 дней. Для оценки влияния структуры ОМГ на электропроводность почв измеряли их удельное электросопротивление в зависимо-

сти от напряженности электрического поля при низких частотах.

На всех четырех почвах были получены сходные зависимости (рис. 1–4). Из представленных данных видно, что на постоянном и переменном токе с частотой 60–100 Гц удельное сопротивление практически не зависит от напряженности электрического поля. При уменьшении частоты в полях с малой напряженностью наблюдается рост удельного сопротивления, а при частоте 10 Гц оно возрастает более чем на порядок.

Подобные нелинейные эффекты трудно объяснить, если полагать, что электропроводность почв обусловлена почвенными растворами [14], так как в этом интервале частот электропроводность растворов не меняется. Вместе с тем эти данные хорошо согласуются с определяющей ролью электропроводности в почвах коллоидного каркаса ОМГ.

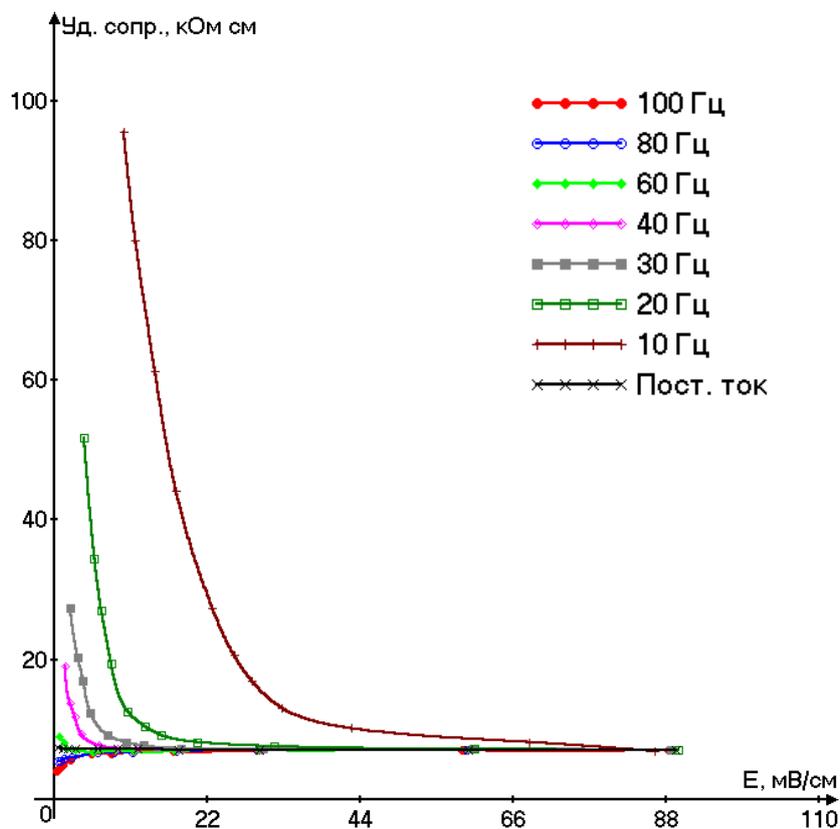


Рис. 1. Зависимость удельного электросопротивления чернозема от напряженности электрического поля при $t = 24^{\circ}\text{C}$, $W = 32\%$

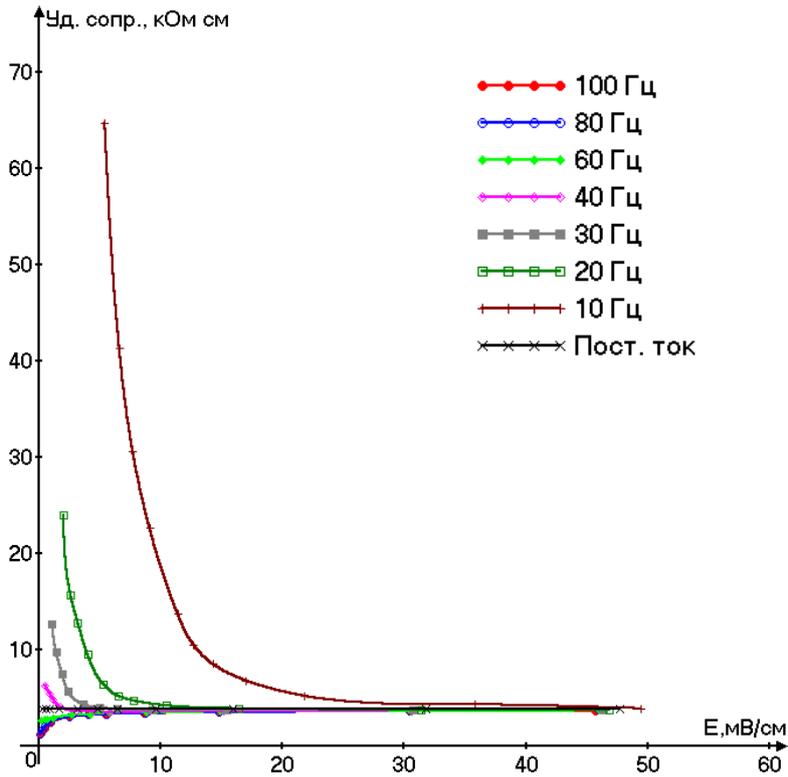


Рис. 2. Зависимость удельного электросопротивления торфяной почвы от напряженности электрического поля при $t = 24^{\circ}\text{C}$, $W = 100\%$

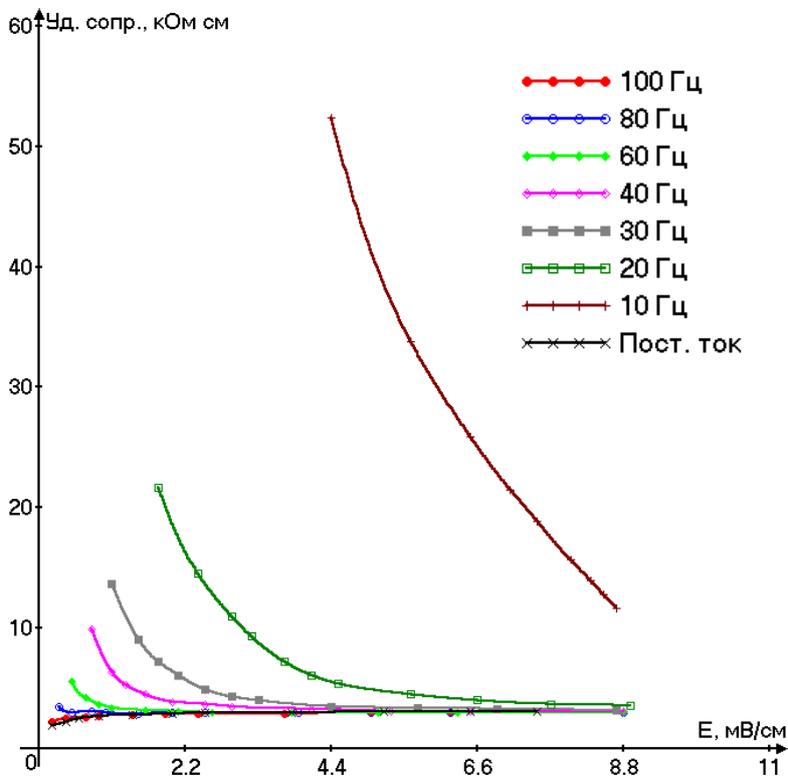


Рис. 3. Зависимость удельного электросопротивления дерново-подзолистой почвы от напряженности электрического поля при $t = 24^{\circ}\text{C}$, $W = 22\%$

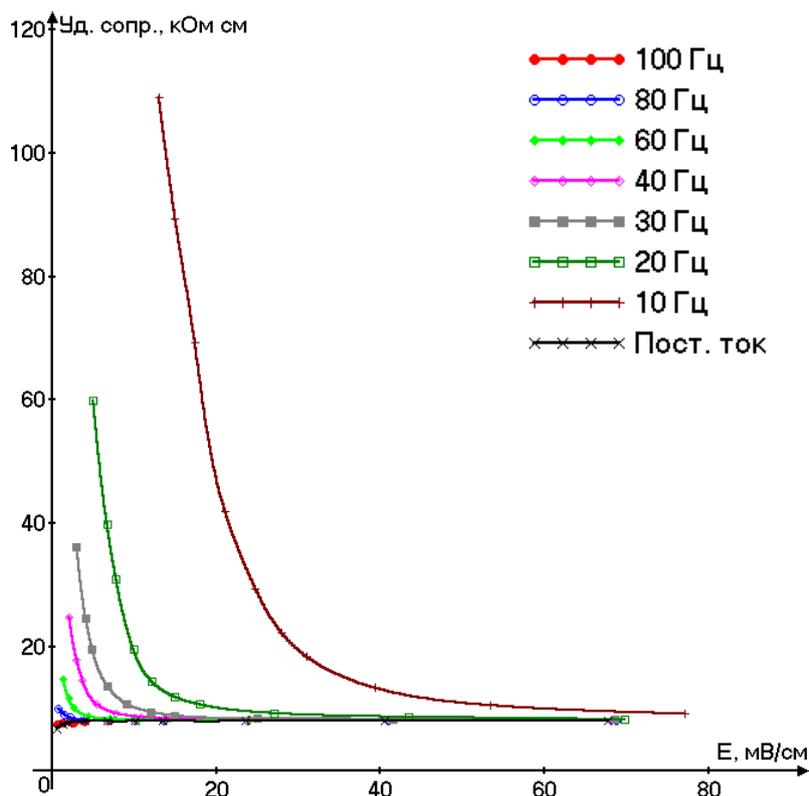


Рис. 4. Зависимость удельного электросопротивления тепличного субстрата от напряженности электрического поля при $t = 24 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $W = 78 \%$

Рассмотрим электропроводность почв с точки зрения структурированности ОМГ. Представим себе две во всем одинаковые почвы, но в одной из них существует структура ОМГ, включающая в себя почвенный раствор, а в другой она отсутствует. Вхождение почвенного раствора в структуру ОМГ приводит к уменьшению подвижности ионов из-за их закрепления в структуре. Электропроводность подобной модельной системы должна определяться количеством и размером микрообъемов, не содержащих электрических зарядов. Чем таких областей больше, тем выше удельное электросопротивление. При высоких напряженностях или в постоянных электрических полях смещающиеся заряды образуют единое пространство и электропроводность системы максимальна. При относительно высоких частотах ионы колеблются в пространстве между частицами и электропроводность тоже максимальна. Однако, если частота опускается ниже величины, соответствующей времени перемеще-

ния ионов до коллоидных частиц, то начинают проявлять себя потенциальные барьеры.

Для анионов – «отрицательная адсорбция» двойным электрическим слоем, то есть наличие определенного энергетического барьера для прохождения анионов через ДЭС, а для катионов – энергия удерживания их в ДЭС, тем более, что это касается не отдельной коллоидной частицы, а частицы, входящей в структуру ОМГ. Эти барьеры должны быть чрезвычайно малы, но при малых напряженностях поля они срабатывают как запирающий слой.

Для подтверждения предлагаемого объяснения было изучено влияние температуры и влажности на электропроводность почв в зависимости от напряженности поля при частоте 10 Гц, когда эти эффекты проявляются наиболее ярко. Мы исходили из предположения, что повышение энергии частиц приведет к относительному уменьшению высоты «барьеров» и величина эф-

фекта уменьшится. Увеличение влажности приведет к уменьшению концентрации ионов в ДЭС, а значит оно также должно снижать величину эффекта. Полученные результаты (рис. 5, 6) подтвердили наши предположения.

Обращает на себя внимание, что сходную картину мы наблюдали на совершенно разных почвах. Таким образом, представленные результаты по изучению электросопротивления свидетельствуют о том, что электропроводность почв определяется электропроводностью коллоидной матрицы

ОМГ. С общепринятых позиций подобный результат является неожиданным, так как свидетельствует об отсутствии значимого влияния почвенного раствора на процесс прохождения тока через почвы.

Выдвинутое предположение позволяет объяснить полученные результаты, но является лишь косвенным подтверждением вхождения почвенного раствора в матрицу ОМГ. Правильное понимание природы явления должно позволять не только объяснять полученные результаты, но и предсказывать новые.

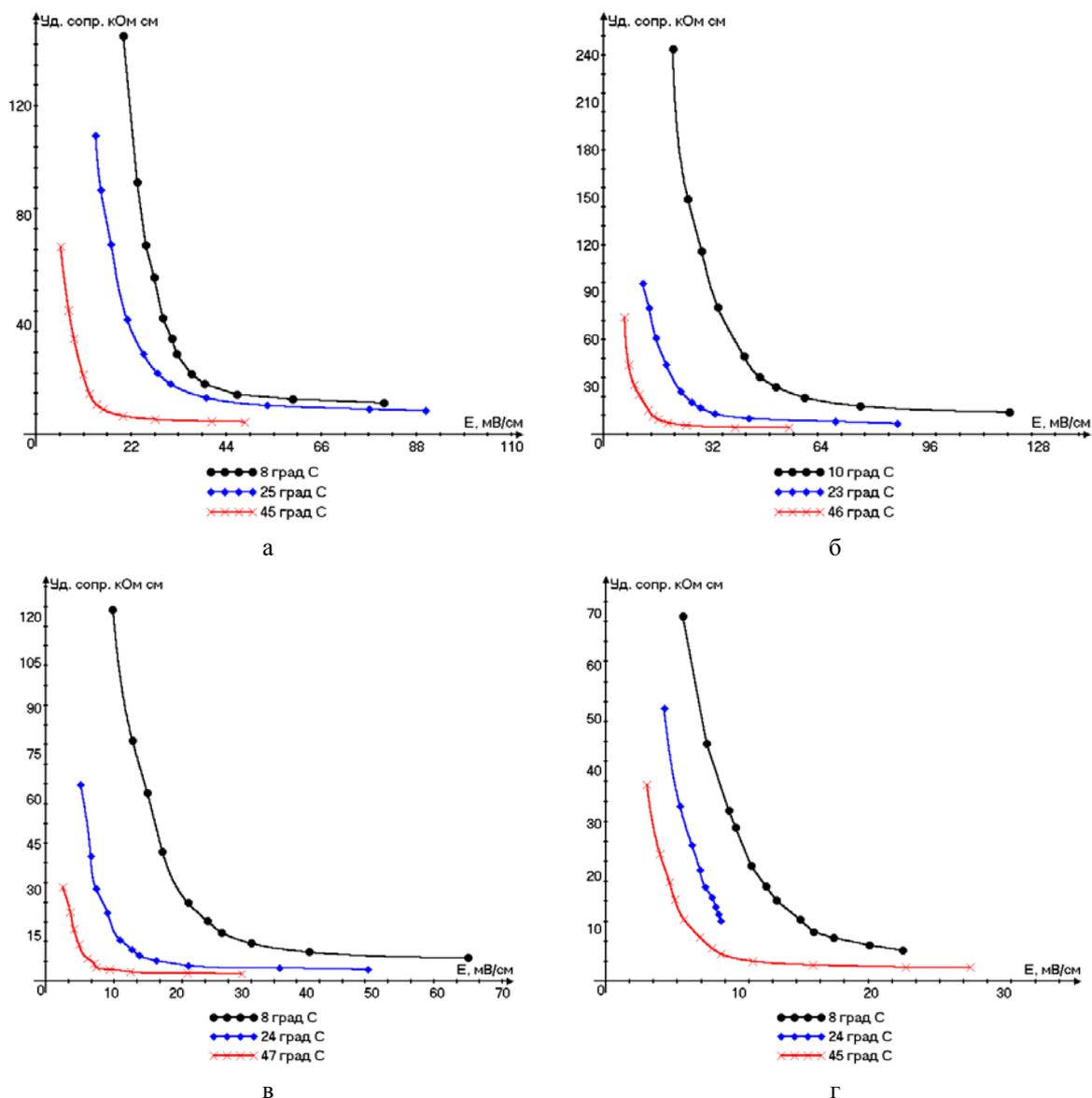


Рис. 5. Зависимость удельного электросопротивления почв от напряженности электрического поля при частоте тока 10 Гц и при различных температурах. а. Тепличный субстрат. б. Чернозём. в. Торфяная почва. г. Дерново-подзолистая почва

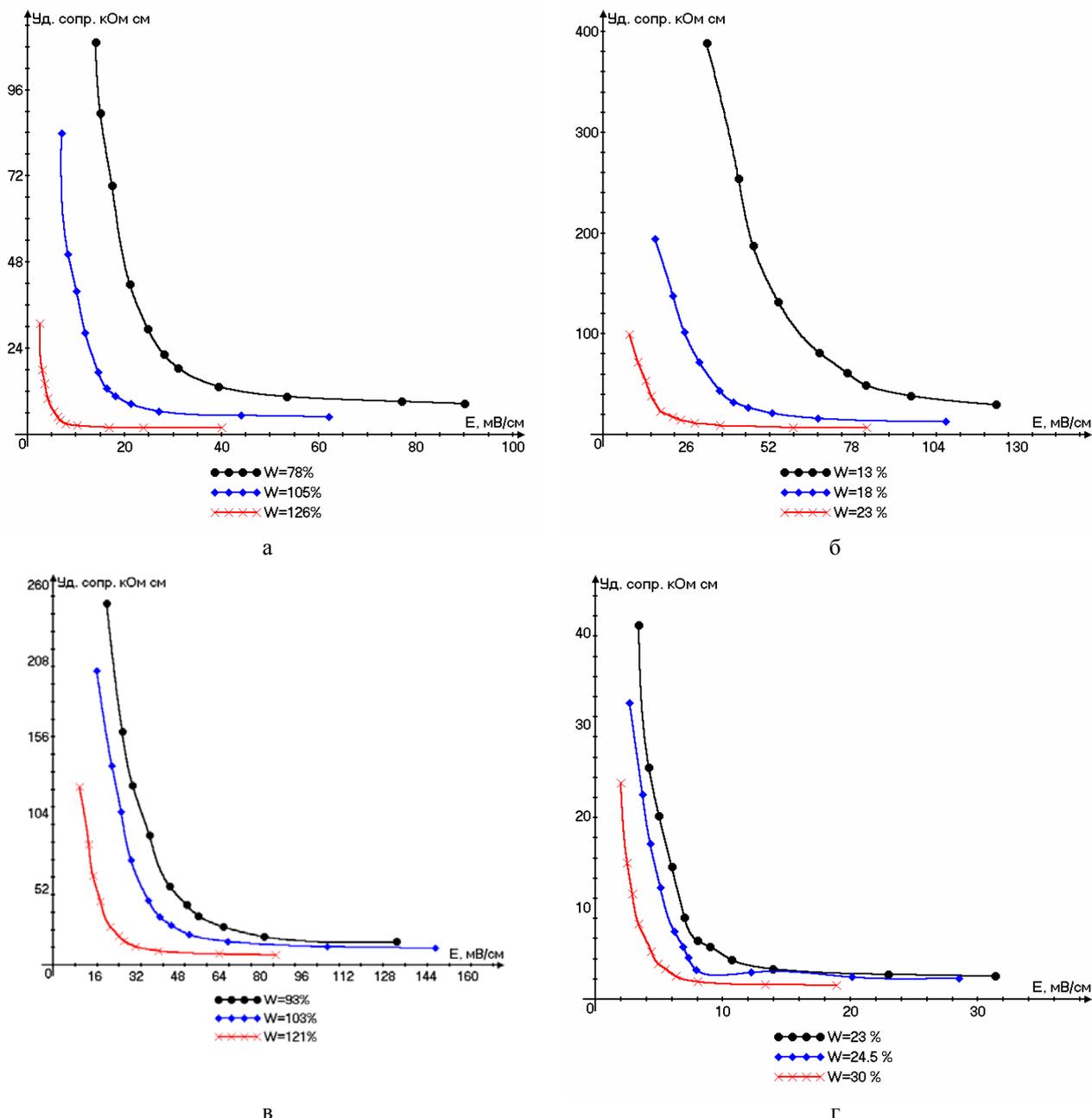


Рис. 6. Зависимость удельного электросопротивления почв от напряженности электрического поля при частоте тока 10 Гц и при различных влажностях. а. Тепличный субстрат. б. Чернозём. в. Торфяная почва. г. Дерново-подзолистая почва

Представим себе две одинаковые почвы, с той лишь разницей, что в одной существует структура ОМГ, включающая в себя почвенный раствор, а в другой она отсутствует. Вхождение почвенного раствора в структуру ОМГ должно приводить к уменьшению подвижности ионов. Следовательно, при одной и той же влажности одна и та же почва будет связывать ионы почвенного рас-

твора с большей энергией при наличии в ней структуры ОМГ по сравнению с почвой, в которой разрушен ОМГ. Разрушение ОМГ путем коагуляции коллоидных частиц в ближнем энергетическом минимуме удобнее всего провести нагреванием почвы и удалением влаги. При разрушении матрицы входящие в нее соли освобождаются. Последующее введение воды в почву (мы исполь-

зовали количества, соответствующие естественной влажности образцов – 0,8–0,9 НВ) должно приводить к постепенному восстановлению структуры ОМГ, поглощению ею свободных солей и соответственно к росту удельного сопротивления.

Совсем другая картина будет наблюдаться, если соли входят в состав свободного почвенного раствора. При высушивании они должны адсорбироваться на частицах твердой фазы или выделяться в виде отдельной фазы при большой концентрации в растворе. Добавление воды к таким системам может привести только к уменьшению удельного электросопротивления, так как постепенная десорбция или растворение будут увеличивать количество заряженных частиц в почвенном растворе.

Результаты экспериментов, проведенных с почвами, высушенными до абсолютно

сухого состояния, представлены на графике (рис. 7). Они полностью подтвердили наши предположения о вхождении почвенного раствора в состав ОМГ и увеличении удельного сопротивления во времени. Причем в черноземе, содержащем, как известно, максимальное число коллоидных частиц, процесс возрастания сопротивления идет наиболее длительно, а в дерново-подзолистой почве, содержащей минимальные их количества, прекращается практически сразу.

Можно полагать, что наличие каркаса ОМГ должно оказывать заметное влияние также на скорость диффузии веществ в почвах. Связано это с тем, что увеличение объема, занимаемого ОМГ, приводит, по нашему мнению, к полному поглощению им свободной почвенной влаги, а диффузия по «свободной воде» должна происходить заметно быстрее, чем по каркасу ОМГ.

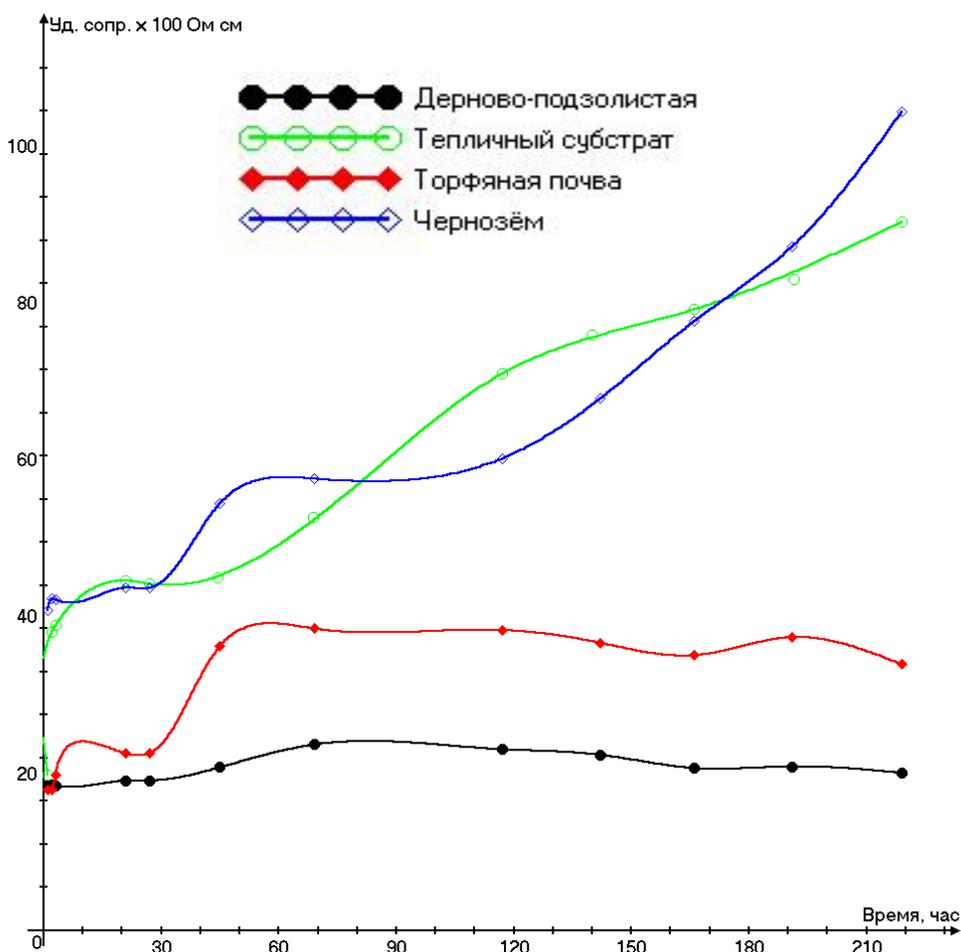


Рис. 7. Зависимость от времени удельного сопротивления абсолютно сухих почв, увлажненных до естественной влажности

Однако получить такие корректные данные, которые можно сравнивать, на почвах при наличии и отсутствии каркаса ОМГ методически достаточно сложно. Связано это с тем, что образцы почв, на которых изучается диффузия, при приготовлении их из почв с различными структурами ОМГ будут по-разному прессоваться, а следовательно, иметь отличающуюся макроструктуру. В этом случае невозможно сделать однозначный вывод о том, что же влияет на изменение скорости диффузии: структура ОМГ или макроструктура образца.

Для того чтобы избежать неоднозначности в трактовке получаемых результатов, исследовали диффузию нитрата калия в образцах, приготовленных из воздушно-сухих почв увлажнением их до естественной влажности. Причем на одних образцах скорость диффузии определяли сразу после приготовления, а на других – через 5 суток, предполагая на основе предыдущих исследований, что за это время каркас ОМГ в образцах, в основном, восстановится. Скорость диффузии солей через почву определяли на примере нитрата калия, фиксируя время прохождения соли через образец с помощью ионселективного электрода на нитрат ион. Для этого готовили агаровый раствор нитрата калия. После того, как он застывал, на него помещали таблетку почвы толщиной 5–7мм. Таблетку диаметром 50 мм готовили сразу после добавления в почву воды, уплотняя почву нагрузкой 300 г. Приводя в соприкосновение ионселективный электрод и хлорсеребряный электрод сравнения (через агаровый солевой мостик) с внешней поверхностью почвы, фиксировали цифровым мультиметром разность потенциалов между электродами. Измерения проводили периодически с интервалом 5-10 минут.

Прохождение соли через слой почвы определяли по началу изменения разности потенциалов между электродами. Ошибка опытов не превышала 5 %.

Оказалось (табл. 1), что скорость диффузии на всех почвах через 5 суток, которые требуются для восстановления структуры ОМГ, заметно уменьшается. Это является еще одним подтверждением влияния каркаса ОМГ на свойства почв.

Важным и не находящим объяснения в рамках существующих представлений о почвах свойством является их способность удерживать соли. Нами определялась электропроводность водных вытяжек из почв (1:10) естественной влажности, воздушно-сухих и абсолютно-сухих (табл. 2). Содержащаяся в почвах влага учитывалась при приготовлении суспензии. Содержание калия, кальция и натрия в водных вытяжках определяли на пламенном фотометре, электросопротивление водных вытяжек измеряли на частоте 1000 Гц.

На всех четырех почвах были получены общие закономерности. Удельное электросопротивление водных вытяжек из воздушно-сухих почв было максимально, а для абсолютно-сухих почв – минимально. Аналогичная, хотя и не так явно выраженная, закономерность наблюдается для кальция. Мы объясняли эти результаты способностью органоминерального геля включать соли в свою структуру, возрастая прочностью каркаса ОМГ в воздушно-сухих почвах по сравнению с почвами естественной влажности и разрушением каркаса ОМГ при дальнейшем удалении влаги из почв. Объяснить существующий минимум выхода солей из почв при их высушивании с позиций ДЭС не представляется возможным.

Т а б л и ц а 1

Средние значения скорости диффузии нитрата калия в зависимости от состояния каркаса ОМГ почвы (мм/мин)

Тип почвы / Состояние почвы	Тепличный субстрат	Торфяная почва	Дерново- подзолистая почва	Чернозем
Почва с нарушенной структурой ОМГ	2,0±0,1	3,2±0,2	1,6±0,1	1,6±0,1
Почва с восстановленной структурой ОМГ	1,3±0,1	1,0±0,1	0,7±0,1	1,1±0,1

Свойства водных вытяжек из почв (соотношение почва – вода 1:10)

Почва	Свойства	Удельное электросопротивление, Ом * см	Содержание K ⁺ , мг/л	Содержание Na ⁺ , мг/л	Содержание Ca ⁺ , мг/л
Дерново-подзолистая	ЕВ	5400	16	17	40
	ВС	7000	14	8	46
	АС	5500	16	8	53
Тепличный субстрат	ЕВ	2700	25	23	120
	ВС	3500	32	28	92
	АС	2000	35	28	200
Торфяная	ЕВ	2250	11	24	240
	ВС	5200	7	12	160
	АС	1800	12	15	400
Чернозем	ЕВ	5150	3	8	92
	ВС	7200	4	7	92
	АС	5050	5	7	132

ЕВ – почва естественной влажности(0,8-0,9наименьшей полевой влагоемкости), ВС– воздушно-сухая почва, АС– абсолютно-сухая почва.

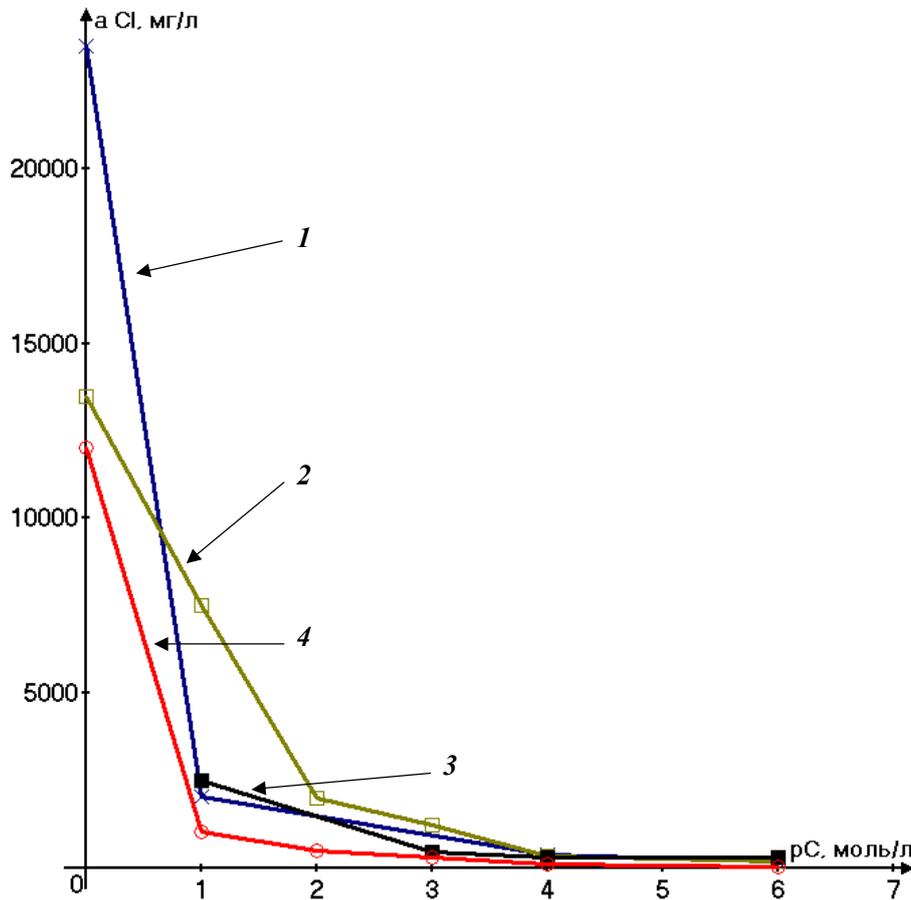


Рис.8. Изменение активности анионов хлора в зависимости от содержания хлорида калия в почвенном растворе в различных почвах.
 1 – тепличный субстрат;
 2 – дерново-подзолистая почва;
 3 – торфяная почва;
 4 – чернозем

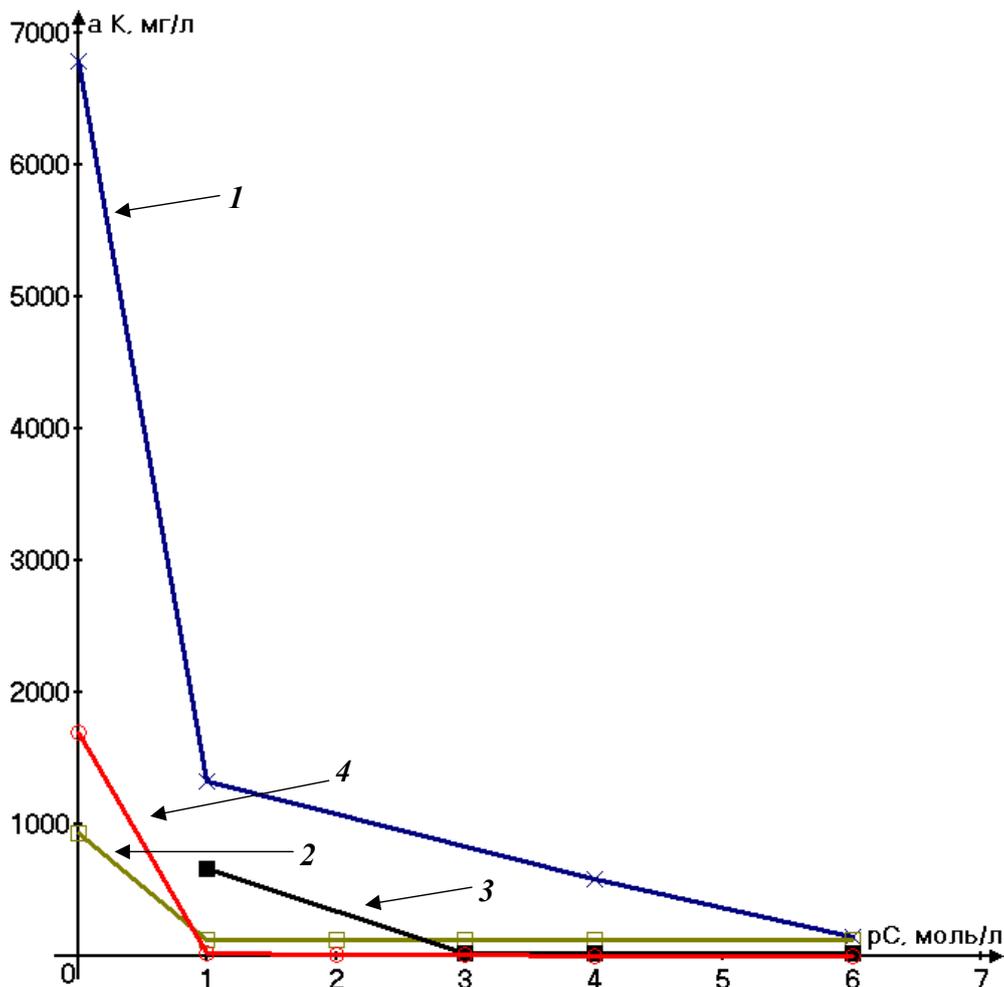


Рис.9. Изменение активности анионов калия в зависимости от содержания хлорида калия в почвенном растворе в различных почвах.
 1 – тепличный субстрат;
 2 – дерново-подзолистая почва;
 3 – торфяная почва;
 4 – чернозем

Для подтверждения выдвинутого предположения были сняты зависимости изменения активности ионов калия и хлора в различных почвах от содержания хлорида калия.

При постановке эксперимента исходили из следующих положений. При существовании коллоидов в виде золя эффект отрицательной адсорбции анионов должен сходиться на нет с повышением концентрации соли в почве из-за уменьшения толщины двойного электрического слоя. Если же в почвах существуют гелевые структуры, включающие в свой состав и почвенную влагу, и свободные соли, то эффект отрица-

тельной адсорбции будет существовать до тех пор, пока существуют в почвах ОМГ.

Образцы почв, содержащие соли, готовили, добавляя растворы солей различных концентраций в воздушно-сухие почвы до содержания воды 0,8–0,9 наименьшей влагоемкости и выдерживая несколько недель.

Измерение активности ионов калия и хлора в почвах проводили при помощи ион-селективных электродов на иономере И-500 фирмы «Аквилон». Информация с прибора в графическом виде в непрерывном режиме поступала на компьютер. В течение 5–15 минут контакта электрода с почвой наблюдались значительные колебания актив-

ности ионов. По прошествии этого времени система приходила к равновесию, и кривая выходила на постоянное значение. Ошибка при определении активности анионов хлора составляла 10 %, катионов калия на больших концентрациях соли – 10 %. На малых концентрациях соли она возрастала до 20 %.

Из полученных данных (рис. 8–9) хорошо видно, что активность ионов хлора во всем интервале концентраций значительно выше активности ионов калия. Более того, с ростом концентрации соли разница активностей увеличивается. На самом деле разница должна быть еще более значима, так как электрод сравнения, находясь в почве, имеет более отрицательный потенциал, чем он имел бы, находясь в растворе (эффект Палмана-Лузье [10]). Вследствие этого, определяемая таким образом активность анионов ниже, чем в действительности, а катионов выше.

Одной из теплофизических характеристик почвы, часто применяемых для расчета и прогнозирования ее температурного режима, является температуропроводность.

Считается, что тепло в почве переносится по твердой и жидкой фазам, а также через газовую фазу и посредством излучения [2]. По мнению ряда авторов [2, 14], основным механизмом теплопереноса в почвах является его перенос по почвенному раствору.

Мы предполагаем, что при влажности, близкой к наименьшей влагоемкости, вся почвенная влага входит в структуру ОМГ. В этих условиях подвижность почвенного раствора должна резко уменьшаться, а это должно оказывать влияние на температуропроводность почв.

Температуропроводность определяли по общепринятой методике способом регулярного режима [20]. Для этого брали полый тонкостенный алюминиевый цилиндр диаметром 34 мм, высотой 125 мм, заполняли его почвой и уплотняли её. Цилиндр закрывали пробками, в одну из которых вставляли термодатчик таким образом, чтобы в закрытом состоянии он находился в центре почвенного образца. Затем цилиндр для предотвращения попадания воды из термостата со стороны пробок стягивали пластинами из

оргстекла, используя длинные болты. Устанавливали температуру воды в термостатах на уровнях $A^{\circ}\text{C}$ и $A+5^{\circ}\text{C}$. Помещали цилиндр с почвенным образцом в термостат с температурой воды $A^{\circ}\text{C}$. После термостатирования, когда температура почвы в середине цилиндра достигала температуры воды в термостате, цилиндр с почвой перемещали в термостат с температурой воды $A+5^{\circ}\text{C}$. В течение 10 мин снимали показания термодатчика с интервалом 30 с. По полученным данным рассчитывали коэффициент температуропроводности.

Выше было показано, что при внесении воды в почвы, высушенные до воздушно или абсолютно сухого состояния, происходит взаимодействие воды с каркасом ОМГ с постепенным расширением «сжатого» при высушивании каркаса. Можно предположить, что при подобной постановке экспериментов температуропроводность почв должна уменьшаться.

Полученные данные (рис. 10) подтвердили эти предположения. На графике хорошо видно уменьшение коэффициента температуропроводности от времени, прошедшего после добавления воды в воздушно сухие образцы, на всех четырех почвах в течение первых 3 суток. Однако в дальнейшем коэффициент температуропроводности начал расти, что, по-видимому, связано с организацией ОМГ в какое-то упорядоченное квазикристаллическое образование, обладающее способностью передавать тепло с большой скоростью.

Для подтверждения влияния структуры ОМГ на скорость теплопередачи в почвах были сняты зависимости коэффициента температуропроводности от температуры для почв, в которых структура ОМГ уже восстановилась после добавления воды и почв, в которых она была разрушена (ВС сразу после добавления воды).

При постановке данного эксперимента исходили:

– во-первых, из того, что поведение почв с восстановленной структурой ОМГ должно отличаться от поведения почв с разрушенной структурой;

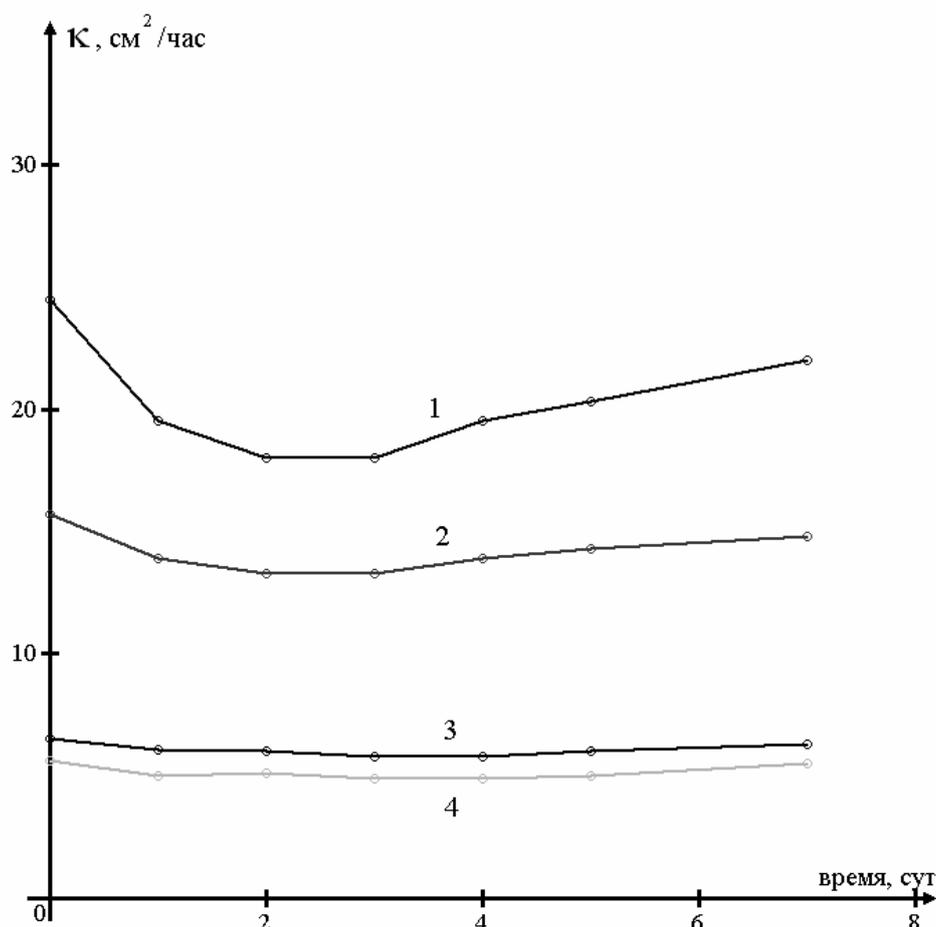


Рис. 10. Зависимость коэффициента температуропроводности почв от времени, прошедшего после добавления воды в воздушно сухие почвы.
 1 – дерново-подзолистая почва;
 2 – чернозём;
 3 – тепличный субстрат;
 4 – торфяная почва

– во-вторых, из того, что при повышении температуры почвенный гель должен разрушаться и на кривых коэффициента температуропроводности должен наблюдаться излом.

Полученные данные (рис. 11) полностью подтвердили и эти предположения.

Влияние структуры ОМГ на механические свойства почв было изучено с использованием конуса Васильева [13]. В метод было внесено небольшое усовершенствование, заключающееся в определении глубины погружения конуса при постоянной нагрузке (265 г). Точность определения глубины погружения составляла 5 мкм, ошибка метода не превышала 7 %.

В воздушно-сухую почву добавляли воду до содержания, соответствующего 0,8–0,9 наименьшей полевой влагоемкости. После этого готовили образцы так же, как при определении скорости диффузии, выдерживали необходимое время (до 5 суток) и определяли глубину погружения конуса. Результаты представлены на графике (рис. 12).

Из полученных данных видно, что в тепличном субстрате и торфяной почве глубина погружения конуса и, соответственно, прочность нарастают во времени. В дерново-подзолистой почве и черноземе прочность каркаса ОМГ заметно возрастает в течение первых суток, а затем начинает постепенно снижаться.

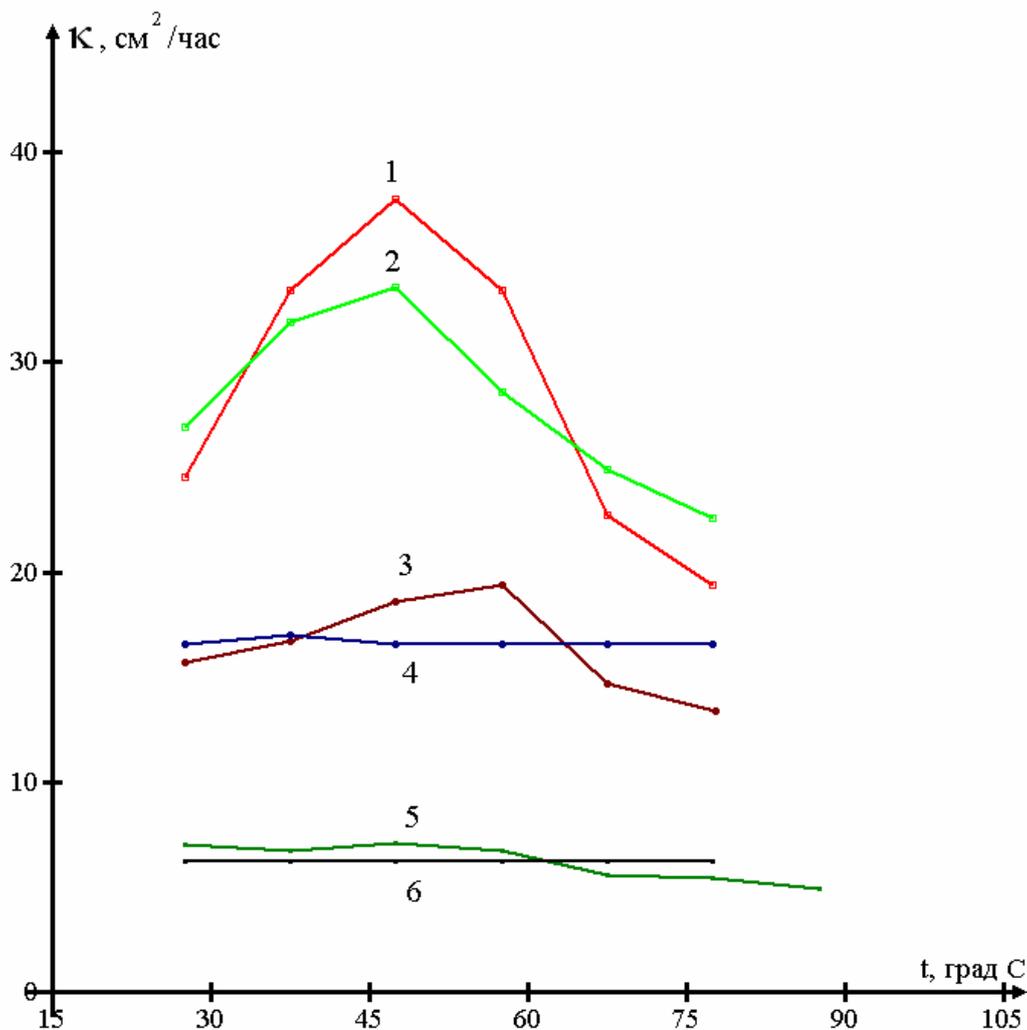


Рис. 11. Зависимость коэффициента температуропроводности почв от температуры.

- 1 – дерново-подзолистая почва с восстановленной структурой ОМГ;
- 2 – дерново-подзолистая почва ВС сразу после добавления воды;
- 3 – чернозём с восстановленной структурой ОМГ;
- 4 – чернозём ВС сразу после добавления воды;
- 5 – торфяная почва с восстановленной структурой ОМГ;
- 6 – торфяная почва ВС сразу после добавления воды

Нарастание прочности, связанное с увеличением площади контакта между почвенными агрегатами через органо-минеральный гель, в принципе ожидаемо. Понижение же прочности на дерново-подзолистой почве и на черноземе, по видимому, свидетельствует о процессах перестройки структуры ОМГ, приводящих к уменьшению количества связей в коллоидно-гелевой матрице. Можно предположить, что в структуре геля происходят процессы коагуляции (микросинерезис), что и приводит к уменьшению прочности.

В любом случае наличие временной зависимости структурно-механических свойств почв подтверждает точку зрения о влиянии структуры ОМГ на эти свойства почв.

Предлагаемый подход о вхождении почвенной влаги в состав структуры ОМГ и отсутствии свободного почвенного раствора при влажности почв ниже наименьшей влагоемкости воспринять достаточно трудно, так как каждый почвовед знает, что из почвы при влажности ниже наименьшей влагоемкости достаточно легко выжать почвенный раствор. Возникает вопрос: куда девается ОМГ?

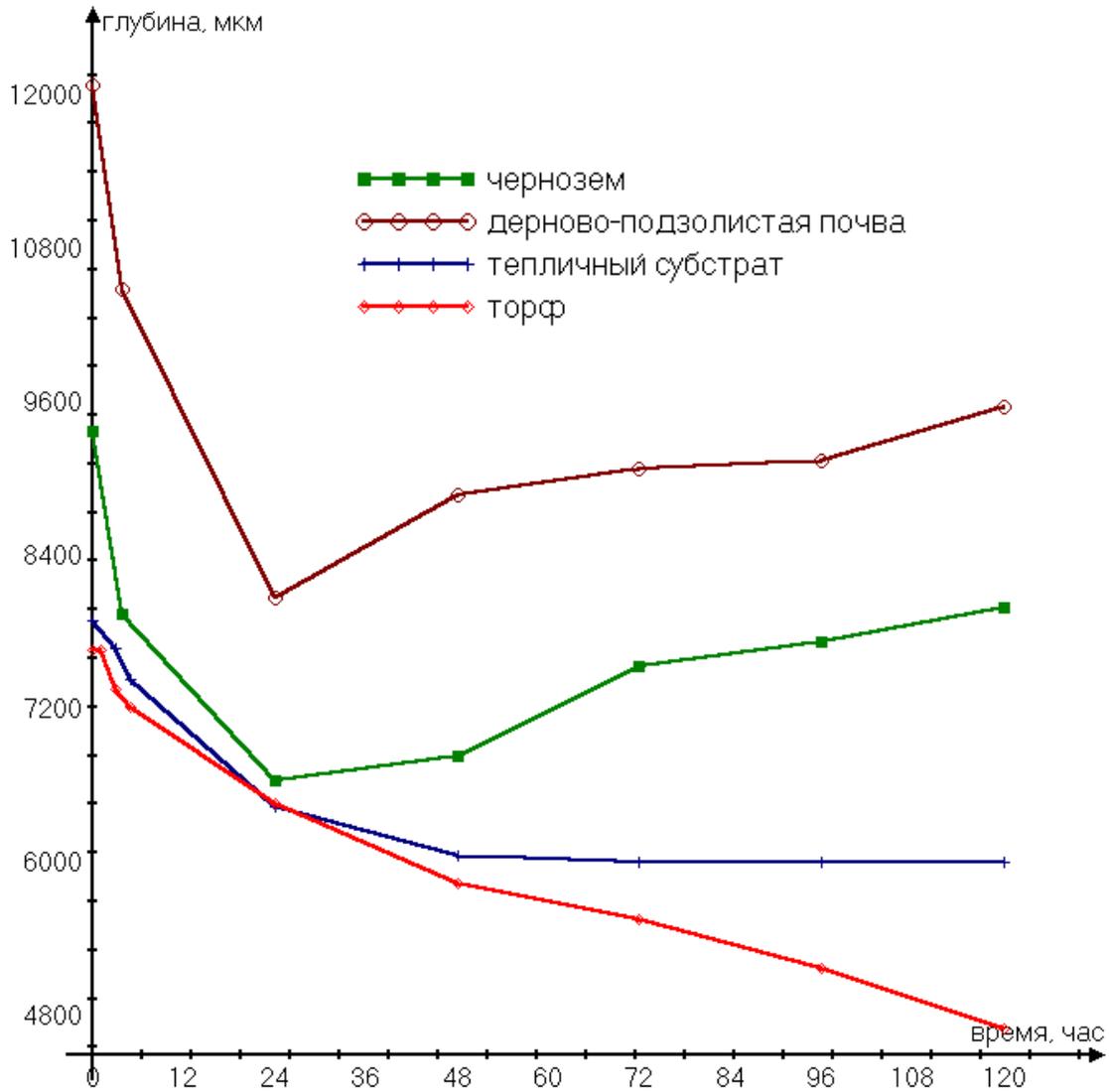


Рис. 12. Зависимость глубины погружения конуса Васильева от времени, прошедшего после добавления воды в воздушно-сухую почву

Мы задались вопросом: может ли одна и та же коллоидная система, при одной и той же концентрации дисперсной фазы быть то гелем, то золем? Фактически ответ на поставленный выше вопрос заключается именно в этом.

Явления тиксотропии хорошо известны, то есть фактор времени может переводить золь в гель, а механические воздействия гель в золь. При выдавливании из почвы почвенного раствора применяются механические воздействия, которые способны пе-

ревести гель в золь, выходящий из почвы в виде почвенного раствора.

Однако хорошо известно, что выжатый почвенный раствор не застудневает. Чем же отличается почвенный раствор в почве от почвенного раствора в сосуде? Только одним. В сосуде отсутствует значимое влияние стенок на коллоидную систему. В то же время известно, что в силовых полях – электрических, магнитных – наблюдается застудневание золь [8]. Известен также и эффект «стенки», когда на застудневание

золя или суспензии влияет размер сосуда, в котором они находятся.

При правильности предлагаемой концепции выжатый из почвы почвенный раствор в почве был в состоянии геля, а после удаления из почвы перешел в состояние золя. Следовательно, можно предположить, что помещение этого почвенного раствора в пространство между частицами приведет к его переходу в гелеобразное состояние и потере подвижности.

Таким образом, можно получить прямые однозначные экспериментальные доказательства желатинирования почвенных растворов и существования их в почвах в виде органо-минеральных гелей.

Были проведены эксперименты с использованием почвенного раствора выжатого из тепличного субстрата при давлении 20 атм. Его помещали в стеклянную трубочку диаметром 5 мм, конец которой был закрыт сеткой с размером отверстий 50 мкм. Туда добавляли стеклянные шарики диаметром 1 мм. Создавали в трубочке слой почвенного раствора с шариками высотой 3–4 см, над которым находился слой почвенного раствора высотой 1 см. Размер пор в такой системе намного превышает размер пор в почвах. После этого подсоединяли трубочку к капельной воронке и начинали пропускать через трубочку почвенный раствор со скоростью 3–5 мл/мин. Через каждые 3 минуты движение раствора через трубочку останавливали на 2–3 мин. Через 15 минут движение жидкости через систему полностью прекратилось, несмотря на то, что высота слоя жидкости над шариками составляла 10 см. При этом видимых изменений в системе не наблюдалось. Достаточно было перемешать шарики и движение жидкости восстанавливалось, но прекращалось уже через 1–2 мин.

Для подтверждения полученных результатов был проведен модельный опыт с золями канифоли. Через трубочку диаметром 25 мм, заполненную стеклянными шариками диаметром 1 мм (толщина слоя 10 см), пропускали золь канифоли концентрацией 250 мг/л. Скорость фильтрации со-

ставляла 5–6 мл/мин. Движение жидкости несколько раз останавливали. Через 15–20 минут движение прекращалось. Увеличение высоты слоя жидкости над шариками до 30 см не приводило к возобновлению движения. Гелеобразование было настолько сильным, что шарики с трудом можно было переместить друг относительно друга – структура приобретала прочность.

Еще одним свойством почвы, в котором должно ярко проявляться вхождение почвенного раствора в структуру ОМГ, на наш взгляд, является липкость. Суть методики определения липкости [13] заключается в приведении в контакт с почвой стального диска площадью 10 см². После этого диск выдерживают в контакте с почвой 30 секунд под нагрузкой 3 кг и определяют усилие его отрыва от почвы.

Рассмотрим предполагаемый механизм процесса. При соприкосновении диска с почвой начинается образование менисков между почвенными частицами и диском. Чем больше общая длина образовавшихся менисков при условии, что поверхностное натяжение жидкости одно и то же, тем больше усилие отрыва диска. Отметим, что поскольку время контакта диска с почвой ограничено, должны проявлять себя кинетические факторы, а именно скорость движения жидкости, которая зависит от вязкости жидкости. Следовательно, чем больше вязкость жидкости, тем меньше должна быть общая длина образующихся за 30 секунд менисков, и тем меньше должно быть усилие отрыва диска.

Представленные выше данные свидетельствуют, что при добавлении воды в воздушно сухую почву до содержания, соответствующего 0,8–0,9 НВ, происходит постепенное расширение каркаса ОМГ с включением в свой состав свободной жидкости. Поскольку вязкость геля значительно выше вязкости воды, можно ожидать, что скорость образования контактов жидкости между почвой и диском должна уменьшаться, а значит, от времени, прошедшего после добавления воды, должно уменьшаться и усилие отрыва диска.

Полученные данные полностью подтвердили наши предположения (рис. 13).

Следует отметить, что мы старались не повторить известные эксперименты с целью доказательства «явления», а обнаружить новые свойства почв, наличие которых вытекает из предлагаемого представления о них, или рассмотреть известные свойства почв «под таким углом», когда наличие структур ОМГ в почвах проявляет себя наиболее ярко.

Из хорошо известных свойств, для которых отсутствует корректное объяснение, но которые находят свое объяснение с предлагаемых позиций, следует выделить, прежде всего, гистерезис основной гидрофизической характеристики [3]. Заключается он в том, что влагоудерживающая способность при одной и той же влажности у высыхающей почвы выше, чем у увлажняемой почвы.

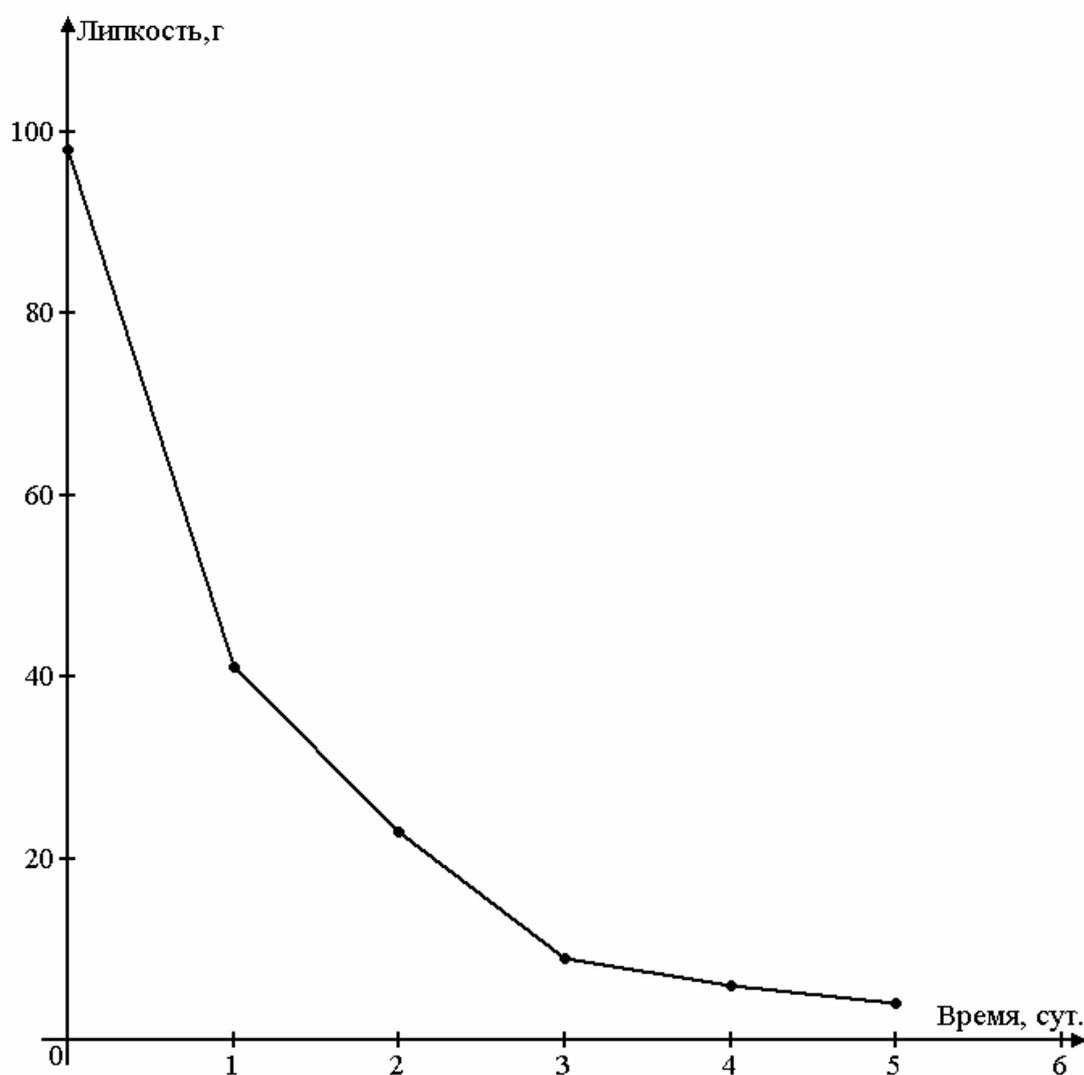


Рис.13. Зависимость липкости чернозёма от времени

С позиций наличия в почвах структур ОМГ, включающих в свой состав почвенную влагу, результат абсолютно естественный. В высыхающей почве удаление воды идет из структуры ОМГ, а в почвах, в которые вода добавлена, каркас ОМГ еще не расширился и не включил в свой состав всю попавшую туда воду. Поэтому ее энергия связи ниже.

Аналогично с предлагаемых позиций легко объяснить гистерезисные явления набухания-усадки в почвах [18] или уменьшение концентрации солей в выпрессовываемом из почв почвенном растворе при увеличении давления прессования [11].

Вполне понятным становится наличие в почвах пьезоэффекта [22]. Находит свое объяснение и обнаруженное нами смещение отрицательных зарядов по направлению движения воды в режиме неустановившейся фильтрации [16].

Предлагаемая концепция затрагивает очень большой спектр вопросов в почвоведении и изменяет сложившиеся представления о почвах. Она позволяет предсказать наличие в почвах новых, ранее неизвестных свойств и объясняет научные факты, которые до сих пор не находили своего объяснения.

Список литературы

1. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв и грунтов. М.: Высш. шк., 1973. – 400 с.
2. Вигнер Г. Избранные работы. – М.: Сельхозгиз, 1941. – 312 с.
3. Воронин А.Д. Основы физики почв. – М.: МГУ, 1986. – 244 с.
4. Гасанов А.М. Практикум по почвоведению. – М.: МГУ природообустройства, 2000. – 203 с.
5. Гедройц К.К. Учение о поглотительной способности почв. – Петроград: РИКНКЗ, 1922. – 56 с.
6. Глинка К.Д. Дисперсные системы в почве. – Л.: КПТТ Образование, 1924. – 79 с.
7. Дерягин Б.В., Чураев Н.В., Муллер В.М. Поверхностные силы. – М.: Наука, 1987. – 398 с.
8. Ефремов И.Ф. Периодические коллоидные структуры. – Л.: Химия, 1971. – 192 с.
9. Карпачевский Л.О. Экологическое почвоведение. – М.: МГУ, 1993. – 184 с.
10. Кройт Г.Р. Наука о коллоидах. – М.: ИЛ, 1955, 539 с.
11. Крюков П.А. Горные, почвенные и иловые растворы. – Новосибирск: Наука СО АН СССР, 1971. – 220 с.
12. Маттсон С. Почвенные коллоиды. – М.: Сельхозгиз, 1938. – 432 с.
13. Методическое руководство по изучению почвенной структуры / Под ред. И.Б. Ревута и А.А. Роде. – Л.: Колос, 1969. – 528 с.
14. Нерпин С.В., Чудновский А.Ф. Физика почвы. – М.: Наука. – 1967. – 584 с.
15. Ремезов Н.П. Почвенные коллоиды и поглотительная способность почв. – М.: Сельхозгиз, 1957. – 224 с.
16. Федотов Г.Н., Третьяков Ю.Д., Поздняков А.И. Возникновение остаточной поляризации при неустановившейся фильтрации через коллоидные почвенные структуры // Доклады Академии Наук. – 2003. – Т. 392. – № 3. – С. 350–355.
17. Федотов Г.Н., Третьяков Ю.Д., Поздняков А.И., Жуков Д.В., Пахомов Е.И. Роль органоминерального геля в формировании естественных электрических полей в почвах // Доклады Академии Наук. – 2003. – Т. 393. – № 4. – С. 497–500.
18. Физико-химическая механика природных дисперсных систем / Под ред. Е.Д. Щукина, Н.В. Перцова, В.И. Осипова, Р.И. Злочевской – М.: Изд. МГУ, 1985. – 266 с.
19. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии. – Л.: Химия, 1984. – 368 с.
20. Шейн Е.В., Архангельская Т.А., Гончаров В.М. и др. Полевые и другие методы исследования физических свойств и режимов почв. – М.: МГУ, 2001. – 200 с.
21. Bemmelen Van, J. M. Die Absorptionsverbindungen und das Absorptionsvermogen der Ackererde. L. Vers. St. 1888, Bd. 23.
22. Fedotov G.N., Tretyakov Yu.D. and Pozdnyakov A.I.. Residual Polarization as a Manifestation of Colloidal Structure of Soils // Eurasian Soil Science, Vol.35, suppl.1, 2002, pp. S130–S134.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОКСИЧНОСТИ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ РАЗЛИЧНЫХ ПОРОД

Б.Б. СЕРКОВ, *проф., начальник учебно-научного комплекса проблемы пожарной безопасности в строительстве Академии государственной противопожарной службы МЧС России, д-р. техн. наук,*

А.Б. СИВЕНКОВ, *начальник научно-исследовательского отдела проблем, профилактики в строительстве и сертификации Академии государственной противопожарной службы МЧС России, канд. техн. наук,*

Б.Д. ТХАНЬ, *адъюнкт Академии государственной противопожарной службы МЧС России,*

Р.М. АСЕЕВА, *проф., вед. научн. сотр. Института биохимической физики РАН, д-р хим. наук*

Древесина традиционно остается одним из наиболее применяемых материалов в строительстве. Несмотря на огромную значимость древесины, она обладает высокой горючестью, дымообразующей способностью и токсичностью продуктов горения. Сочетание сильной задымленности и токсичности дыма при возникновении пожара создает не только большую угрозу для людей, находящихся в зданиях, но и затрудняет проведение работ по спасанию людей и тушению пожара. Данные статистики показывают, что причиной гибели людей на пожарах в 50 % случаев является задымленность путей эвакуации и повышенная токсичность продуктов горения [1]. При этом до 80 % погибших зафиксировано в результате ингаляции токсичного дыма [2].

В настоящее время актуальным является исследование токсичности продуктов горения при термическом разложении и горении различных пород древесины, а также исследование закономерностей выделения различного рода токсикантов в режиме пламенного и беспламенного горения.

Целью настоящей работы является исследование токсичности продуктов горения и динамики выделения токсикантов при горении некоторых пород древесины, произрастающих в различных климатических условиях.

Для достижения поставленной цели необходимо было решение следующих задач:

– исследование токсичности продуктов горения хвойных и лиственных пород древесины, произрастающих в различных климатических условиях;

– исследование динамики выделения токсичных продуктов горения, в частности монооксида и диоксида углерода при испытаниях;

– определение влияния породы, условий произрастания, химического и элементного составов древесины на токсичность продуктов горения.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования были взяты образцы древесины 7 хвойных и лиственных пород России, из них 2 хвойные породы древесины (сосна, ель) и 2 лиственные породы древесины (береза «каменная», осина) из Северного региона России (г. Вологда), а 3 лиственные породы древесины (ильм карагач, дуб, липа) из Южного региона России (г. Сочи).

Токсичность продуктов горения определяли газоаналитическим методом по содержанию в образующейся атмосфере монооксида и диоксида углерода на установке по ГОСТ 12.1.044-89 [3] 4.20. Для определения концентрации монооксида углерода использовали анализатор ГИАМ -14 с диапазоном измерений от 0 до 1 %, а для CO₂ – прибор ГИАМ-14 с диапазоном измерений CO₂ от 0 до 5 %. Допустимая погрешность составляла 2 %.

При оценке токсичности продуктов горения различных пород древесины плотность радиационного теплового потока варьировала в диапазоне от 10,0 до 65,0 кВт м⁻². При испытании материалов на токсичность продуктов горения режим пламенного горения обеспечивается при задании на поверхности образца величины плотности теплового потока, равной 65,0 кВт м⁻², которая соответствует температуре 750 °С.

Показатель токсичности продуктов горения НСL₅₀ (в г м⁻³) рассчитывали с учетом известных средних значений летальных концентраций оксидов углерода, установленных по биоотклику животных на гибель 50 % из них. Для исследования были подготовлены образцы различных пород древесины стандартных размеров 60х60х5 мм.

Элементный состав образцов, высушенных до постоянного веса при температуре 105 °С, определяли на автоматическом приборе Карло Эрба 1106 С, Н, N, S анализаторе (Италия). Влажность исходных образцов оценивали обычным весовым методом, а также по данным термогравиметрического анализа на приборе Q-1500 при нагревании мелкоизмельченных образцов весом 50–100 мг на воздухе со скоростью 10 град. мин⁻¹.

Плотность (объемную массу) образцов древесины определяли исходя из их веса и геометрических размеров при нормальных комнатных условиях.

Теплоты сгорания для различных пород древесины были рассчитаны по резуль-

татам элементного анализа по формуле Д.И. Менделеева:

$$Q_n = 339,4C + 1257H - 108,9 \times (O + N - S) - 25,1(9H + W), \text{ Дж г}^{-1}, \quad (1)$$

где: *C, H, O, N, S* – % содержания элементов в составе древесины,

W – % содержания воды в образце.

Результаты исследования и обсуждение

Результаты определения элементного состава, плотности и влажности исследуемых пород древесины представлены в табл. 1.

Данные по элементному составу представлены процентным содержанием *C, H* и *O*. Содержание данных элементов в различных породах древесины отличается незначительно. Однако это отличие сказывается на важном показателе – теплоте сгорания, отражающей энергетику при горении материалов (табл. 2).

Лиственные породы древесины имеют меньшие значения теплоты сгорания по сравнению с хвойными породами. Это отличие связано непосредственно с содержанием в составе древесины высокоэнергетических веществ, в частности экстрагируемых веществ. Для хвойных пород древесины содержание данных веществ больше, чем для лиственных. Интересно отметить, что для пород древесины, произрастающих в южном регионе России, теплота сгорания ниже, чем для пород древесины северного региона.

Т а б л и ц а 1

Элементный состав, плотность древесины хвойных и лиственных пород из разных регионов России

№ п/п	Порода древесины	ρ, кг*м ⁻³	W, %	C,%	H, %	O, %
1	Ель	430	4,0	52,26	6,03	41,71
2	Сосна	450	4,0	52,17	6,03	41,80
3	Береза «каменная»	600	4,0	50,66	5,82	43,52
4	Осина	400	4,0	50,69	5,86	43,45
5	Дуб	570	4,0	50,40	5,77	43,74
6	Липа	490	4,0	50,28	5,54	44,08
7	Ильм карагач	620	4,0	50,32	5,52	44,06

Примечание: содержание азота (N) для всех пород древесины составляет в среднем 0,09 %

Содержание лигнина и экстрагируемых веществ и теплота сгорания для древесины хвойных и лиственных пород из разных регионов России

№ п/п	Порода древесины	Q_H , кДж $г^{-1}$	Лигнин + экстрагируемые в-ва, %
1	Ель	19,31	38,4
2	Сосна	19,27	37,6
3	Берёза «каменная»	18,35	28,5
4	Осина	18,41	29,0
5	Дуб	18,18	26,8
6	Липа	17,87	23,8
7	Ильм карагач	18,06	25,5

Примечание: содержание «лигнина + экстрагируемые вещества» определяли, используя зависимость, представленную в работе [4]

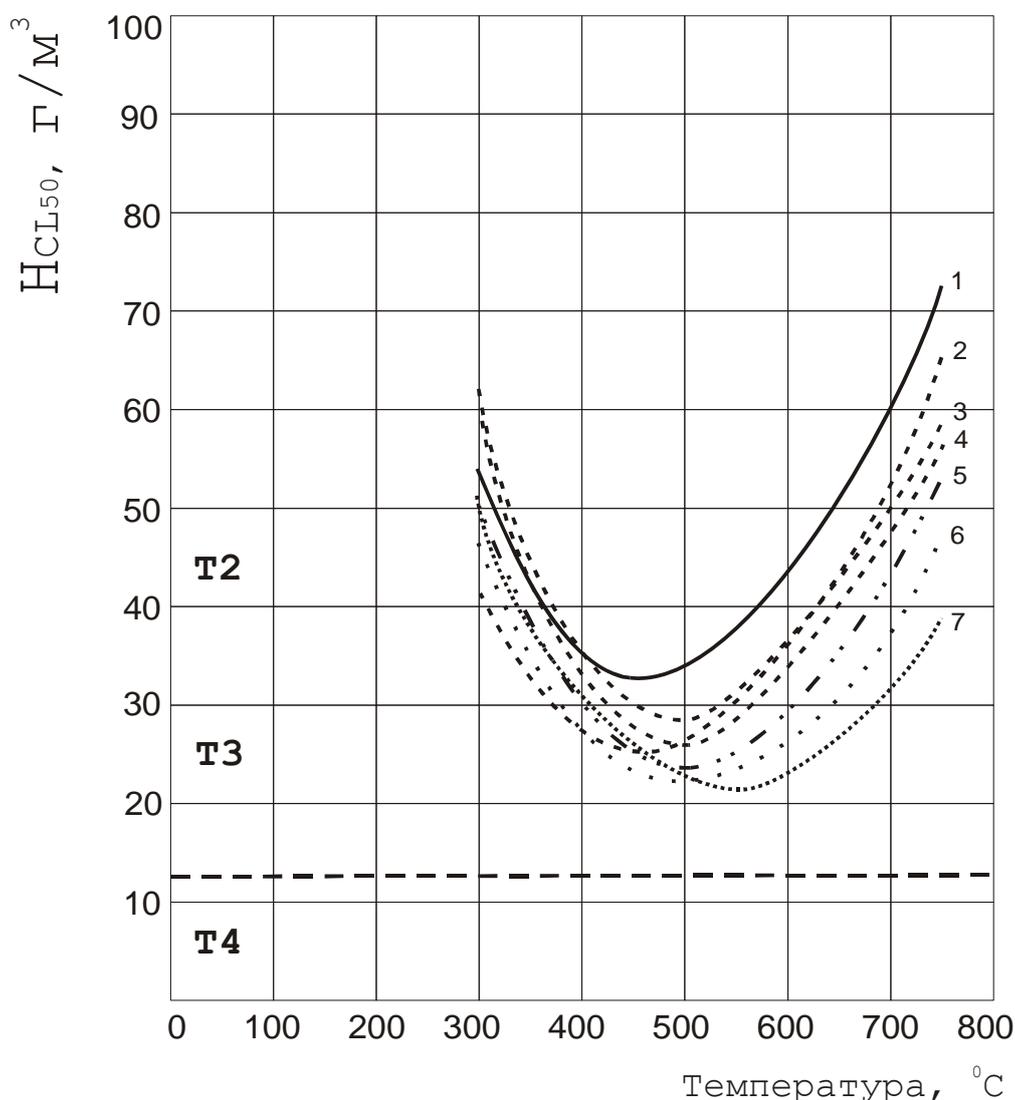


Рис. 1. Зависимость показателя токсичности продуктов горения при термическом разложении различных пород древесины от температуры при испытаниях по ГОСТ 12.1.044-89 п. 4.20.: 1 – липа (г. Сочи); 2 – береза «каменная» (г. Вологда); 3 – ильм карагач (г. Сочи); 4 – дуб (г. Сочи); 5 – осина (г. Вологда); 6 – сосна (г. Вологда); 7 – ель (г. Вологда)

Различия в химическом и элементном составе пород древесины непосредственно отражаются на токсичности продуктов горения. Сложный характер влияния породы древесины на токсичность продуктов горения обнаружен при изучении зависимости показателя токсичности от плотности внешнего теплового потока. На рис. 1. представлена зависимость показателя токсичности продуктов горения при термическом разложении различных пород древесины от температуры при испытаниях по ГОСТ 12.1.044-89. Данные результаты показывают, что все породы древесины относятся к материалам высокоопасным по токсичности продуктов горения (группа Т3). Показатель токсичности изменяется в пределах от 20 до 33 г/м³.

Наблюдаемая экстремальная зависимость показателя токсичности древесины от плотности теплового потока обусловлена тем, что при определенных значениях температуры при испытаниях происходит самовоспламенение образца.

В результате пламенного горения, интенсивность которого возрастает с увеличением температуры, токсичность продуктов горения образцов уменьшается. В режиме тления имеется наибольший выход токсичных продуктов горения, в частности монооксида углерода. Режимы тления для различных пород древесины находятся в диапазоне температур от 450 до 550⁰С. Меньшей токсичностью продуктов горения обладают лиственные породы древесины, независимо от места их произрастания. Критические тепловые потоки самовоспламенения древесины различных пород можно оценить по положению минимумов на кривых зависимости показателей N_{CL50} от температуры (рис. 1).

Интересно отметить, что показатель токсичности продуктов горения непосредственно связан с низшей теплотой сгорания различных пород древесины. На рис. 2 представлена зависимость показателя токсичности продуктов горения от низшей теплоты сгорания древесины. Установлено, что чем выше значения низшей теплоты сгорания древесины, тем меньше значение показателя токсичности продуктов горения. Таким образом, можно сделать вывод, что хвойные породы древесины (сосна и ель), имеющие значения низшей теплоты сгорания 19,27 и 19,31 кДж/г, имеют наименьший показатель токсичности и являются наиболее опасными по выходу токсичных продуктов горения по сравнению с лиственными породами древесины, что доказывается также результатами испытаний.

При исследовании токсичности продуктов горения материалов представляет интерес анализ изменения соотношения монооксида (СО) и диоксида углерода (СО₂) во время испытаний. Значения соотношений СО/СО₂ во время испытаний при температуре 500 °С представлены в табл. 3.

Как видно из представленных в таблице данных, изменение соотношения СО/СО₂ при испытаниях различных пород древесины имеет экстремальный характер.

Время достижения максимального значения соотношения для всех пород древесины при испытаниях составляет в среднем от 150 до 200 секунд, однако имеется отличительная особенность для северных и южных пород древесины. Для южных разновидностей древесины достижение максимального значения СО/СО₂ является по времени более продолжительным, чем для северных пород.

Т а б л и ц а 3

Изменение соотношения СО/СО₂ во время испытаний при температуре 500 °С

Порода древесины	Значение СО/СО ₂ при фиксированном времени испытания, с.						
	50	100	150	200	300	400	500
Сосна	0,400	0,428	0,583	0,529	0,428	0,326	0,316
Осина	0,250	0,375	0,433	0,357	0,245	0,236	0,217
Дуб	0,230	0,360	0,425	0,446	0,350	0,275	0,239
Ильм карагач	0,100	0,333	0,400	0,462	0,394	0,250	0,237

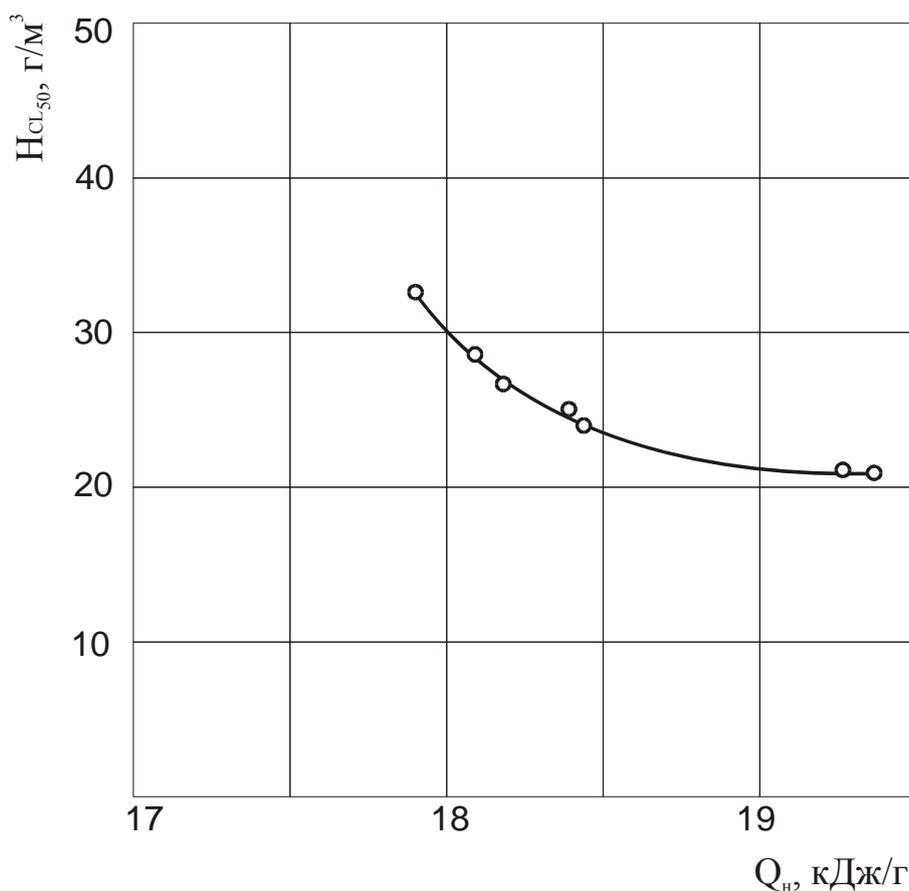


Рис. 2. Зависимость показателя токсичности продуктов горения от низшей теплоты сгорания различных пород древесины

Т а б л и ц а 4

Изменение соотношения CO/CO₂ во время испытаний при температуре 550 °С

Порода древесины	t, °С	τ _{с/в} , с.	Значение CO/CO ₂ при фиксированном времени испытания, с.						
			50	100	150	200	300	400	500
Сосна	550	68	0,125	0,159	0,071	0,080	0,093	0,097	0,100
Осина	550	57	0,076	0,107	0,048	0,044	0,059	0,066	0,067
Дуб	550	55	0,055	0,064	0,050	0,065	0,085	0,089	0,090
Ильм карагач	550	50	0,050	0,093	0,036	0,039	0,065	0,073	0,075

При увеличении температуры при испытаниях на 50 °С для всех пород древесины наблюдается самовоспламенение. Данные по изменению соотношения CO/CO₂ во время испытаний при температуре 550 °С приведены в табл. 4.

Представленные в таблице результаты, свидетельствуют о том, что для режима пламенного горения значения соотношений CO/CO₂ значительно меньше по сравнению с режимом беспламенного горения. Изменение данного соотношения во времени также имеет экстремальный характер, что объясняется большим образованием монооксида уг-

лерода до самовоспламенения образцов и возрастанием выхода диоксида углерода при их возгорании.

Максимальное значение CO/CO₂ для различных пород древесины достигается по времени одинаково, что определяется самовоспламенением исследуемых образцов. Значение времени возникновения самовоспламенения образцов древесины сосны больше, чем у разновидностей лиственных пород.

Установлено, что значения соотношений CO/CO₂ для хвойных пород древесины больше, чем для лиственных, независимо от их места произрастания.

Скорость образования монооксида и диоксида углерода (G_{CO} и G_{CO_2}) при испытаниях древесины различных пород при температуре 500 °С

Порода древесины	τ^* , с.	Скорость образования CO / CO ₂ при фиксированном времени испытания, с.					
		50	100	150	200	300	400
Сосна	210	<u>0,267</u>	<u>0,305</u>	<u>1,732</u>	<u>1,428</u>	<u>0,404</u>	<u>0,267</u>
		0,087	0,122	1,000	1,327	1,428	0,839
Осина	230	<u>0,087</u>	<u>0,680</u>	<u>1,000</u>	<u>1,110</u>	<u>0,305</u>	<u>0,194</u>
		0,363	0,577	0,832	1,191	0,753	0,344
Дуб	250	<u>0,069</u>	<u>0,509</u>	<u>1,376</u>	<u>1,000</u>	<u>0,839</u>	<u>0,305</u>
		0,140	0,344	0,404	0,700	1,070	0,363
Ильм карагач	260	<u>0,069</u>	<u>1,279</u>	<u>1,60</u>	<u>0,869</u>	<u>0,383</u>	<u>0,363</u>
		0,194	0,286	0,324	0,363	0,600	0,424

Примечание: τ^* – время достижения равных значений скоростей выхода монооксида и диоксида углерода; выделенные значения скоростей образования токсикантов являются максимальными

Большой интерес представляют данные по скоростям образования токсикантов монооксида и диоксида углерода. Имея данные по выходу CO и CO₂, можно вычислить скорости выхода данных продуктов по тангенсу угла наклона касательной в какой-либо точке графика.

В табл. 5 представлены данные по скоростям образования монооксида и диоксида углерода для различных пород древесины в режиме беспламенного горения при температуре 500 °С.

Представленные в табл. 5 данные по скоростям образования токсикантов, показывают, что по сравнению с лиственными породами древесины, древесина сосны имеет максимальные значения скоростей образования монооксида и диоксида углерода. Значения времени достижения равных значений скоростей образования монооксида и диоксида углерода, максимальные значения и время достижения максимальных значений данных токсикантов свидетельствуют о том, что хвойные породы древесины являются более опасными по токсичности продуктов горения. Кроме того, для древесины сосны одинаковый выход монооксида и диоксида углерода достигается быстрее, чем для исследуемых лиственных пород древесины (табл. 5).

В работе [5] было показано, что скорость тепловыделения непосредственно связана со скоростью выхода токсичных продуктов горения CO и CO₂. Можно сделать

вывод, что наибольшей скоростью тепловыделения обладают хвойные породы древесины. Оценка общего тепловыделения за определенное время позволяет утверждать, что хвойные породы по сравнению с лиственными быстрее выгорают, однако значение общего тепловыделения для лиственных пород древесины значительно больше, чем для хвойных разновидностей.

Таким образом, по результатам исследования установлено, что особенности выхода токсикантов и токсичность продуктов горения древесины во многом определяются, прежде всего, ее разновидностью, химическим и элементным составом, климатическими условиями произрастания.

Список литературы

1. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров / Под ред. Кошмарова Ю.А.– М.: Стройиздат, 1990 г. – 424 с.
2. Gann R.G., Babrauskas V., Peacock R.D., Hall J.R., Fire Condition for Smoke Toxicity Measurement // Fire and Materials, 1994, v.18, pp. 193–199
3. ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
4. Серков Б.Б., Сивенков А.Б., Тхань Б.Д., Асеева Р.М. Тепловыделение при горении древесины // Лесной вестник, Издательство Московского Государственного Лесного Университета, 2003 г. – № 5 (30) – С. 74–79.
5. Tewarson A. Experimental Evaluation of Flammability Parameters of Polymeric Materials, In: Flame Retardant Polymeric Materials, by Eds. M. Lewin, S.M. Atlas, E.M. Pearce, Plenum Press, New York, 1982, vol.3, pp. 97–153.

СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА КАРТОНА ИЗ ВТОРИЧНОГО ВОЛОКНИСТОГО СЫРЬЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВОГО ГИДРОФОБИЗИРУЮЩЕГО СОСТАВА НА ОСНОВЕ ТАЛЛОВЫХ ПРОДУКТОВ

С.М. ТАРАСОВ, *асп. каф. хим. технологии древесины и полимеров МГУЛа*

Применение вторичного волокнистого сырья (макулатуры) в производстве бумажно-картонной продукции в последнее время непрерывно возрастает в связи с его дешевизной, доступностью и относительной экологической безопасностью использования [1]. Однако вторичное волокно отличается пониженной бумагообразующей способностью. Поэтому для получения на его основе бумажно-картонной продукции с необходимыми качественными показателями нужна технология производства, способная обеспечить эти показатели. Такими ведущими зарубежными компаниями, как «Hercules», «BASF» и др., предлагаются подобные технологии, заключающиеся в использовании дорогостоящих химических добавок, вводимых в бумажную массу, однако их использование приводит к существенному повышению себестоимости продукции.

Перспективным направлением является разработка технологии, благодаря которой стало бы возможным производство высококачественной бумажно-картонной продукции из вторичного волокна при относительно невысокой ее себестоимости. Для этого обязательным условием является использование химических вспомогательных средств (ХВС). Их можно было производить бы в больших объемах в России, используя ее чрезвычайно богатую сырьевую базу.

Одним из таких ХВС является разработанный нами гидрофобизирующий состав на основе талловых продуктов, то есть сырья, которое как побочный продукт сульфатцеллюлозного производства производится в больших количествах, но имеет ограниченное применение в бумажной промыш-

ленности. Новый гидрофобизирующий состав успешно прошел лабораторные испытания и может быть использован для производства бумаги и картона при их формовании в широком диапазоне рН (4,2–7,5) [2].

Одним из факторов, определяющих эффективность подобных гидрофобизирующих составов, является способность дисперсных частиц, составляющих их основу, эффективно осаждаться и закрепляться на целлюлозном волокне. Для этого необходимо использование коагулянтов, в качестве которых выступают соединения алюминия [2]. Ранее автором были исследованы некоторые распространенные коагулянты, наиболее часто применяемые при производстве бумаги, в частности, сульфат алюминия, являющийся «классическим» коагулянтом для бумажной промышленности, а также полиоксихлорид алюминия – перспективный коагулянт, производство которого было освоено в России на московском предприятии ОАО «Аурат».[3]. Полиоксихлорид алюминия выпускается под торговым названием «Аква-Аурат».

Для испытания гидрофобизирующей эффективности разработанного состава с использованием различных коагулянтов была проведена серия лабораторных опытов, моделирующих технологический процесс производства бумажно-картонной продукции. Были изготовлены несколько серий лабораторных отливок картона массой 150 г/м² из 100 % макулатуры (смесь марок МС–6 и МС–7). Отливки картона изготавливались по четырем вариантам. Порядок введения химических добавок в бумажную массу и условия формования картона представлены в табл. 1.

Порядок введения химикатов в бумажную массу

№№ вариантов	Последовательность введения химикатов → (расход химикатов указан в кг/т продукции)								рН
	КК	NaКМЦ	КП	ГС	АА*	СА	ПАА-К	ПАА-А	
1	8	–	6	–	–	30	0,1	–	6,9
2	8	–	–	3	–	30	0,1	–	6,9
3	8	–	–	3	40	–	0,1	–	6,9
4	–	2	–	3	40	–	–	0,1	6,9

Условные обозначения: КК – катионный крахмал марки Hi-Cat 5163А; NaКМЦ – натрий карбоксиметилцеллюлоза; КП – канифольный клей-паста на основе полностью омыленной модифицированной канифоли; ГС – гидрофобизирующий состав; АА – «Аква-Аурат» (полиоксихлорид алюминия); СА – сульфат алюминия; ПАА-К – катионный полиакриламид; ПАА-А – анионный полиакриламид.

* Примечание. Расходы всех веществ указаны в пересчете на абсолютно сухое вещество, кроме «Аква-Аурата» – в таблице указан расход товарного раствора «Аква-Аурат-18».

Т а б л и ц а 2

Качественные показатели картона

№№ вариантов	Наименование показателя и единицы измерения				
	Поверхностная впитываемость по Кобб ₆₀ , г/м ²	Сопrotивление продавливанию, кгс/см ²	Разрушающее усилие, Н	Влагопрочность, [Н] [%]	
1	33	3,3	80	3	3,8
2	38	3,4	82	3	3,7
3	34	3,6	85	6	7,1
4	31	4,0	98	15	15,3

Т а б л и ц а 3

Стоимость химических добавок в 1 т картона при двух вариантах его производства

Вид химической добавки	Цена за 1 т, руб.	Базовый вариант		Предлагаемый вариант	
		Расход, кг/т	Стоимость в 1 т картона, руб.	Расход, кг/т	Стоимость в 1 т картона, руб.
КК	25 000	8	200	–	–
NaКМЦ	62 000	–	–	2	124
КП	19 000	6	114	–	–
ГС	15 000	–	–	3	45
СА	4 000	30	120	–	–
АА	6 500	–	–	40	260
ПАА-К	120 000	0,1	12	–	–
ПАА-А	100 000	–	–	0,1	10
Итого:			446		439

Качественные показатели картона, полученного по приведенным в табл. 1 вариантам, представлены в табл. 2. Эти показатели определялись по стандартным методам, принятым в бумажной промышленности. Их средние величины, представленные в табл. 2, были вычислены как средние показатели для 50 отливок картона в каждом из четырех вариантов.

Как видно из табл. 2, при замене клея-пасты (вариант 1), применяемого на некоторых бумажных предприятиях России,

на новый гидрофобизирующий состав (вариант 2) наблюдается некоторое снижение гидрофобности картона, определяемой по показателю поверхностной впитываемости (метод Кобб₆₀). Однако, если учесть, что нового гидрофобизирующего состава в бумажную массу вводилось в 2 раза меньше по сравнению с клеем-пастой, то гидрофобизирующая эффективность первого варианта почти в 2 раза выше. Прочностные же показатели картона при замене клея-пасты на новый гидрофобизирующий состав возраста-

ют, хотя и не очень значительно, что объясняется, очевидно, менее выраженным отрицательным влиянием гидрофобизирующего состава на межволоконное связеобразование по сравнению с клеем-пастой в связи с меньшим расходом первого.

При замене коагулянта – сульфата алюминия на полиоксихлорид (вариант 3) наблюдается некоторое повышение гидрофобных свойств картона, при этом значение поверхностной впитываемости картона в варианте 3 приближается к ее значению в исходном варианте 1.

При дальнейшем изменении технологических параметров, в частности, при замене катионного крахмала и катионного полиакриламида на соответственно NaKMЦ и анионный полиакриламид, наблюдается значительное возрастание всех основных качественных показателей картона (вариант 4). Это объясняется, очевидно, хорошей сочетаемостью вводимых в массу химических добавок – анионных NaKMЦ, ПАА, гидрофобизирующего состава с катионным полиоксихлоридом алюминия, способным эффективно осаждать эти вещества на отрицательно заряженном целлюлозном волокне. Таким образом, для производства рассматриваемого вида картона из 100 % макулатуры наиболее подходящей является технология, представленная в варианте 4.

Помимо качественных показателей готовой продукции, важными являются также экономические показатели ее производства. Для их анализа был произведен расчет стоимости химических добавок в 1 т картона в базовом производственном варианте (вариант 1) и предлагаемом (вариант 4), а также проведено сравнение этих вариантов с экономической точки зрения. Для расчетов были взяты закупочные цены на химикаты, поставляемые на некоторые бумажные фабрики: Караваевскую (Московская область) и Полотняно-заводскую (Калужская область). Данные приводятся на середину 2003 г. Производственные расходы, связанные с приготовлением рабочих растворов химических добавок и их использованием в технологическом процессе, не учитывались.

Как видно из табл. 3, стоимость химических добавок в 1 т картона в базовом и предлагаемом варианте существенно не отличается. Если исходить из текущих цен, то в предлагаемом варианте себестоимость 1 т картона снижается на 7 руб., что в пересчете на годовую производительность бумажной фабрики в десятки тысяч тонн картона может дать существенный экономический эффект.

Кроме того, данный расчет экономической эффективности не учитывает положительное влияние полиоксихлорида алюминия на удержание твердых частиц в сеточной части бумагоделательной машины, на его способность связывать анионные загрязнения и, таким образом, повышать чистоту производственной воды. Полиоксихлорид алюминия может поставляться на бумажные предприятия в виде концентрированных водных растворов «Аква-Аурат-10» и «Аква-Аурат-18», поэтому его использование не требует дополнительных затрат на их приготовление. С учетом перечисленных факторов экономический эффект при использовании разработанной технологии может быть намного более значительным по сравнению с рассчитанным.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что использование в технологии бумаги и картона новых химических добавок, в частности, нового гидрофобизирующего состава на основе талловых продуктов и полиоксихлорида алюминия («Аква-Аурата»), является достаточно перспективным для российской целлюлозно-бумажной промышленности.

Список литературы

1. Papermaking Science and Technology. Book 7: Recycled Fiber and Deinking. – TAPPI Press, 1998.
2. Крылатов Ю.А., Ковернинский И.Н. Проклейка бумаги. – М.: Лесная промышленность, 1987.
3. Тарасов С.М., Ковернинский И.Н., Азаров В.И. Новый высокосмоляной клей на основе продуктов переработки таллового масла // Научные труды 3-ей Международной научно-технической конференции «Создание конкурентоспособного оборудования и технологий для изготовления бумажно-картонной продукции из вторичного волокнистого сырья», 15–17 мая 2002 г., Караваево – Правдинский, 2002.

ФОРМИРОВАНИЕ СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬЮ ОРГАНИЗАЦИИ (ПРЕДПРИЯТИЯ)

Г.П. БУТКО, *проф. УГЛТУ, д-р экон. наук,*
Л.А. ПЕРЕПЕЛКИНА, *доц. УГЛТУ*

Разработка стратегии управления конкурентоспособностью предприятий лесного сектора была и остается одной из важнейших, но не решенных проблем.

Непродуманные и непросчитанные по своим последствиям реформы 90-х годов, привели к системному кризису в экономике страны. Крайне негативно он отразился и на лесопромышленном комплексе. Значительно сократились объемы заготовки древесины, производства лесобумажной продукции и, как следствие, снизились эффективность и конкурентоспособность лесопромышленного комплекса.

Современный этап развития подтверждает, что ни одна структура в России не занимается решением проблем повышения конкурентоспособности. Стратегическое планирование развития страны (образования, научно-технического, экономического, социального и других направлений) утратило системность.

Серьезной проблемой лесопромышленного комплекса является структурная перестройка, модернизация производства. Для решения этого вопроса необходим соответствующий научно-технический, инновационный задел.

Формирование системы устойчивого развития лесного сектора требует объективного осмысления данного понятия; при этом необходимо различать идеологический (наиболее распространенный в настоящее время) и научный подходы.

В связи с этим разработка экономической стратегии вывода из кризиса, управления затратами предприятий лесопромышленного комплекса в настоящее время имеет актуальное значение.

Понятие конкурентоспособности предприятия весьма сложное и трактуется далеко не однозначно. В общем виде конкурентоспособность предприятия может быть определена как сравнительное преимущество по отношению к другим предприятиям данной отрасли внутри страны и за ее границами.

Конкурентоспособность организаций (предприятий) характеризует их экономическое состояние и положение в рыночных условиях, способность успешно функционировать в рыночной среде, осуществлять эффективное расширенное воспроизводство и добиваться поставленных стратегических и тактических целей. Конкурентоспособным является то предприятие, которое устойчиво является рентабельным, получает необходимую прибыль, успешно решает задачи укрепления материально-технической базы и достижения целей технической, организационной, социальной, ценовой, ассортиментной политики.

Конкурентоспособное предприятие может расширять свою рыночную нишу, успешно противодействовать конкурентам, полнее удовлетворять потребность покупателей.

Предприятия лесопромышленного комплекса (ЛПК) Уральского региона можно разделить на экспортеров и ориентированных на внутренний рынок. Экспортеры: ОАО «Лобва», ЗАО «Фанком», ОАО «Лялялес», ОАО «Тагиллес», Юшалинский ДОК, ОАО «Яйвинский ЛПК» и ряд леспромхозов, поставляющих, в основном, круглый лес либо напрямую на экспорт, либо через сбытовые организации (ПО «Свердлес», АОЗТ «Свердлеспром», Уральскую лесопромыш-

ленную компанию и др.). Крупнейшие предприятия-поставщики продукции на внутренний рынок: Туринский и Новолялинский целлюлозно-бумажные комбинаты, Алапаевская лесопромышленная компания, Серовский энерголесокомбинат и другие.

За исследуемый период (1999–2001 гг.) высокие темпы роста (в среднем 80–100 % в год) демонстрировали практически все ведущие предприятия. Исключение составил крупнейший производитель фанеры ЗАО «Фанком», который несколько снизил объем продаж в 2000 г. Это связано с ухудшением конъюнктуры основного для «Фанкома» рынка – североамериканского. Подчеркнем, что в 1992 г. все предприятия лесопромышленного комплекса находились на одинаковых стартовых позициях. В постсоветский период от 15 до 35 % предприятий от общего их числа являлись планово-убыточными. Незначительное в 2000 г. расслоение предприятий по финансовым результатам в 2001 г. может трактоваться как существенное. Это расслоение обусловлено усилением двух долгосрочных тенденций, действующих на рынке с 1998 г.: во-первых, ухудшением конъюнктуры мирового рынка лесоматериалов, усиленным ростом тарифов на железнодорожные перевозки и энергоносители; во-вторых, расширением внутреннего спроса на бумагу, упаковку, мебель, стройматериалы. Соотношение двух этих тенденций и будет определять будущий облик и российского лесопромышленного комплекса в целом, и Уральского в частности.

Объем промышленного производства в целом по Уральскому региону составляет 13–15 % от общероссийских показателей. Внутри региона ведущую роль по объемным показателям играет Свердловская область (примерно половина региональных объемов с показателем, приближающимся к 4 % от общероссийского), затем следует Челябинская область (около 3 %), республика Башкортостан (показатель приближается к 3 %), Пермская область (2,5 %) [3]. По характеристикам оптового рынка и розничного товарооборота на первом месте находится

Свердловская область, затем следуют республика Башкортостан и Пермская область.

Соотношение областей Уральского региона по экспорту, импорту и обороту подтверждает, что на протяжении ряда лет постперестроечного периода развития Свердловская область занимает лидирующие позиции по отношению ко всем областям Урала, опережая своих соседей – Челябинскую и Пермскую области.

Структура лесопромышленного комплекса [1] России по формам собственности (по товарной продукции) в 2000 г. такова:

Государственная – 7,1 % (4,5 %)

Муниципальная – 0,4 % (0,5 %)

Частная – 41,0 % (56,5 %)

Смешанная без иностранного участия – 26,0 % (22,5 %)

Смешанная с иностранным участием – 25,0 % (15,5 %)

Собственность общественных организаций – 0,4 % (0,5 %)

Для достижения конкурентоспособности предприятию необходимо производить больше пользующейся рыночным спросом продукции лучшего качества с меньшими издержками. Решение всех этих задач выполнено на основе большего объема статистической информации по Уральскому региону. Конкурентный статус предприятия определяется уровнем капиталовложения с учетом инновационных процессов, гибкостью проработанной стратегии и степенью возможностей производственного потенциала организации. Такая постановка проблемы обоснована учеными лесоэкономистами М.И Кнышем и др. [2, 3, 4]. Нами конкретизируется методика определения конкурентного статуса предприятия. Проанализированы: область маркетинга, инновационный потенциал, налаженность сбыта продукции, организация ВЭД и др. (рис. 1). Для определения конкурентной среды выбраны основные конкуренты предприятия и исследованы ключевые факторы успеха. Оценка проводилась по пятибалльной системе. Значение оценок: «5» выставляется, если фактор проявляется постоянно; «4» – если фактор проявляется почти всегда; «3» – количество

проявлений и непроявлений фактора одинаково; «2» – фактор проявляется редко; «1» – фактор проявляется очень редко.

Результаты анализа конкурентных сил на примере средневзвешенной оценки пяти объектов исследования показали размер преимуществ и недостатков, выраженный разницей между собственной оценкой предприятия и оценками его конкурентов. Диаграмма конкурентного статуса предприятий региона, полученная после обработки данных по нашей методике, представлена на рис. 1.

Конкурентоспособность продукции ЛПК Уральского региона на мировом рынке, в основном, поддерживается низкими ценами на сырье и рабочую силу, т. е. преимуществами первого порядка, основным недостатком которых является их малая устойчивость, неспособность обеспечить преимущество в конкуренции на длительную перспективу.

Повышение конкурентного статуса на основе преимуществ первого порядка для Среднего Урала дополнительно ограничено его географическим расположением. Высокая материалоемкость промышленной продукции является причиной увеличения доли транспортных затрат в цене. При среднем уровне в 16 % по отдельным группам това-

ров транспортная составляющая колеблется от 30 до 50 % (сырье и строительные материалы). При перевозке отдельных партий лесных товаров и тяжеловесного крупногабаритного оборудования на дальние расстояния транспортные затраты могут превысить как цену этого оборудования, так и цену лесных товаров.

Взаимосвязи различных критериев на каждом уровне системы управления выявлены с помощью системы графов. Для исследования взаимозависимостей критериев соответствия определен ряд таксономий, отображающий переход от постановки задачи к набору показателей в зависимости от уровня системы управления, целей, функций и методов принятия решений. Плоскость, образуемая осью *X* (уровни управления) и осью *Y* (конкурентный статус организации), представлена следующим образом (табл. 1).

Каждое значение матрицы *XU* представляет задачу управления, определяемую уровнем системы управления и соответствующим КСО – по мере достижения определенной задачи управления по функциям трансформируются и определяются плоскостью, образуемой осями *X* (функции) и *Z* (цели).

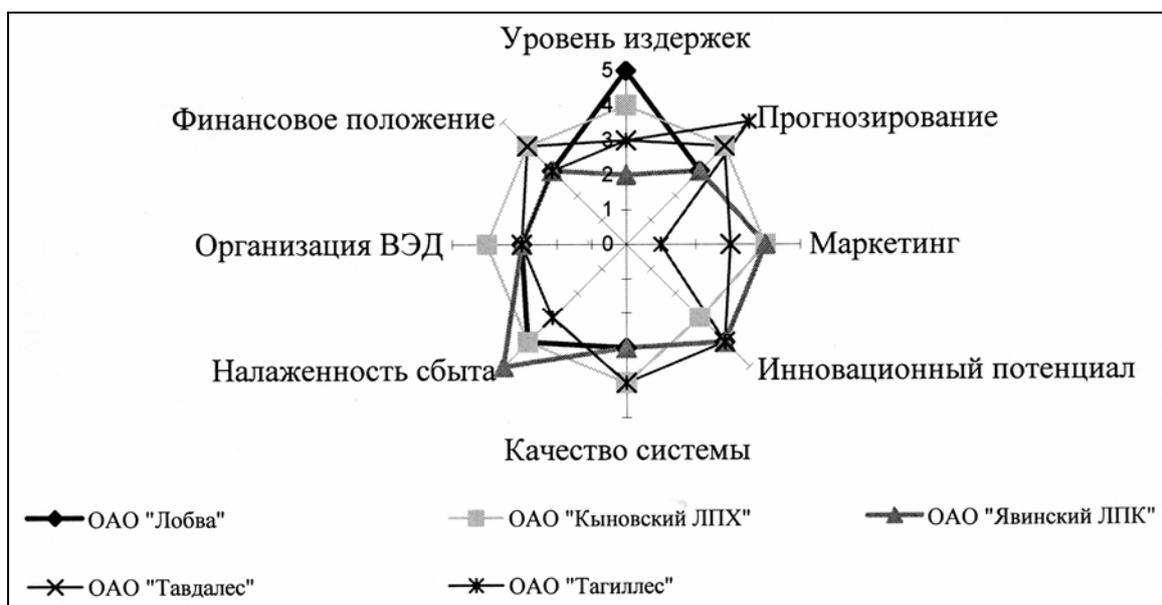


Рис. 1. Диаграмма конкурентного статуса организаций Уральского региона

Матрица XY конкурентный статус организации (КСО) – уровни управления

КСО	Уровни управления	высший	средний	низший
		Y ₁	Y ₂	Y ₃
Уровень издержек	X ₁	X ₁ Y ₁	X ₁ Y ₂	X ₁ Y ₃
Прогнозирование	X ₂	X ₂ Y ₁	X ₂ Y ₂	X ₂ Y ₃
Финансовое положение	X ₃	X ₃ Y ₁	X ₃ Y ₂	X ₃ Y ₃
Организация ВЭД	X ₄	X ₄ Y ₁	X ₄ Y ₂	X ₄ Y ₃
Маркетинг	X ₅	X ₅ Y ₁	X ₅ Y ₂	X ₅ Y ₃
Инновационный потенциал	X ₆	X ₆ Y ₁	X ₆ Y ₂	X ₆ Y ₃
Надежность сбыта	X ₇	X ₇ Y ₁	X ₇ Y ₂	X ₇ Y ₃
Качество системы	X ₈	X ₈ Y ₁	X ₈ Y ₂	X ₈ Y ₃

Выбор формы организации производства до проводимых правительственных (1992 г.) реформ не зависел от точки зрения специалистов предприятия. Трансформация типа предприятия в процессе функционирования и реорганизация, как правило, предварительно технико-экономически обосновалась в централизованном порядке.

Конкурентная борьба среди лесопромышленных предприятий имеет спонтанный, либо «латентный» характер. Между леспромхозами, как правило, не существует резких разногласий относительно рынков сбыта. Случаи поглощения одного лесозаготовительного предприятия другим, приводящие к наращиванию объемов вывозки древесины у «лидера» фактически не наблюдались. Анализ данных о работе 37 наиболее развитых лесопромышленных предприятий Уральского региона подтверждает тенденцию повсеместного падения объема вывозки древесины. К 1997 г. одновременно оказались банкротами 17 предприятий отрасли.

С целью повышения своей конкурентоспособности предприятие должно постоянно, оперативно и глубоко изучать рыночную конъюнктуру, получать и анализировать информацию о состоянии и динамике спроса, предложения, цене, ассортимента и качества реализуемых товаров, конкурентов и др. Наряду с информацией по состоянию и изменению рыночной конъюнктуры предприятиям необходимо постоянно и оперативно получать информацию о других субъектах и в действительности внешней среды, которая является

основным источником риска и неопределенности функционирования организаций.

Необходимо создание организационной основы для формирования информационной инфраструктуры как для внутриотраслевых целей лесопромышленного комплекса (ЛПК), так и для международного делового сотрудничества с целью переориентации отраслей лесопромышленного комплекса с сырьевой направленности экспорта на конечную продукцию. Необходимы:

- разработка маркетинговой карты и карты КСП, включающей в себя производителей, номенклатуру производимой и реализуемой продукции, базы оптовой и розничной торговли, динамику цен и рекламации и другие конъюнктурные данные;
- организация и проведение индикативного планирования и прогнозирования развития внутрироссийского и международного рынка товаров ЛПК;
- разработка стратегии независимой экспертизы проектов и программ, требующих государственной поддержки по ЛПК;
- создание федерального и регионального регистра промышленной и коммерческой информации по ЛПК;
- формирование системы экономического мониторинга в стратегических региональных зонах;
- формирование и реализация инструментов заключения межотраслевых и межрегиональных соглашений по ценовым паритетами, а также подготовка предложений в области многоотраслевых соглашений по ценообразованию и доходов между ассоциа-

циями, государством, холдингами, ФПГ, АО, объединениями, коммерческими структурами и потребителями;

- внедрение инструмента эквивалентных поставок на сбалансированной основе, расчет по которой осуществляется исходя из уровня цен мирового рынка, в целях взаимовыгодности в торговле;

- создание инфраструктуры, обеспечивающей продвижение инноваций на промышленный рынок и их коммерциализацию.

При оценке конкурентоспособности, демонстрируемой фирмами, отдельными предпринимателями, необходимо учитывать, удалось ли им добиться высокой прибыли без ухудшения макроэкономической ситуации, нацелена ли конкурентная деятельность по сравнению с максимизацией прибыли на реализацию нужд потребителей.

Для этого необходима оценка эффективности функционирования системы качества, проводимая раз в полгода, но не реже одного раза в год.

Обработанные и систематизированные данные анализируют и намечают мероприятия по совершенствованию системы. По назначениям коэффициентов определяют ее работоспособность в целом и отдельных функций управления качеством. На основе анализа выявляют причины слабой работы отдельных функций (табл. 2):

Недостаточно полно разработана документация;

Низкая степень использования различными подразделениями нормативных документов, касающихся системы;

Слабое использование принципов механизма управления и специальных функций управления конкурентоспособностью.

На основе оценки эффективности функционирования системы можно наметить конкретные направления работы организации:

- определить стратегию и тактику в области конкурентоспособности и качества;

- совершенствовать систему управления конкурентоспособностью качеством.

Коэффициент эффективности системы может быть использован для:

- оценки работоспособности системы в целом и ее элементов;

- выявления слабо работающих функций системы;

- анализа и принятия конкретных мер по совершенствованию системы;

- разработки плана организационно-технических мероприятий по обеспечению конкурентоспособности и качества на год;

- распределения функциональных обязанностей, прав и повышения ответственности по вопросу качества лесопромышленного комплекса между руководителями, специалистами и подразделениями.

В целях управления конкурентоспособностью и для принятия грамотных стратегических решений по выпуску ДВП, ДСП, МДФ, пиломатериалов в объеме величины спроса на них целесообразно использовать модель прогнозирования спроса с помощью логистической функции, которая базируется на результатах надежных маркетинговых исследований.

Т а б л и ц а 2

Функции управления конкурентоспособностью

№ п/п	Функции управления конкурентоспособностью	Ответственный отдел за реализацию функции	Фактическая оценка (балл)	$K_{\Phi i}$
1	Формирование и проведение политики в области конкурентоспособности	Высшее руководство	5	0,4
2	Документирование системы конкурентоспособности	Служба управления конкурентоспособностью	8	0,7
3	Проведение внутреннего аудита	То же	7	0,5
4	Планирование конкурентоспособности	То же	4	0,3
5	Мотивация обеспечения конкурентоспособности	Отдел труда и зарплаты	9	0,5

Данная модель представляет следующую зависимость спроса от времени:

$$y = \frac{Q \cdot y_m}{y_m + (Q - y_m) \cdot e^{-K \cdot Q(t-m)}}, \quad (1)$$

где t – время;

y – обеспеченность продукцией, в регионе, м³;

Q – насыщенность ДВП, ДСтП, пиломатериалами, м³;

y_m – обеспеченность продукции в текущий период времени, м³;

K – коэффициент пропорциональности.

Стратегию управления конкурентоспособностью и прогнозы спроса получаем при подстановке в эту формулу значений $t > m$.

Модель определения требуемой цены на продукцию необходимо дополнить зависимостью для ограничения, учитывающего региональную специфику. Весьма актуальным является использование экономико-математической модели влияния изменения цен на электроэнергию и круглый лес в издержках на объемы продукции. На основе данной модели руководители могут оперативно разрабатывать эффективные управленческие решения. Необходимы оценка структуры затрат и анализ себестоимости различных видов пиломатериалов. Так как переменные и постоянные затраты имеют разные тенденции для каждого вида пиломатериалов, то необходим оперативный учет затрат с делением их на переменные и по-

стоянные для рационального управления производством в лесопилении. Для принятия стратегических управленческих решений на основе анализа спроса и предложения к деятельности цехов лесопиления с учетом их отраслевой и региональной специфики предлагается использование экономико-математического моделирования с целью повышения эффективности оперативных решений в управлении экспортоориентированными организациями региона. В целях управления конкурентоспособностью и для принятия грамотных стратегических решений по выпуску ДВП, ДСП, МДФ, пиломатериалов в объеме величины спроса на них целесообразно использовать модель прогнозирования спроса с помощью логистической функции, которая базируется на результатах надежных маркетинговых исследований.

Список литературы

1. Бурдин Н.А. и др. Лесопромышленный комплекс: Состояние, проблемы, перспективы. – М.: МГУЛ. 2000. – 473 с.
2. Бутко Г.П. Стратегия обеспечения конкурентоспособности предприятий лесного комплекса. Монография.– Екатеринбург: УГЛТА, 1999. – 227 с.
3. Бутко Г.П. Стратегия управления конкурентоспособностью предприятий лесопромышленного комплекса региона Монография. – Екатеринбург: УрО РАН. 2002. – 200 с.
4. Кныш М.И. Конкурентные стратегии: Учебное пособие. – СПб. 284 с.

ЛОГИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛЬНЫМИ ЗАПАСАМИ В ЛЕСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В.В. САНАЕВ, *асп. МГУЛа*

Логистика представляет собой новый подход к товародвижению в сферах производства и обращения, противопоставляющий практике раздельного управления операциями в этих сферах методику управления, согласно которой все операции в логистической системе планируются, реализуются и контролируются в рамках единой организационно-управленческой системы.

Современная индустриальная экономика характеризуется интенсивными интеграционными процессами, возникающими как ответная реакция со стороны предприятий на усиливающееся давление внешних конкурентных факторов и случайные воздействия окружающей социально-экономической среды.

В современных рыночных условиях предприятия лесной промышленности все

чаще связывают перспективы своего выживания в конкурентной борьбе с налаживанием сотрудничества с многочисленными и разнообразными партнерами, в результате которого формируются как бы единые экономические, технологические и организационные условия для хозяйственной деятельности всех участников объединения. В индустриально развитых странах наблюдается усиливающаяся тенденция к замене традиционных рыночных операций обмена различными формами сотрудничества между фирмами. Одной из форм такой организации межфирменного взаимодействия является логистическая цепь. Возможная структура логистической цепи представлена на рис. 1.

Логистическая цепь как особая форма координации производства и межпроизводственного взаимодействия имеет ряд специфических характеристик. Перечислим эти характеристики: все участники логистической цепи ориентированы на достижение единой стратегической цели – доставку конечному потребителю нужной продукции нужного качества в нужном месте и в нужное время при минимальных издержках; выбор стратегии развития всей логистической цепи основывается на учете интересов всех ее участников и на принципах взаимной выгоды; возникающие противоречивые интересы участников логистической цепи согласуются с учетом глобальных логистических целей; основой тесного взаимодействия всех участников логистической цепи являются материальные и соответствующие им информационные и финансовые потоки; успешное осуществление хозяйственной деятельности каждым участником логистической цепи зависит от надежного и всестороннего обмена информацией, а также ее совместного генерирования и использования, т. е. для логистической цепи имеет место информационное единство; все участники логистической цепи стремятся к обеспечению ее стабильности, надежности и безопасности.

Организация взаимодействия между предприятиями лесного комплекса в форме логистической цепи дает возможность этой группе участников эффективно воздействовать

на рынок посредством управления всем производственно-распределительным циклом из единого центра и обеспечивает ей существенные преимущества. К таким стратегическим преимуществам относятся:

- снижение издержек на отдельные логистические операции, выполняемые лесопромышленными предприятиями, а также снижение совокупных логистических издержек на весь логистический цикл «Снабжение – Производство – Сбыт»;
- усиление специализации отдельных участников логистической цепи на тех видах работ или услуг, которые являются ключевыми в обеспечении их конкурентных преимуществ; повышение гибкости и надежность функционирования такой системы;
- снижение предпринимательского риска для каждого из участников этого объединения.

Таким образом, объединение отдельных предприятий в единый согласованный механизм приводит к возникновению организационного, технологического, экономического и информационного единства потоковых процессов, что создает предпосылки для применения логистического подхода.

Принципиальное отличие логистического подхода от традиционных методологических подходов к управлению материало-потоками состоит в том, что концепция логистики предполагает интеграцию отдельных звеньев материалопроводящей цепи в единую систему, способную адекватно реагировать на возмущения внешней среды.

В отличие от классических методов управления специализированными хозяйственными системами или отдельными функциями и участниками внутри хозяйственных систем логистика позволяет осуществлять скоординированное управление материальными, информационными и финансовыми потоками, обеспечивая их синхронность и высокие конечные результаты деятельности всех участников товародвижения.

Суть логистического подхода состоит в том, что потоковые процессы, протекающие между участниками логистической цепи, рассматриваются как некая системная

целостность, а оптимизация такой системы осуществляется на основе глобального (общесистемного) критерия достижения цели.

В условиях современного рынка, ориентированного на потребителя, наблюдается тенденция расширения номенклатуры конечной продукции и значительного ускорения темпов ее обновления. В условиях острой конкурентной борьбы это требует от предприятий лесной промышленности постоянного внимания к вопросам обновления ассортимента, обеспечения многообразия вариантов конечной продукции, их соответствия требованиям рынка. Методы логистики позволяют решить проблему диверсификации производства и адаптироваться к изменившимся рыночным условиям с незначительным увеличением числа позиций материального потока и возрастанием издержек на логистические операции.

Управление материальным потоком из единого центра позволяет оперативно регулировать продвижение материалопотока, контролировать запасы материальных ресурсов в промежуточных звеньях логистической цепи по номенклатуре и количеству. Оно гарантирует обеспечение потребителя

необходимыми материальными ресурсами в течение заданного промежутка времени вне зависимости от возникающих недопоставок, нарушений сроков доставки и прочих неблагоприятных обстоятельств и повышает надежность логистической системы.

Применение логистического подхода предполагает высокий уровень механизации и автоматизации выполнения логистических операций, что также улучшает условия труда персонала, занятого на этих операциях и требует его более высокой квалификации.

Логистическая деятельность должна осуществляться с учетом возможных неблагоприятных воздействий на окружающую среду, что в первую очередь предполагает разработку мероприятий по использованию и утилизации отходов, разработку и использование экологически безопасной упаковки, а также общий контроль за решением природоохранных задач в логистической цепи.

Рассматривая логистику в двух аспектах: как новую научную дисциплину и как направление хозяйственной деятельности, целесообразно также разделить соответственно тому или другому аспекту и стоящие перед логистикой задачи (рис. 2).



Рис.1. Взаимодействие участников логистической цепи на предприятиях лесного комплекса

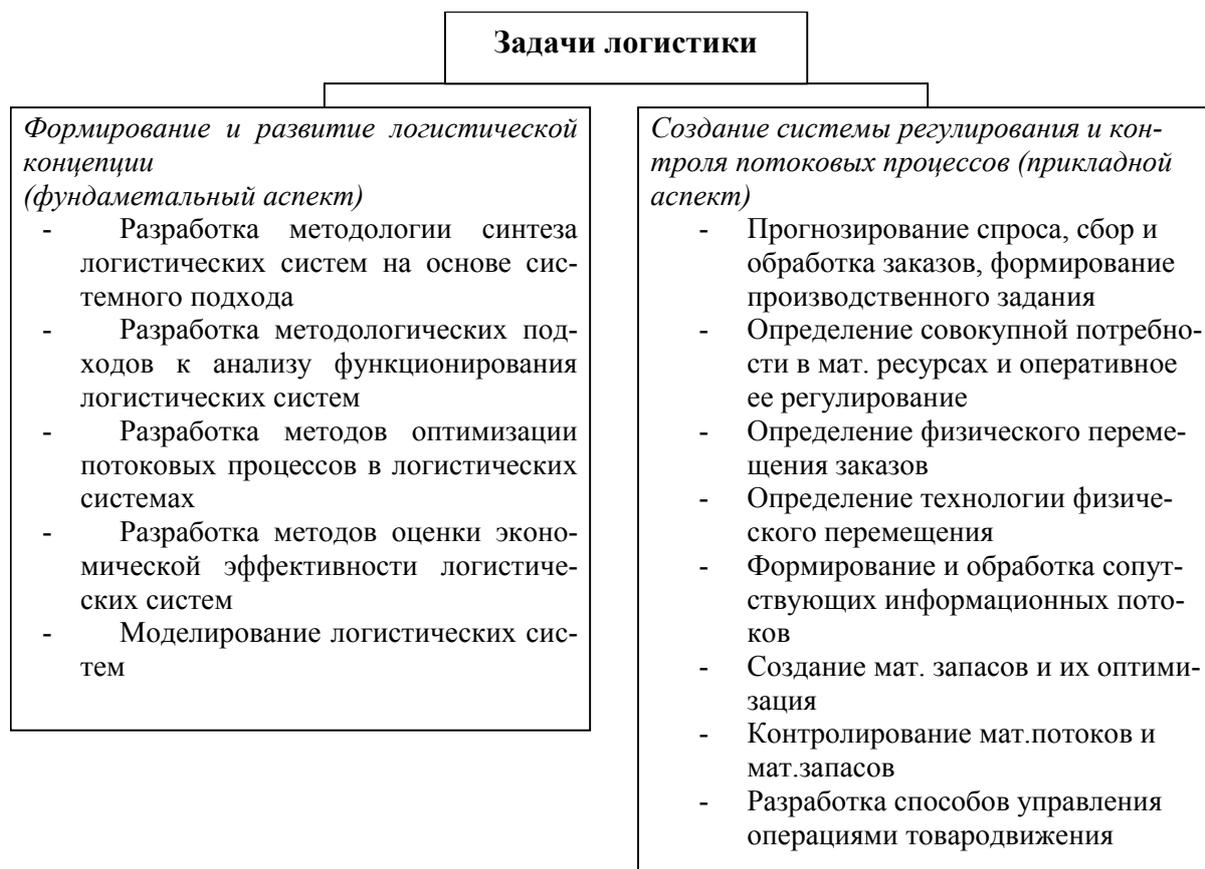


Рис. 2. Задачи логистики

Границы логистической системы определяются производственно-коммерческим циклом, включающим процесс кредитования, осуществления закупок материальных ресурсов, их складирования, хранения, транспортировки, внутрипроизводственного перемещения, подготовки и сбыта готовой продукции, получения дохода и погашения кредита.

Системообразующими элементами в этом случае являются предприятия-поставщики сырья, материалов и комплектующих изделий, производственные предприятия, сбытовые подразделения, предприятия-потребители готовой продукции, сеть промежуточных складов, транспортные организации.

С кибернетических позиций логистическая система состоит из 2-х систем: управляющей и управляемой. Управляющая система представляет собой совокупность

организаций-участников процесса товародвижения, включая коммерческие службы предприятий. Управляемая система – это потоковые процессы в рыночной среде.

Целью функционирования управляемой системы является надежное материально-техническое обеспечение при наименьших затратах. Цель управляющей системы совпадает с целью функционирования всей системы. Деятельность управляющей системы направлена на достижение цели управляемой системы. Этому способствуют своевременная обработка информации, принятие оптимальных управленческих решений и их реализация в виде целенаправленных управляющих воздействий.

Таким образом, процесс движения материальных ресурсов на предприятии постоянно отслеживается и соответствующая информация поступает в управляющую систему для принятия решений.

ПРИМЕНЕНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В МЕБЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В.В. САНАЕВ, *асп. МГУЛа*

Синергетика позволяет выявить связи в логистической системе, которые при совместных действиях независимых подсистем или элементов обеспечивают увеличение общего эффекта и которых значительно больше, чем сумма эффектов этих же подсистем или самостоятельных элементов, действующих независимо.

Однако на мебельных предприятиях проектирование и создание логистических систем, оснащенных современными техническими средствами, требует значительных инвестиционных вложений. Отсюда в условиях постоянного дефицита ресурсов, присущего любой социально-экономической системе, появляется проблема эффективности применения логистических систем.

В настоящее время не существует единого методологического подхода к количественной оценке эффективности функционирования логистической системы.

Так, широко распространено понятие функциональная эффективность, которая количественно определяется как полезный эффект, полученный в результате функционирования логистической системы за определенный период времени. Полезный эффект измеряется количеством выпущенной продукции, объемом оказанных логистических услуг, величиной полученной прибыли и т.п.

Оценка эффективности функционирования логистической системы показателем функциональной эффективности не является корректной. Наиболее полное суждение можно получить только с помощью категории эффективности как соизмерения результатов, достигнутых в процессе функционирования логистической системы и затрат на их достижение.

Вторым методологическим подходом является подход, при котором эффективность логистической операции, логистиче-

ского решения, функционирования логистической системы может быть охарактеризована системой показателей, характеризующих их качество при заданном уровне логистических издержек.

Качество обслуживания рассматривается как комплексный показатель, исчисляемый по совокупности показателей, состав которых может варьироваться. В качестве основных эффектообразующих факторов анализируются уровень материальных запасов и потребность в складских площадях, надежность и своевременность поставок, продолжительность логистического цикла, качество и уровень сервиса применения бездокументной технологии перемещения материального потока. Важным показателем для оценки качества обслуживания является вероятность доставки заказанного товара в требуемый срок в нужное место.

Еще один методологический подход к оценке экономической эффективности логистической системы предлагает для количественной оценки экономической категории эффективности использовать относительный показатель – коэффициент эффективности функционирования материального потока в логистической цепи.

Особенность этого подхода состоит в том, что построение показателей эффективности базируется не на отношении «эффект / затраты», а на отношении «фактический эффект / потенциальный (возможный) эффект».

Эффективность функционирования материального потока в логистической цепи оценивается по выражению

$$\hat{E}_y = \frac{\dot{Y}_\delta}{\dot{Y}_i} = \frac{\dot{Y}_\delta}{\sum_{i=1}^m \dot{Y}_{i\delta i} + \dot{Y}_{ij}}, \quad (1)$$

где K_f – фактический эффект, получаемый от функционирования материального

потока в логистической цепи за рассматриваемый период времени, руб./ед. продукции;

\mathcal{E}_o – максимально достижимый (потенциальный) эффект, который может быть получен в конкретных условиях производства за тот же отрезок времени при оптимизации материального потока, руб./ед. продукции;

\mathcal{E}_{odi} – прибыль, приходящаяся на единицу продукции при оптимальной партии ее изготовления получаемая при проведении i -го мероприятия по оптимизации движения материальных ресурсов в логистической цепи, руб./ед. продукции;

\mathcal{E}_{ojj} – прибыль, приходящаяся на единицу продукции при оптимальной партии ее изготовления, получаемая при проведении j -го мероприятия по оптимизации использования материальных ресурсов в логистической цепи, руб./ед. продукции.

Величины \mathcal{E}_ϕ и \mathcal{E}_o представляют собой отношение соответственно фактической прибыли к фактическому объему выпущенной продукции за рассматриваемый период к прибыли, получаемой при оптимизации материального потока к оптимальному объему выпуска продукции за тот же период.

Разность ($\mathcal{E}_o - \mathcal{E}_\phi$) характеризует собой недополученный результат от функционирования материального потока предприятия, а ее нулевая величина – достижение оптимального варианта движения и использования материальных ресурсов в логистической цепи.

Показатель K_3 служит оценкой эффективности функционирования материального потока, оценкой качества ведения хозяйственной деятельности, ориентиром для ее дальнейшего совершенствования.

На основе анализа существующих точек зрения и методологических подходов к проблеме оценки экономической эффективности функционирования логистической системы можно применить следующую методику определения экономической эффективности логистической системы.

Представляется, что основным методологическим принципом при определении экономической эффективности ЛС должен явиться принцип системного подхода. Реализация этого принципа предполагает оценку экономического эффекта от логистической деятельности для всех участников логистического соглашения на пути движения материального потока от производства до конечного потребления в мебельной промышленности с учетом их противоречивых экономических интересов, а также учет совокупных логистических издержек на протяжении всего логистического цикла.

Эффективность или неэффективность частных логистических решений, отдельных логистических операций, связанных с преобразованием материального или информационного потока должна оцениваться с точки зрения достижения глобальной цели функционирования всей логистической системы и роста общей эффективности. Задачами оценки экономической эффективности ЛС являются:

- формирование концепции экономической эффективности ЛС на основе системного подхода;
- выявление эффектообразующих факторов;
- формирование системы показателей экономической эффективности ЛС;
- разработка методики количественной оценки показателей экономической эффективности ЛС;
- разработка механизма распределения экономического эффекта между участниками логистического соглашения;
- выявление и мобилизация резервов повышения экономического эффекта логистики.

Процесс эффектообразования в логистической системе следует рассматривать в целостной совокупности, что предполагает определение общего экономического эффекта с учетом экономии и затрат во всех логистических подсистемах для трех видов потоковых процессов: материального, финансового и информационного. Анализ эффектообразующих факторов позволяет определить

основные слагаемые экономической эффективности логистических систем.

Процессы управления и принятия решений в логистической системе должны основываться на системе соответствующих показателей, отражающих эффективность функционирования этой системы. При формировании такой системы показателей должны учитываться следующие требования: актуальность, однозначность интерпретации, точность, ориентированность на получение информации с учетом основных целей логистики.

В практике финансового анализа используют два основных подхода к определению экономической эффективности хозяйственной деятельности. Результативность финансово-хозяйственной деятельности измеряется либо относительно величины авансированных ресурсов, либо относительно величины их потребления (затрат) в процессе производства. Этот подход может быть взят за основу при построении системы показателей для количественной оценки экономической эффективности логистической системы.

Экономическая эффективность логистической системы может быть охарактеризована сравнительно небольшим кругом взаимосвязанных показателей (рис. 2).

Обобщающим финансовым показателем функционирования логистической системы является выручка от реализации продукции, оказания услуг (блок 1). Этот показатель учитывает и дает количественную оценку совокупному влиянию внутрипроизводственных, внешнеэкономических и социальных факторов. Для осуществления логистических операций требуются затраты ресурсов: труд персонала, занятого выполнением логистических операций (блок 2: W – затраты на оплату труда этой категории персонала); материальные ресурсы на создание запасов в логистической системе (блок 3: 1 среднетехнологическая стоимость материальных ресурсов, находящихся в логистической системе); часть основных производственных фондов, используемых для логистических операций (блок 4: FL – среднегодо-

вая стоимость ОПФ используемых для логистических операций). Использование перечисленных ресурсов находит свое отражение в показателе логистических издержек (блок 5). При оценке логистических издержек необходимо учитывать, что издержки по осуществлению товародвижения можно подразделить на две группы:

а) издержки, связанные с формированием и перемещением материалотока в сфере производства;

б) издержки, связанные с процессом реализации продукции в сфере обращения.

Для учета полных логистических издержек целесообразно применять функциональный подход и пользоваться методами управленческого учета.

Целью внедрения логистических методов управления товародвижением является получение экономического эффекта при производстве мебели. Поэтому экономическая эффективность логистической системы должна рассматриваться с позиций повышения доходности участников логистического соглашения, а экономический эффект определяется по результатам реализации мебели конечному потребителю.

Интегрированным показателем экономической эффективности логистической системы может выступать показатель, представляющий отношение экономического эффекта, полученного в результате реализации логистической концепции и капитала, инвестированного в логистику

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{\sum_{i=1}^n KL_i}, \quad (2)$$

где K_i – финансовый результат, полученный от внедрения логистических мероприятий в i -ой логистической подсистеме, руб.;

n – количество подсистем, выделенных в исследуемой логистической системе, шт;

KL_i – средняя за период величина капитала, инвестированного в логистику, в i -ой логистической подсистеме, руб.

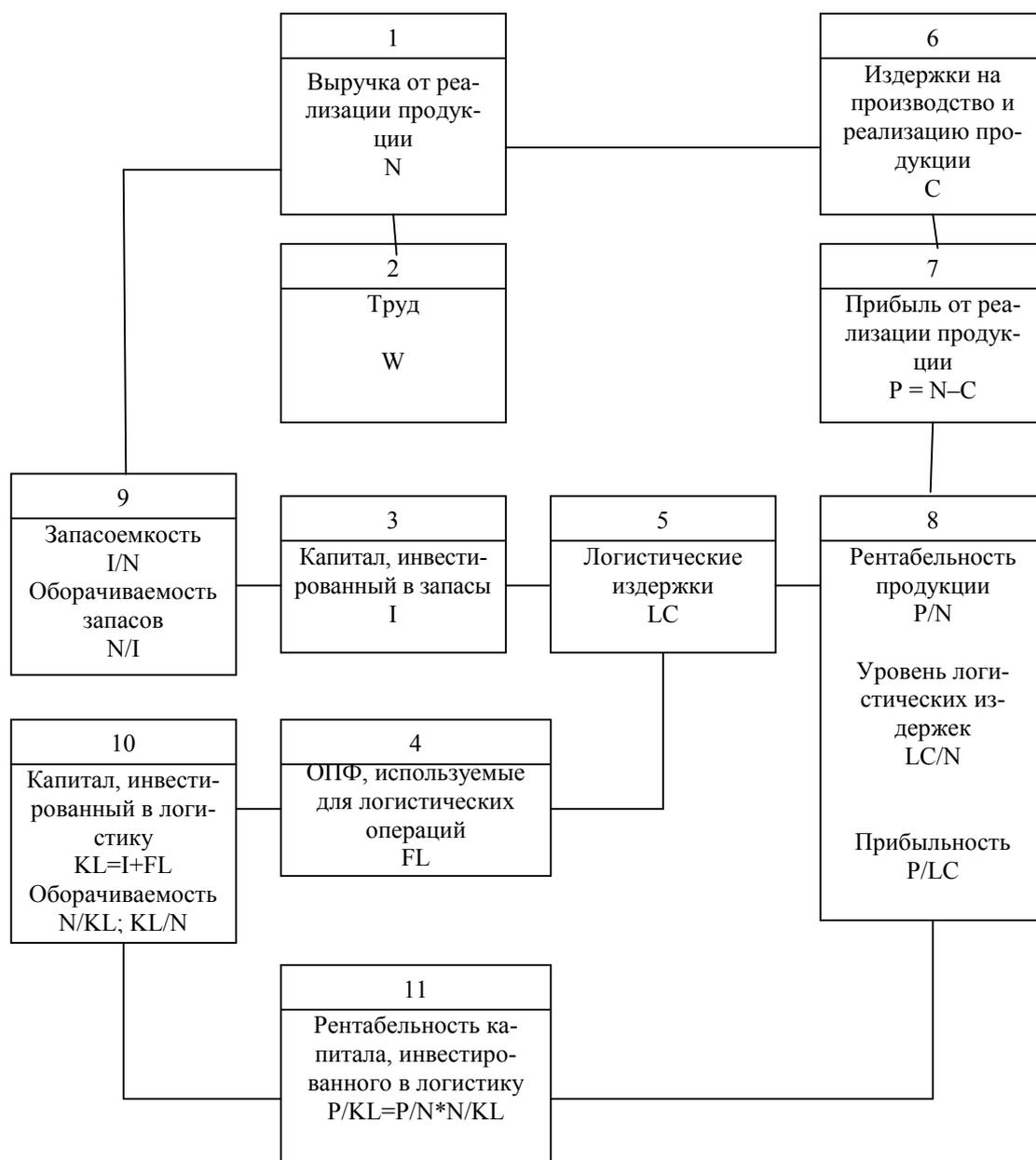


Рис. 2. Система показателей экономической эффективности логистической системы

Финансовым результатом осуществления логистических методов управления товародвижением могут быть: часть выручки от реализации, полученная за счет повышения качества продукции и соответствующей надбавки в цене товара; прирост выручки за счет повышения конкурентоспособности продукции и расширения за счет этого рынков сбыта; экономия текущих затрат за счет сокращения длительности логистического цикла, сокращения простоев, снижения складских и транспортных расходов.

Таким образом, финансовый результат в логистической системе складывается во-первых, за счет прироста прибыли вследствие роста выручки реализации; во-вторых, за счет сокращения издержек на осуществление логистических операций.

$$Ri = Pi + \Delta Pi + \Delta LCi, \quad (3)$$

где Ri – финансовый результат, полученный от внедрения логистических мероприятий для i -ой логистической подсистемы, руб.;

ΔPi – прирост прибыли от реализации, полученный вследствие роста вы-

ручки от реализации за счет применения методов логистики в i -ой логистической подсистеме, руб.;

ΔLC_i – сокращение логистических издержек в i -ой логистической подсистеме, руб.

Среднюю за период величину капитала, инвестированного в логистику, можно определить как среднехронологическую стоимость материальных запасов, находящихся в границах системы и среднюю за период стоимость той части средств, которая используется для осуществления логистических операций.

$$KLi = I_i + FL_i, \quad (4)$$

где I_i – среднехронологическая стоимость материальных запасов в i -ой логистической подсистеме, руб.;

FL_i – средняя за период стоимость основных средств, используемых для логистических операций в i -ой логистической подсистеме, руб.

С учетом (3) и (4) формула (2) преобразуется следующим образом:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i + \Delta P_i + \Delta LC_i)}{\sum_{i=1}^n (I_i + FL_i)}. \quad (5)$$

Эффективность логистических систем можно рассматривать с точки зрения системотехники как систему массового обслуживания, характеризующуюся вероятностью успешного выполнения логистических операций. Отправным теоретическим положением решения названной задачи может быть вероятностный подход к оценке надежности нормального функционирования логистических систем

$$P_{(t)} = P_{o2(t)} \cdot P_{v(t)} \cdot P_{ko(t)}, \quad (6)$$

где $P_{o2(t)}$ – вероятность организационно-технической готовности логистической системы;

$P_{y(t)}$ – вероятность безотказности логистической системы за определенный период времени;

$P_{ko(t)}$ – качество обслуживания логистической системы.

При расчетах экономической эффективности логистических систем весьма важным является и наличие значительного социального эффекта. Он заключается в ликвидации многих рутинных операций, организации творческой и менее психологически напряженной деятельности участников выполнения логистических операций, обеспечении высокой культуры обслуживания потребителей.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ВЫВОДА ИЗ КРИЗИСА МАЛЫХ И СРЕДНИХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ПРИМЕРЕ ЧАСТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В.А. АБРАМОВ, *асп. МГУЛа*

В лесопромышленном комплексе России функционирует 2705 крупных и средних предприятий. Из них в государственный сектор в 2002 г. входило 548 предприятий, в том числе 465 государственных унитарных предприятий и 81 акционерное общество с долей государственной собственности, превышающей 50 % уставного капитала.

Последние десятилетия в экономике развитых стран отмечены широким разви-

ем мелкого бизнеса. Эта тенденция вызвана обстоятельствами двоякого рода:

во-первых, особенностями современного этапа научно-технической революции, обеспечивающего соответствующую материальную базу для эффективного функционирования мелкого бизнеса;

во-вторых, дифференциацией потребительского спроса в условиях растущих доходов населения и в связи с этим преимущественным ростом сферы обслуживания.

Преимущества мелкого бизнеса состоят в следующем:

- он динамичнее крупного: мелкий бизнес легче приспосабливается к изменяющимся условиям, мелкое производство более оперативно отражает изменения потребительского спроса;

- развитие мелкого бизнеса существенно облегчает территориальный и отраслевой перелив рабочей силы и капитала;

- мелкий бизнес быстрее «впитывает» новые веяния научно-технического прогресса, т.к. он более приспособлен для производства уникальных изделий, быстрее и дешевле перевооружается технически, требует меньших капиталовложений и обеспечивает их ускоренную окупаемость; зачастую само создание мелких фирм реализует попытку коммерческого использования какого-либо вмешательства;

- мелкий бизнес улучшает общую структуру производства, т.к. облегчает адаптацию «неповоротливого» крупного производства к изменяющимся условиям, к новым требованиям НТП: способствует развитию специализации, освобождает крупные корпорации от производства мелкосерийной продукции, занимается поиском, доработкой и освоением новых изделий, охотнее идет на риск.

Развитие мелкого бизнеса рассматривается правительствами многих стран как важный фактор обеспечения занятости населения. Поэтому созданию таких предприятий оказывается разнообразная поддержка, в том числе с помощью кредитов, льготного налогообложения, особенно на начальных этапах их деятельности. Политика помощи и поддержки малого бизнеса проводится и в нашей стране.

Одни предприятия мелкого бизнеса образовались после приватизации на базе существующих предприятий, например, путем выделения столярных мастерских на производствах или сформировались как части крупных деревоперерабатывающих производств. Другие являются вновь созданными, но зачастую неэффективными предприятиями.

Древесина является экологически чистым, недорогим и довольно легко обрабатываемым строительным материалом. Уровень жилищного, культурно-бытового строительства во многом определяет положение на рынке этого материала. Сделав анализ потребительского рынка и анализ развития отрасли, можно прийти к выводу, что пиломатериалы (брус, доска и т.п.) и погонаж – наиболее независимая от импорта продукция. Кроме того, Московский регион – высокоценовой рынок с большой скоростью оборачиваемости материальных и денежных средств. Цены на продукцию, производимую в Москве, очень сильно конкурируют с ценами при продаже этой продукции на экспорт. Именно поэтому в 1991 г. была создана частная компания «А.В.А.», которая занимается производством и продажей пиломатериалов.

Главный фактор, «задающий» возможные контуры и параметры структуры управления, – сама организация. Известно, что организации различаются по многим критериям. Большое разнообразие организаций в Российской Федерации предопределяет множественность подходов к построению управленческих структур. Подходы эти различны и в коммерческих организациях, крупных, средних и малых, находящихся на разных стадиях жизненного цикла, имеющих разный уровень разделения и специализаций труда, его кооперирования и автоматизации, иерархических и «плоских» и так далее. Очевидно, что структура управления крупными предприятиями более сложна по сравнению с той, какая нужна небольшой фирме, где все функции менеджмента подчас сосредотачиваются в руках одного – двух членов организации (обычно руководителя и бухгалтера), где соответственно нет необходимости проектировать формальные структурные параметры. По мере роста организации, а значит, и объема управленческих работ, развивается разделение труда и формируются специализированные звенья (например, по управлению персоналом, производством, финансами, инновациями и т.п.), слаженная работа коих требует координации и контро-

ля. Построение формальной структуры управления, в которой четко определены роли, связи, полномочия и уровни, становится императивом.

Важно обратить внимание на сопряжение структуры управления с фазами жизненного цикла организации, о чем, к сожалению, нередко забывают проектанты и специалисты, решающие задачу совершенствования управленческих структур. На стадии зарождения организации управление нередко осуществляется самим предпринимателем. На стадии роста происходит функциональное разделение труда менеджеров. На стадии зрелости в структуре управления чаще всего реализуется тенденция к децентрализации. На стадии спада обычно разрабатываются меры по совершенствованию управленческой структуры в соответствии с потребностями и тенденциями в изменении производства. Наконец, на стадии прекращения существования организации структура управления или полностью разрушается (если фирма ликвидируется), или происходит ее реорганизация (когда скоро данную фирму приобретает или присоединяет к себе другая компания, приспособляющая структуру управления к той фазе жизненного цикла, в которой она находится).

В развитии любого объекта управления можно выделить стадии его жизненного цикла: проектирование и создание, рост, зрелость, завершение. Очевидно, что цели, а следовательно, и проблемы управления на этих стадиях различаются довольно существенно.

На начальном этапе развития компании (первые 3–4 г.) не придавалось должного значения организационной структуре. В результате присутствовал весь негатив производственной деятельности (текучесть кадров, воровство и т. п.). За это время сложилось полное представление о текущей ситуации, накопился опыт, пусть даже иногда и негативный, произошел сбор и обработка информации, необходимой для выработки курса действий. На этапе разработки вариантов решения проблемы организационной структуры выбирались наиболее полезные и

предпочтительные для решения целей организации варианты. От этого зависит конкурентоспособность организации, быстрота ее адаптации к изменениям хозяйственной ситуации и, в конечном счете, эффективность и прибыльность.

На втором этапе развития предприятия и его роста сложилась линейная структура управления. Но оказалось, что она нацеливает управляющих прежде всего на решение текущих и оперативных планов и задач. В результате перспективные цели отодвигались на второй план: на них не хватало ни времени, ни средств, не было прямой заинтересованности управляющих в их постановке и решении, так как оценка работы производилась по результатам текущей производственной деятельности. В итоге экономическо-моральные факторы оказались не учтены. Менеджеры сваливали друг на друга вину за нерешенные текущие вопросы или присваивали себе заслуги в удачных решениях, не учитывалась специфика работы различных подразделений, не решалась проблема координации управляющих по горизонтали и повышения их ответственности. Потребовался переход к более гибким структурам, лучше приспособленным к динамичным изменениям и требованиям производства. Новый взгляд, сформировавшийся на базе обучения и использования опыта, привел к созданию сегодняшней структуры управления. Этап формирования начался экспериментальным периодом. Этот период позволил на практике опробовать новую сформировавшуюся схему, учесть все ее положительные и отрицательные моменты, провести необходимые корректировки. Ценность управленческого экспериментирования состоит не только в его практической направленности на решение проблем управления, но и в том, что оно служит источником новых идей, гипотез, теоретических положений, т. е. позволяет комплексно подойти к исследованию проблем теории и практики управления.

Таким образом, сформировалась схема, в основе которой лежит заинтересованность людей и их материальная ответствен-

ность. Предприятие состоит из четырех подразделений, обладающих производственной самостоятельностью и независимостью. Во главе подразделений находятся менеджеры (управляющие), которые полностью отвечают за результаты работы своего подразделения и непосредственно подчиняются владельцу предприятия. Для избежания пересечения интересов менеджеров подразделений владелец следит за распределением номенклатуры производимой продукции, тем самым четко ограничивая сферу производственной деятельности каждого подразделения. Это распределение может изменяться в

зависимости от складывающейся ситуации. Принципы, на которых формировались подразделения, разрушали основы командно-контрольных структур управления. Главные из них следующие: автономная работа подразделения, самостоятельное принятие решений и координация деятельности по горизонтали, замена жестких связей бюрократического типа гибкими связями, привлечение для разработки и решения задач сотрудников других подразделений. Все вышесказанное определило возможность реализации принципов и методов теории управления производством в малом бизнесе.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СТРАТЕГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ МАЛЫХ И СРЕДНИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЛЕСОПИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В.А. АБРАМОВ, *асп. МГУЛа*

Стратегическое управление – это достаточно сложная система, состоящая из большого числа взаимосвязанных компонентов. В течение последних десятилетий были разработаны различные методы моделирования таких систем. Одним из них является методология SADT.

SADT (Structured Analysis and Design Technique – методология структурного анализа и проектирования) – это методология, разработанная специально для того, чтобы облегчить описание и понимание систем различной сложности.

Описание систем повышенной сложности является особенно трудным и дорогостоящим процессом, однако рост технического прогресса делает адекватное описание систем актуальной проблемой.

Методология SADT применяется для решения большого спектра проблем, но вопросам ее применения для моделирования стратегического управления развитием лесопильных предприятий до сих пор не уделялось внимания.

В середине 70-х годов на основе SADT было разработано семейство методо-

логии IDEF, состоящее из трех самостоятельных методологий моделирования различных аспектов функционирования производственной среды или системы:

1) IDEFO – методология создания функциональной модели производственной среды или системы (основана на методе SADT Росса);

2) IDEF1 – методология создания информационной модели производственной среды или системы (основана на реляционной теории Кодда и использовании ER-диаграмм Чена),

3) IDEF2 – методология создания динамической модели производственной среды или системы.

Методика IDEFO предназначена для структурированного представления функций системы и анализа системных требований. Она является одной из самых известных и широко используемых методологий проектирования.

С помощью методологии IDEFO без труда представляются такие моменты функционирования систем, как управление, обратная связь и исполнение. Это объясняется

тем, что она появилась при проектировании систем более общего назначения, в отличие от других структурных методов, появившихся при проектировании систем программного обеспечения.

В основе метода IDEFO лежит графическое представление базисной модели в виде иерархии блок-схем (диаграмм), обеспечивающее компактность представления информации. Основной конструкцией IDEFO-модели является функциональный блок. Блок-схемы на диаграмме представляют функции. Функции показывают, что должно выполняться. Стрелки на диаграмме играют роль интерфейсов блоков с внешней для каждого из них средой. Между объектами и функциями возможны четыре вида отношений: **вход, выход, управление, механизм исполнения**. Каждое из этих отношений изображается стрелкой, связанной с определенной стороной блока. Стрелки слева и справа соответственно означают вход и выход в функциональную систему. Стрелки сверху – управление, контроль; снизу – механизмы выполнения преобразований.

Любой функциональный блок диаграммы может быть декомпозирован, то есть представлен в виде совокупности других блоков, которые подробно описывают исходный блок. В свою очередь, новые блоки могут быть декомпозированы и далее.

В России данная методология используется сравнительно недавно и применяется предприятиями в основном для решения локальных задач, стоящих перед ними, например таких, как угроза банкротства предприятия. Построение же таких моделей глобальных систем, как стратегическое управление предприятием, требует серьезного исследования как теоретического материала, так и практического опыта разработки стратегий, поэтому оно еще не получило в нашей стране широкого распространения. В связи с этим само по себе моделирование стратегического управления при помощи методологии IDEFO является новшеством для современных российских предприятий.

Построение модели стратегического управления с использованием методологии

IDEFO позволяет решить проблему разработки единой технологии стратегического управления, описание этапов которого представляется в виде взаимосвязанных между собой схем.

Для того, чтобы регламентировать технологию стратегического управления предприятием, необходимо описать технологии выполнения каждого отдельного его этапа и объединить их между собой. Взаимосвязанное описание этапов стратегического управления дает представление о технологии процесса всего стратегического управления. Такое описание позволяет использовать методология IDEFO для поставленной цели – устойчивого развития малых и средних предприятий лесопильной промышленности.

Большинство руководителей отечественных предприятий до сих пор расценивают практическое применение моделирования в стандартах IDEFO скорее как дань моде, нежели как эффективный путь оптимизации существующей системы управления предприятием. Вероятнее всего это связано с ярко выраженным недостатком информации по практическому применению этих методологий и с непременным уклоном большинства публикаций по данной проблематике в сторону программного обеспечения.

Следует отметить, что немало моделей стратегического управления пришло к нам из-за рубежа и носит в основном теоретический, описательный характер, что затрудняет их использование на практике. Применение же системы IDEFO позволяет представить технологию стратегического управления в виде совокупности схем, которые без затруднений можно конкретизировать под условия деятельности любого предприятия. Использование данной методологии делает стратегическое управление доступным практически каждому предприятию, независимо от его размеров, сложности внутренней структуры и вида деятельности.

Стратегическое управление как процесс условно можно разделить на пять этапов:

- 1) анализ внешней и внутренней среды;
- 2) определение миссии и целей;

3) формирование альтернативных стратегий;

4) выбор стратегии и стратегическое планирование;

5) реализация и контроль реализации стратегии.

Последовательное выполнение данных функций составляет технологию стратегического управления. Применяя методологию IDEF0 в данном случае, необходимо построить базисный блок, который, в свою очередь, разбивается на подсистемы.

Такой базисный блок представлен на рис. 1 «Стратегическое управление». В соответствии с этой схемой стратегическое управление осуществляется посредством внутренних и внешних механизмов реализации. Исходным параметром, то есть входом при этом является стратегический потенциал предприятия, и результатом, то есть выходом, под непосредственным влиянием факторов макроокружения, мезоокружения и микроокружения, будет достижение поставленных перед предприятием целей.

В дальнейшем базисный блок разбивается на пять этапов (рис. 2), каждый из которых представляет собой подсистему, подлежащую отдельному рассмотрению и описанию с использованием IDEF0-методологии.

Описание технологии стратегического управления с помощью методологии IDEF0 позволяет применить к нему сразу несколько научных подходов, а именно: системный (стратегическое управление рассматривается как система), маркетинговый (технология ориентирует деятельность предприятия на нужды потребителей), процессный (дается описание взаимосвязанных функций стратегического управления), директивный (технология закрепляется в виде документально оформленных схем).

Первый опыт использования данной методологии в течении двух лет на нескольких малых лесопильных предприятиях частной компании по производству пиломатериалов и поганажных изделий показал ее высокую результативность.



Рис. 1. Стратегическое управление

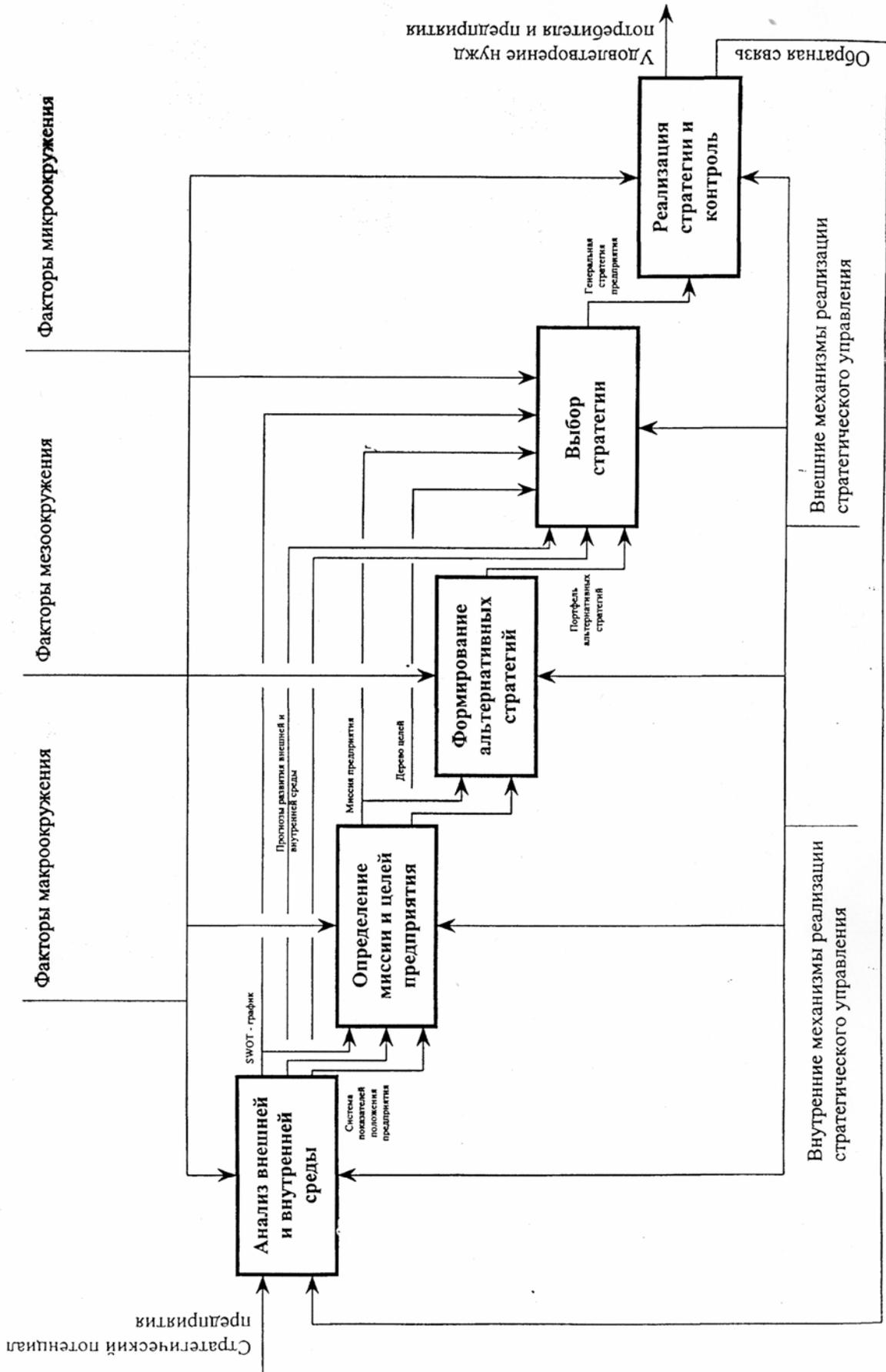


Рис. 2. Процесс стратегического управления

НЕКОТОРЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ НЕЧЕТКИХ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

И.А. ПОЛЕЩУК, *асп. каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛа*

В совокупности методы регрессионного анализа являются мощным инструментарием для статистических исследований и широко используются как в научных, так и в инженерных целях. Известные классические регрессионные модели входят в большинство пакетов для обработки данных, что позволяет находить зависимости на основе известных входных и выходных данных.

Исследуемые данные могут иметь разную природу. Если они являются физическими значениями некоторых характеристик, то есть количественными величинами, то не возникает некорректности относительно применения к ним арифметических операций. Однако при построении регрессионной модели возникает вопрос о справедливости предположения о случайной природе ошибок. Без этого предположения, как известно, прогнозируемое выходное модельное значение может быть дано только конкретным (точечным) числом (а не вероятностным интервалом), в результате чего возрастает риск получения прогноза, далекого от действительности [1].

Если наблюдаемые входные и (или) выходные данные являются лингвистическими значениями некоторых характеристик, то есть качественными величинами, то проблем при построении традиционных моделей на их основе возникает гораздо больше. С данными качественного характера, как правило, поступают следующим образом [1]: лингвистическим значениям в соответствие ставятся числовые значения, которые служат входными и соответственно выходными данными для регрессионных моделей. Однако для качественных данных некорректны все арифметические операции [2, 3], поэтому встает вопрос корректности самой модели и адекватности полученных прогнозных ре-

зультатов. В дополнение к этому возникает вопрос о справедливости предположения о случайной природе ошибок.

Границы применения классических регрессионных моделей заметно расширили нечеткие регрессионные модели, которым в последние годы было посвящено значительное число работ [4–26]. В настоящее время можно сказать, что методы нечеткого регрессионного анализа, развитие которого началось только в 1982 году [4], доказали свою жизнеспособность и эффективность [1, 26].

Под нечеткой линейной многомерной регрессионной моделью принято понимать модель

$$\tilde{Y} = \tilde{a}_0 + \tilde{a}_1 \tilde{X}_1 + \dots + \tilde{a}_m \tilde{X}_m, \quad (1)$$

в которой в качестве входных и (или) выходных данных выступают нечеткие числа, а коэффициентами модели могут быть как четкие, так и нечеткие числа.

$$\text{Пусть } \tilde{Y} = \begin{pmatrix} \tilde{Y}_1 \\ \dots \\ \tilde{Y}_n \end{pmatrix}, \quad \tilde{Y}_i = (y'_1, y'_2, y'_L, y'_R), \quad i = \overline{1, n}$$

– выходные нечеткие числа (в общем случае толерантные [27]),

$$\tilde{X}_j = \begin{pmatrix} \tilde{X}_j^1 \\ \dots \\ \tilde{X}_j^n \end{pmatrix}, \quad \tilde{X}_j^i = (x_1^i, x_2^i, x_L^i, x_R^i), \quad j = \overline{1, m}, \quad i = \overline{1, n}$$

– входные нечеткие числа (в общем случае толерантные), $\tilde{a}_j = (b^j, b_L^j, b_R^j), j = \overline{0, m}$ – неизвестные коэффициенты регрессионной модели – унимодальные нечеткие числа.

Нечеткие регрессионные модели (1) могут быть разбиты на пять групп.

1. Входные данные $X_j^i, j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}$ – четкие числа, выходные данные $Y_i, i = \overline{1, n}$ – четкие числа, коэффициенты модели $\tilde{a}_j = (b^j, b_L^j, b_R^j), j = \overline{0, m}$ – нечеткие числа.

2. Входные данные $X_j^i, j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}$ – четкие числа, выходные данные $\tilde{Y}_i, i = \overline{1, n}$ – нечеткие числа, коэффициенты модели $\tilde{a}_j = (b^j, b_L^j, b_R^j), j = \overline{0, m}$ – нечеткие числа.

3. Входные данные $\tilde{X}_j^i, j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}$ – нечеткие числа, выходные данные $Y_i, i = \overline{1, n}$ – четкие числа, коэффициенты модели $\tilde{a}_j = (b^j, b_L^j, b_R^j), j = \overline{0, m}$ – нечеткие числа.

4. Входные данные $\tilde{X}_j^i, j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}$ – нечеткие числа, выходные данные $\tilde{Y}_i, i = \overline{1, n}$ – нечеткие числа, коэффициенты модели $a_j, j = \overline{0, m}$ – четкие числа.

5. Входные данные $\tilde{X}_j^i, j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}$ – нечеткие числа, выходные данные $\tilde{Y}_i, i = \overline{1, n}$ – нечеткие числа, коэффициенты модели $\tilde{a}_j = (b^j, b_L^j, b_R^j), j = \overline{0, m}$ – нечеткие числа.

Существенное отличие классической и нечеткой регрессионных моделей состоит в том, что ошибка классической модели предполагается случайной величиной с известной функцией распределения, а ошибка нечеткой регрессионной модели предполагается нечетким числом с неизвестной функцией принадлежности.

Таким образом, прогнозом классической регрессионной модели в предположении, что известно распределение ошибок, является некоторый доверительный интервал значений с заданным значением вероятности.

Прогнозом нечеткой регрессионной модели без всяких предположений относительно функции принадлежности ошибок тоже является некоторый доверительный интервал значений, только с заданным значением возможности (или значением функции принадлежности), а не вероятности.

В настоящее время в методах нечеткого регрессионного анализа существенным пробелом является практическое отсутствие нелинейных моделей. Подобное положение дел объясняется, по-видимому, тем, что до работы [26] рассматривался достаточно ограниченный спектр функций принадлежности исходных данных. Вдобавок к этому отсутствовали количественные характеристики

качества самих моделей, которые позволяли бы сделать вывод о плохом соответствии линейной модели исходным нечетким данным и заставляли бы искать нелинейную функцию, которая бы лучше описывала связь между входными и выходными данными по сравнению с линейной моделью.

В работе предлагается следующая нелинейная нечеткая регрессионная модель:

$$\tilde{Y} = \tilde{a}_1 \tilde{X}_1^2 + \dots + \tilde{a}_m \tilde{X}_m^2 + \tilde{a}_{m+1} \tilde{X}_1 \tilde{X}_2 + \dots + \tilde{a}_{\frac{m(m-1)}{2}} \tilde{X}_{m-1} \tilde{X}_m + \dots + \tilde{a}_{\frac{m(m-1)}{2}} \tilde{X}_1 + \dots + \tilde{a}_{\frac{m(m-1)}{2}} \tilde{X}_m + \tilde{a}_0. \quad (2)$$

Все обозначения соответствуют модели (1).

В чем же принципиальная сложность в построении этой модели по сравнению с моделью, предложенной в [26]? На первый взгляд можно было бы сделать соответствующие замены и получить известную линейную модель.

Однако сложность состоит в том, что при умножении даже двух одинаковых нечетких чисел в результате получается нечеткое число, которое лишь приближенно можно отнести к тому или иному типу [27], а значит отсутствует возможность определения аналитического вида функции принадлежности результата операции. Например, если $\tilde{X}_j^i, j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}$ являются нечеткими числами (L-R)-типа [27], то при замене $\tilde{Z}_j^i = \tilde{X}_j^i \otimes \tilde{X}_j^i$ нельзя сказать, что $\tilde{Z}_j^i, j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}$ тоже являются нечеткими числами (L-R)-типа. Таким образом, при соответствующих заменах нелинейная нечеткая регрессионная модель не может быть автоматически сведена к линейной нечеткой регрессионной модели.

При построении предложенной в работе модели отсутствует необходимость в аналитическом определении функций принадлежности входных данных, поскольку оперирование происходит не с аналитически заданной функцией, а с уровневыми множествами, которые при любом значении функции принадлежности определяются не приближенно, а точно.

Частным случаем модели (2) является двумерная нечеткая квадратичная регрессионная модель при исходных данных с толерантными функциями принадлежности T -типа [27]:

$$\tilde{Y} = \tilde{a}_0 + \tilde{a}_1 \tilde{X} + \tilde{a}_2 \tilde{X}^2, \quad \tilde{a}_j \equiv (b^j, b_L^j, b_R^j), j = \overline{0,2}$$

– неизвестные коэффициенты регрессионной модели – нормальные треугольные числа.

$$\text{Пусть } \tilde{X} = \begin{pmatrix} \tilde{X}_1 \\ \dots \\ \tilde{X}_n \end{pmatrix}, \quad \tilde{X}_i \equiv (x_i^1, x_i^2, \delta_i^1, \delta_i^2), \quad i = \overline{1,n}$$

– входные данные, x_i^1, x_i^2 – границы интервала толерантности, δ_i^1, δ_i^2 – соответственно левое и правое крылья нечеткости,

$$\tilde{Y} = \begin{pmatrix} \tilde{Y}_1 \\ \dots \\ \tilde{Y}_n \end{pmatrix}, \quad \tilde{Y}_i \equiv (y_i^1, y_i^2, \Delta_i^1, \Delta_i^2), i = \overline{1,n}$$

– выходные данные. В [26] предлагается метод дефаззификации толерантных чисел на основе взвешенных отрезков.

Для двух толерантных чисел \tilde{A}, \tilde{B} со взвешенными отрезками соответственно $[A_1, A_2], [B_1, B_2]$ определим меру близости

$$f(\tilde{A}, \tilde{B}) = \sqrt{(A_1 - B_1)^2 + (A_2 - B_2)^2}.$$

Дефаззифицируем выходные данные $\tilde{Y}_i, i = \overline{1,n}$ и модельные выходные данные $\hat{Y}_i, i = \overline{1,n}$ на основе взвешенных отрезков

$$\tilde{Y}_i \equiv [Z_{i1}, Z_{i2}] = \left[y_i^1 - \frac{1}{6} \Delta_i^1, y_i^2 + \frac{1}{6} \Delta_i^2 \right],$$

$$\hat{Y}_i \equiv [Y_{i1}, Y_{i2}] = \left[b^0 - \frac{1}{6} b_L^0 + \theta_{a_1 x_i}^1 + \theta_{a_2 x_i^2}^1, b^0 + \frac{1}{6} b_R^0 + \theta_{a_1 x_i}^2 + \theta_{a_2 x_i^2}^2 \right], i = \overline{1,n},$$

где $[\theta_{a_1 x_i}^1(b^j, b_L^j, b_R^j), \theta_{a_1 x_i}^2(b^j, b_L^j, b_R^j)]$ и $[\theta_{a_2 x_i^2}^1(b^j, b_L^j, b_R^j), \theta_{a_2 x_i^2}^2(b^j, b_L^j, b_R^j)]$ соответственно взвешенные отрезки произведения чисел $\tilde{a}_1, \tilde{X}_i, i = \overline{1,n}$ и $\tilde{a}_2, \tilde{X}_i^2, i = \overline{1,n}$.

Нетрудно показать, что сумма и произведение толерантных чисел являются толерантными числами. Взвешенный отрезок суммы толерантных чисел равен сумме взвешенных отрезков этих чисел, а границы взвешенного отрезка произведения толе-

рантных чисел определяются линейными комбинациями произведений параметров этих чисел.

Оптимизационная задача ставится следующим образом:

$$F(b^j, b_L^j, b_R^j) = \sum_{i=1}^n f^2(\hat{Y}_i, \tilde{Y}_i) \rightarrow \min, \\ b_L^j \geq 0, b_R^j \geq 0, j = \overline{0,2}.$$

Так как границы взвешенных отрезков произведений чисел $\tilde{a}_1, \tilde{X}_i, i = \overline{1,n}$ и $\tilde{a}_2, \tilde{X}_i^2, i = \overline{1,n}$ являются кусочно-линейными функциями в области $b_L^j \geq 0, b_R^j \geq 0, j = \overline{0,2}$, то F является кусочно-дифференцируемой функцией, и решения оптимизационной задачи находятся с помощью метода [28].

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 04-07-90131.

Список литературы

1. Chang Y.-H., Ayyub B.M. Fuzzy regression methods – a comparative assessment // Fuzzy Sets and Systems. – 2001. – № 119. – P. 187–203.
2. Джини К. Средние величины. – М.: Статистика, 1970. – 556 с.
3. Орлов А.И. Задачи оптимизации и нечеткие переменные. – М.: Знание, 1980. – 64 с.
4. Tanaka H., Uejima S., Asai. Linear regression analysis with fuzzy model // IEEE, Systems, Trans. Systems Man Cybernet. SMC-2, 1982. – P. 903–907.
5. Chanrong V., Haimes Y.Y. Multiobjective Decision Making: Theory and Methodology. – North-Holland, 1980. – 204 p.
6. Dubois D. Linear Programming with fuzzy data // Analysis of Fuzzy Information. – 1987. – V.3. – P. 241–263.
7. Fiacco A.V. Introduction to sensitivity and stability analysis in nonlinear programming. – New York.: Acad. press, 1983. – 367 p.
8. Таранцев А.А. Принципы построения регрессионных моделей при исходных данных с нечетким описанием // Автоматика и телемеханика. – 1997. – №11. – С. 27–32.
9. Tanaka H. Fuzzy data analysis by possibilistic linear models // Fuzzy Sets and Systems. – 1987. – № 24. – P. 363–375.
10. Sakawa M., Yano H. Fuzzy linear regression and its application to the sales forecasting // International Journal of Policy and Information. – 1989. – № 15. – P. 111–125.
11. Sabic D.A., Pedrycz W. Evaluation on fuzzy linear regression models // Fuzzy Sets and Systems. – 1991. № 39. – P. 51–63.
12. Tanaka H., Watada J. Possibilistic linear systems and their applications to the linear regression model // Fuzzy Sets and Systems. – 1988. № 27. – P. 275–289.

13. Bardossy A. Note on fuzzy regression // Fuzzy Sets and Systems. – 1990. – № 37. – P. 65–75.
14. Celmins A. Least squares model fitting to fuzzy vector data // Fuzzy Sets and Systems. – 1987. – № 22. – P. 245–269.
15. Celmins A. Multidimensional least-squares model fitting of fuzzy models // Math. Modeling. – 1987. – № 9. – P. 669–690.
16. Chang Y.-H., Ayyub B.M. Reliability analysis in fuzzy regression. Proc. Annual // Conf. of the North American Fuzzy Information Society (NAFIPS 93). – Allentown, 1993. – P. 93–97.
17. Chang P.-T., Lee E.S. Fuzzy linear regression with spreads unrestricted in sign // Comput. Math. Appl. – 1994. – № 28. – P. 61–71.
18. Chang Y.-H., Johnson P., Tokar S., Ayyub B.M. Least-squares in fuzzy regression // Proc. Annual. Conf. of the North American Fuzzy Information Society (NAFIPS 93). – Allentown, 1993. – P. 98–102.
19. Diamond P. Fuzzy least squares // Inform. Sci. – 1988. – № 46. – P. 141–157.
20. Ishibuchi H. Fuzzy regression analysis // Japan. J. Fuzzy Theory and Systems. – 1992. – № 4. – P. 137–148.
21. Redden D., Woodal W. Properties of certain fuzzy regression methods // Fuzzy Sets and Systems. – 1994. – № 64. – P. 361–375.
22. Tanaka H., Ishibuchi H. Identification of possibilistic linear models // Fuzzy Sets and Systems. – 1991. – № 41. – P. 145–160.
23. Tanaka H., Ishibuchi H., Yoshikawa S. Exponential possibility regression analysis // Fuzzy Sets and Systems. – 1995. – № 69. – P. 305–318.
24. Chang Y.-H., Ayyub B.M. Hybrid regression analysis for uncertainty modeling // Proc. Annual. Conf. of the North American Fuzzy Information Society (NAFIPS 96). – California University.: Berkeley, 1996. – P. 93–97.
25. Chang Y.-H. Hybrid fuzzy least-squares regression analysis and its reliability measures // Fuzzy Sets and Systems. – 2001. – № 119. – P. 225–246.
26. Домрачев В.Г., Полещук О.М. О построении регрессионной модели при нечетких исходных данных // Автоматика и телемеханика. – 2003. – № 11. – С. 74–83.
27. Аверкин А.Н., Батыршин И.З., Блишун А.Ф., Силов В.Б., Тарасов В.Б. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. – М.: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит., 1986. – 312 с.
28. Coleman T.F., Y.Li. A reflective Newton method for minimizing a quadratic function subject to bounds on some of the variables // SIAM Journal on Optimization. 1996. V. 6. № 4. P. 1040–1058.

О КЛАССИФИКАЦИИ ВСЕХ БУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ ОТ 3-Х ПЕРЕМЕННЫХ С ОБОБЩЁННЫМИ ЗАПРЕТАМИ

Н.В. НИКОНОВ, *ИКСИ, Москва*

Задача определения совместности систем уравнений представляет собой важное направление прикладной дискретной математики. В данной статье рассматриваются системы сдвигового вида (1) [1, 2], порождаемые узлом усложнения с регистром сдвига R и функцией $f(\vec{x})$, представленным на рис. 1 [3].

Узел перерабатывает дискретную входную двоичную последовательность $\{x_i\}$ в выходную двоичную последовательность $\{\gamma_i\}$ и порождает систему уравнений сдвигового типа

$$\begin{cases} f(x_1, \dots, x_n) = \gamma_1 \\ f(x_2, \dots, x_{n+1}) = \gamma_2 \\ \vdots \\ f(x_N, \dots, x_{n+N-1}) = \gamma_N \end{cases} \quad (1)$$

Основополагающие результаты в этой области для булевых функций были по-

лучены С.Н. Сумароковым [4]. Им были заложены основы теории, связанной с анализом факта совместности систем вида (1). Данное направление получило название теории запретов и продолжает развиваться и сегодня, не потеряв своей актуальности при решении ряда задач дискретной математики (например, [5]).

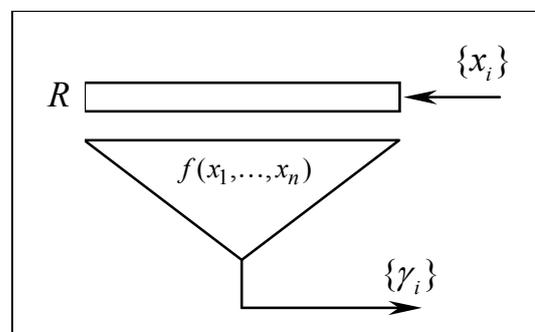


Рис. 1

В данной статье излагаются основные результаты проделанной работы по классификации всех булевых функций от 3-х переменных и построению для них обобщённых запретов. Все функции, для которых предложена специальная нумерация, разбиваются на классы, обладающие запретами единой структуры. В каждом классе выделяется некоторый представитель, для которого проводится доказательство несовместности запретной комбинации с помощью аппарата систем линейных неравенств.

Основные положения теории запретов булевых функций

Пусть $f(\vec{x}) = f(x_1, \dots, x_n)$ – булева функция от n переменных ($n \geq 2$), причем x_1, x_n – ее существенные аргументы, а среди x_2, \dots, x_{n-1} могут быть и фиктивные. Аргументы x_1, x_n функции $f(\vec{x})$ назовем крайними, x_2, \dots, x_{n-1} – внутренними.

Определение 1

Под весом булевой функции $f(\vec{x})$ понимается число наборов (x_1, \dots, x_n) , на которых функция принимает значение 1: $w_f = |(x_1, \dots, x_n) / f(x_1, \dots, x_n) = 1|$.

Функция $f(\vec{x})$ называется равновероятной, если $w_f = 2^{n-1}$.

Определение 2

Будем говорить, что булева функция $f(\vec{x})$ линейна по существенному аргументу x_j , если её можно представить в виде

$f(\vec{x}) = x_j + f_1(x_1, \dots, x_{j-1}, x_{j+1}, \dots, x_n) \pmod{2}$, где $f_1(\vec{x})$ – некоторая булева функция, не зависящая от аргумента x_j ; в противном случае будем говорить, что функция $f(\vec{x})$ нелинейна по существенному аргументу x_j .

Определение 3 [4]

Функция $f(\vec{x})$ называется *сильноравновероятной*, если для любого натурального N и любого набора значений $(\gamma_1, \dots, \gamma_N)$ система булевых уравнений (1) имеет ровно 2^{n-1} решений.

Очевидно, любая сильноравновероятная функция является равновероятной (достаточно в системе (1) положить $N = 1$). Обратное, как легко показать, неверно.

Определение 4

Комбинацию знаков выходной последовательности $\gamma_1, \dots, \gamma_N$ будем называть *запретом* функции $f(\vec{x})$, если система вида (1) несовместна.

Если система (1) для любого N и любой комбинации знаков $\gamma_1, \dots, \gamma_N$ совместна, то будем говорить, что $f(\vec{x})$ не имеет запрета.

Теорема 1

(критерий отсутствия запрета у булевой функции, [4])

Функция $f(\vec{x})$ не имеет запрета тогда и только тогда, когда она сильноравновероятна.

Следствие

Если функция $f(\vec{x})$ неравновероятна, то она имеет запрет.

Нетрудно заметить, что функция, линейная по крайней переменной, без запрета.

Приведем определения полузапрета и обобщенного запрета функции, которые рассматривались в работах [6–9].

Определение 5

Комбинацию знаков выходной последовательности $\gamma_1, \dots, \gamma_M$ будем называть *полузапретом* функции $f(\vec{x})$, если в системе вида (1) однозначно определяется одна или несколько переменных x_i .

Пусть переменные x_1, \dots, x_n снимаются с ячеек регистра с номерами $v_1, \dots, v_n, 1 \leq v_1 < \dots < v_n \leq n$ соответственно и $l_1 = v_2 - v_1, \dots, l_{n-1} = v_n - v_{n-1}$ – расстояния между существенными переменными функции $f(\vec{x})$. Приведем определение обобщенного запрета.

Определение 6

Комбинацию знаков выходной последовательности $\gamma_1, \dots, \gamma_N$ будем называть *обобщенным запретом* функции $f(\vec{x})$, если

система вида (1) несовместна при любых l_1, \dots, l_{n-1} за исключением, быть может, случая $l_1 = \dots = l_{n-1} = 1$, когда понятие обобщенного запрета совпадает с понятием запрета, приведенного в определении 4, который в дальнейшем мы будем называть *необобщенным запретом*.

Актуальность проведения классификационных исследований

Идея доказательства того, что выделенная комбинация знаков является запретом рассматриваемой функции, сводится к погружению множества решений исследуемой системы булевых уравнений (1) в некоторую систему линейных неравенств:

$$\begin{cases} a_1^{(1)}x_1 + \dots + a_{n+N-1}^{(1)}x_{n+N-1} \geq b^{(1)} \\ a_1^{(2)}x_1 + \dots + a_{n+N-1}^{(2)}x_{n+N-1} \geq b^{(2)} \\ \vdots \\ a_1^{(k)}x_1 + \dots + a_{n+N-1}^{(k)}x_{n+N-1} \geq b^{(k)} \end{cases} \quad (2)$$

Данный переход осуществляется путем замены каждого уравнения системы (1) на эквивалентную систему линейных неравенств [10, 11]. Очевидно, что если система (2) несовместна, то система (1) несовместна и $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_N$ – запрет функции $f(x_1, \dots, x_n)$.

Линейные неравенства могут быть построены с использованием параметрических заданий. Параметрическое задание при изменении введенных параметров в установленных пределах определяет класс пересекающих плоскостей соответствующей функции.

В каждом случае доказательство сводится к факту обнаружения несовместной подсистемы неравенств или нахождению противоречивых условий, налагаемых на отдельные неизвестные. Непосредственно из логики доказательства определяются те пределы изменения параметров, при которых доказательство справедливо. Условия, налагаемые на параметры, могут быть использованы для построения классов k -значных функций с запретами, в том числе и равновероятных при соответствующим выборе k , задаваемых при отображении единичного

куба в куб с ребром длиной $k - 1$. Такое отображение получило название метода растяжения [9]. Таким образом, каждая булева функция от 3-х переменных с запретом порождает классы k -значных функций с запретом схожей природы, что делает актуальным составление каталога всех булевых функций от 3-х переменных.

**Принципы классификационного исследования
Классы эквивалентных функций**

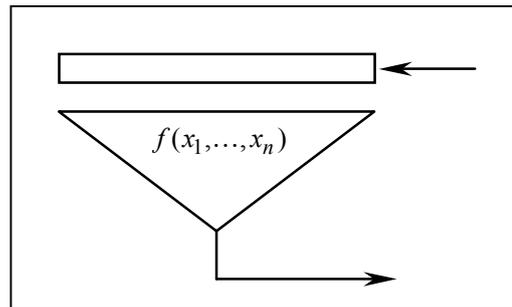


Рис. 2

Описание порядка перечисления функций предварим следующими важными замечаниями, позволяющими сгруппировать функции, имеющие запретные комбинации единой природы.

Пусть у функции $f(x_1, \dots, x_n)$ комбинация выходных знаков $\gamma_1, \dots, \gamma_N$ – запрет в схеме на рис. 2.

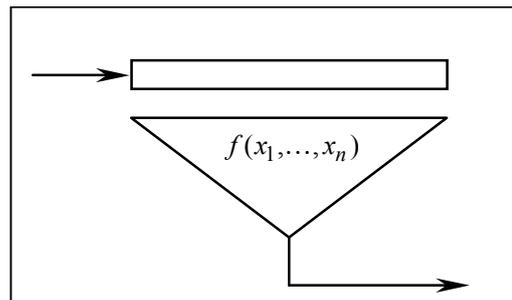


Рис. 3

Изменим направление поступления входной последовательности в регистр на рис. 2, получим схему, представленную на рис. 3. Очевидно, что $\gamma_N, \dots, \gamma_1$ будет запретом данного узла, так как в схеме на рис. 2 $\gamma_1, \dots, \gamma_N$ не может появиться на выходе ни

при каком входе. Но схема на рис. 3 эквивалентна исходной схеме (рис. 2), в которой на месте функции $f(x_1, \dots, x_n)$ стоит функция $f(x_n, \dots, x_1)$ и справедлива теорема 2.

Теорема 2

Комбинация знаков $\gamma_1, \dots, \gamma_N$ является запретом функции $f(x_1, \dots, x_n)$ тогда и только тогда, когда комбинация знаков $\gamma_N, \dots, \gamma_1$ является запретом функции $f(x_n, \dots, x_1)$.

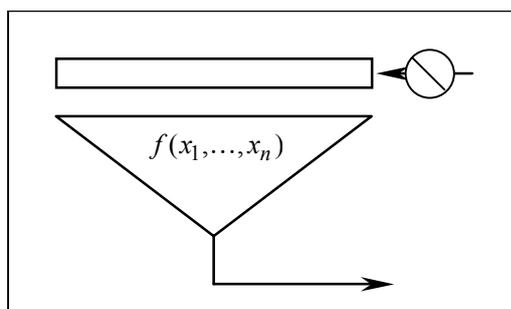


Рис. 4

Поставим инвертор на выходе схемы на рис. 2, получим схему на рис. 4. Очевидно, что $\gamma_1, \dots, \gamma_N$ будет запретом данной схемы, так как в схеме на рис. 2 $\gamma_1, \dots, \gamma_N$ не может появиться на выходе ни при каком входе, в том числе и инвертированном по отношению к первоначальному. Но схема на рис. 4 эквивалентна схеме на рис. 2, в которой на месте функции $f(x_1, \dots, x_n)$ стоит функция $f(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n)$ и справедлива теорема 3.

Теорема 3

Комбинация знаков $\gamma_1, \dots, \gamma_N$ является запретом функции $f(x_1, \dots, x_n)$ тогда и только тогда, когда данная комбинация является запретом функции $f(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n)$.

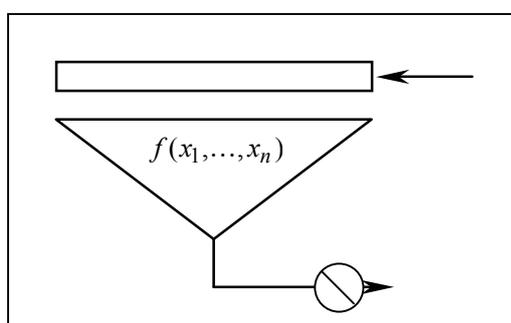


Рис. 5

Поставим инвертор на выходе схемы на рис. 2, получим схему на рис. 5. Очевидно,

что $\bar{\gamma}_1, \dots, \bar{\gamma}_N$ будет запретом данной схемы, так как в схеме на рис. 2 $\gamma_1, \dots, \gamma_N$ не может появиться на выходе ни при каком входе. Но схема (рис. 5) эквивалентна схеме (рис. 2), в которой на месте функции $f(x_1, \dots, x_n)$ стоит функция $\bar{f}(x_1, \dots, x_n)$ и справедлива теорема 4.

Теорема 4

Комбинация знаков $\gamma_1, \dots, \gamma_N$ является запретом функции $f(x_1, \dots, x_n)$ тогда и только тогда, когда комбинация знаков $\bar{\gamma}_1, \dots, \bar{\gamma}_N$ является запретом функции $\bar{f}(x_1, \dots, x_n)$.

Исходя из приведенных выше теорем заключаем, что каждая функция $f(x_1, \dots, x_n)$ с запретом порождает целый класс функций с запретом схожей природы, получающихся из $f(x_1, \dots, x_n)$ применением к ней преобразований:

- R – симметричной перестановки переменных функции (теорема 2);
 - I_v – инвертирования переменных функции (теорема 3);
 - I_f – инвертирования значений функции (теорема 4)
- и их композиций независимо от их порядка применения.

Совместное действие преобразований R и I_v получило название преобразования однотипности, которое, являясь отношением эквивалентности, разбивает все булевы функции на классы эквивалентности – *типы* [12].

Функции, эквивалентные относительно всех трех преобразований R, I_v, I_f , образуют классы *геометрической эквивалентности* [12]. Каждый класс объединяет 2 типа: тип порождающей функции f и тип порождающей функции \bar{f} .

Из каждого такого класса можно выбрать некоторый представитель – порождающую рассматриваемый класс функцию. Из теоремы 3 следует, что при $n = 3$ достаточно рассмотреть порождающие функции веса, не превосходящего 4, и строить для них запреты.

Нумерация графов связности по весам

Перечисление булевых функций от 3-х переменных проводится на базе класси-

фикации их графов связности, приведённых в табл. 1, использующей логику классификации булевых функций от 4-х переменных в работе [12]. Каждому графу придаётся двухпозиционный номер $a.b$, где a – вес функции, b – номер графа связности с a вершинами. Рассматривается пара графов, порожденных, соответственно, функцией f (вес которой не превосходит 4) и \bar{f} (вес которой, соответственно, больше или равен 4). Если номер графа, порожденного функцией f , есть $a.b$, то номер графа, порожденного функцией \bar{f} , будет $8 - a.b$. При $a = 4$ (функция равновероятная) полагается $8 - a = \bar{4}$, и номер графа функции \bar{f} полагается равным $\bar{4}.b$.

У однотипных функций графы связности совпадают. У неоднотипных функций графы связности могут также совпадать, но их неоднотипность может быть обнаружена очевидным образом из несовпадения графов связности инвертированной функции (при $n = 3$).

Рассмотрение пары графов в нумерации связано с тем, что графы 2.2 и 2.3 (отличающиеся числом ребер между единичными вершинами) функции f совпадают, но соответствующие графы 6.2 и 6.3 функции \bar{f} различны.

Отметим, что графы связности с номерами 4.1, 4.5, 4.6 и, соответственно, с номерами $\bar{4}.1$, $\bar{4}.5$, $\bar{4}.6$ порождают линейные функциям, которые не имеют запрета [4].

Т а б л и ц а 1

Вес функции f	Граф связности функции f	Номер графа связности функции f	Вес функции \bar{f}	Граф связности функции \bar{f}	Номер графа связности функции \bar{f}
0		0.1	8		8.1
1		1.1	7		7.1
2		2.1	6		6.1
		2.2			6.2
		2.3			6.3
3		3.1	5		5.1
		3.2			5.2
		3.3			5.3
4		4.1	4		$\bar{4}.1$
		4.2			$\bar{4}.2$
		4.3			$\bar{4}.3$
		4.4			$\bar{4}.4$
		4.5			$\bar{4}.5$
		4.6			$\bar{4}.6$

Нумерация функций

Нумерация каждой функции от 3-х переменных представляет из себя 4 цифры: $a.b.c.d$, где: $a.b$ – номер её графа связности (табл. 1), c – порядковый номер порождающей её функции, d – указывает на номер преобразования σ из E (тождественное) ($d = 1$), I_v ($d = 2$), R ($d = 3$), $R \circ I_v$ ($d = 4$), осуществленного над:

- порождающей функцией $f(x_1, \dots, x_n)$, если $a \leq 4$,
- над ее инверсией $\bar{f}(x_1, \dots, x_n)$, если $a \geq 5$.

Общая концепция нумерации функций и вида их запретных комбинаций (исходя из теорем 2, 3, 4) приводится в табл. 2.

Таким образом, зная номер $a.b.c.d$ рассматриваемой функции, можно легко найти функцию, ее порождающую, и преобразование, осуществленное над ней для получения рассматриваемой функции. Её номер будет равен $a.b.c.1$, если $a \in \{0,1,2,3,4\}$ (вес функции не превосходит 4); $8 - a.b.c.1$, если $a \in \{4,5,6,7,8\}$ (вес функции больше или равен 4); с учетом соглашения, что $8 - \bar{4} = 4$.

Преобразование d находится из табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Функция	Преобразование порождающей функции	Номер функции	Общий вид не-обобщенного запрета	Общий вид обобщенного запрета (l_{s1}, l_{s2} зависят от расстояний между существенными переменными функцией)
$f(x_1, \dots, x_n)$	$\sigma = E$	$a.b.c.1$	$\gamma_{i_1} \gamma_{i_2} \gamma_{i_3} \dots \gamma_{i_t}$	$\gamma_{j_1} \overbrace{\gamma_{j_2}}^{l_{s1}} \underbrace{\gamma_{j_3} \dots \gamma_{j_s}}_{l_{s2}}$
$f(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n)$	$\sigma = I_v$	$a.b.c.2$	$\gamma_{i_1} \gamma_{i_2} \gamma_{i_3} \dots \gamma_{i_t}$	$\gamma_{j_1} \overbrace{\gamma_{j_2}}^{l_{s1}} \underbrace{\gamma_{j_3} \dots \gamma_{j_s}}_{l_{s2}}$
$f(x_n, \dots, x_1)$	$\sigma = R$	$a.b.c.3$	$\gamma_{i_t} \dots \gamma_{i_3} \gamma_{i_2} \gamma_{i_1}$	$\gamma_{j_s} \dots \gamma_{j_3} \overbrace{\gamma_{j_2}}^{l_{s1}} \underbrace{\gamma_{j_1}}_{l_{s2}}$
$f(\bar{x}_n, \dots, \bar{x}_1)$	$\sigma = R \circ I_v$	$a.b.c.4$	$\gamma_{i_t} \dots \gamma_{i_3} \gamma_{i_2} \gamma_{i_1}$	$\gamma_{j_s} \dots \gamma_{j_3} \overbrace{\gamma_{j_2}}^{l_{s1}} \underbrace{\gamma_{j_1}}_{l_{s2}}$
$\bar{f}(x_1, \dots, x_n)$	$\sigma = I_f$	$8 - a.b.c.1$	$\bar{\gamma}_{i_1} \bar{\gamma}_{i_2} \bar{\gamma}_{i_3} \dots \bar{\gamma}_{i_t}$	$\bar{\gamma}_{j_1} \overbrace{\bar{\gamma}_{j_2}}^{l_{s1}} \underbrace{\bar{\gamma}_{j_3} \dots \bar{\gamma}_{j_s}}_{l_{s2}}$
$\bar{f}(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n)$	$\sigma = I_f \circ I_v$	$8 - a.b.c.2$	$\bar{\gamma}_{i_1} \bar{\gamma}_{i_2} \bar{\gamma}_{i_3} \dots \bar{\gamma}_{i_t}$	$\bar{\gamma}_{j_1} \overbrace{\bar{\gamma}_{j_2}}^{l_{s1}} \underbrace{\bar{\gamma}_{j_3} \dots \bar{\gamma}_{j_s}}_{l_{s2}}$
$\bar{f}(x_n, \dots, x_1)$	$\sigma = I_f \circ R$	$8 - a.b.c.3$	$\bar{\gamma}_{i_t} \dots \bar{\gamma}_{i_3} \bar{\gamma}_{i_2} \bar{\gamma}_{i_1}$	$\bar{\gamma}_{j_s} \dots \bar{\gamma}_{j_3} \overbrace{\bar{\gamma}_{j_2}}^{l_{s1}} \underbrace{\bar{\gamma}_{j_1}}_{l_{s2}}$
$\bar{f}(\bar{x}_n, \dots, \bar{x}_1)$	$\sigma = I_f \circ R \circ I_v$	$8 - a.b.c.4$	$\bar{\gamma}_{i_t} \dots \bar{\gamma}_{i_3} \bar{\gamma}_{i_2} \bar{\gamma}_{i_1}$	$\bar{\gamma}_{j_s} \dots \bar{\gamma}_{j_3} \overbrace{\bar{\gamma}_{j_2}}^{l_{s1}} \underbrace{\bar{\gamma}_{j_1}}_{l_{s2}}$

Складывая неравенства полученной системы, имеем $0 \geq 3\delta + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - 4$. Данное неравенство является противоречивым при выполнении неравенства $3\delta + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - 4 > 0$, которое справедливо при ограничениях на параметры $\delta, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ в задании функции. Тем самым доказано, что комбинация 2.2.2.1.1 – запрет функции 2.2.2.1 при выполнении условия $3\delta + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - 4 > 0$.

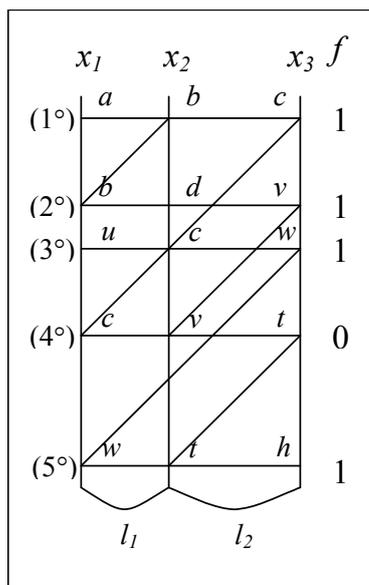


Рис. 6

Замечание 1

При доказательстве того, что комбинация 2.2.2.1.1 является запретом функции 2.2.2.1, неравенства с ε_1 и с ε_4 не использовались. Поэтому комбинация 2.2.2.1.1 является запретом и для функций 1.1.2.2, 2.1.4.3, 3.1.7.1, приведённых на рис. 7.

Замечание 2

Используя метод растяжения (см. [9]) для рассмотренной функции 2.2.2.1, нетрудно показать справедливость теоремы 5.

Теорема 5

Пусть k -значная функция $f^k(x_1, \dots, x_n)$ удовлетворяет условию

$$f^k(x_1, \dots, x_n) = \alpha \Rightarrow \begin{cases} x_{s_2} \geq \delta, & 0 < \delta \leq k-1 \\ x_{s_1} + (1-x_{s_3}) \geq \varepsilon_1, & 0 < \varepsilon_1 \leq k-1 \\ (1-x_{s_1}) + x_{s_3} \geq \varepsilon_2, & 0 < \varepsilon_2 \leq k-1 \end{cases}$$

$$f^k(x_1, \dots, x_n) = \beta \Rightarrow \begin{cases} (1-x_{s_1}) + (1-x_{s_2}) + (1-x_{s_3}) \geq \varepsilon_3, & 0 < \varepsilon_3 \leq k-1 \\ x_{s_1} + (1-x_{s_2}) + x_{s_3} \geq \varepsilon_4, & 0 < \varepsilon_4 \leq k-1 \end{cases}$$

Тогда, если $3\delta + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - 4 > 0$, то комбинация выходных знаков

$$\underbrace{\alpha}_{l_1} \underbrace{\alpha}_{l_1} \underbrace{\alpha}_{l_2} \underbrace{\beta}_{l_2} \underbrace{\alpha}_{l_2}$$

является запретом уже для целого класса функций, где $1 \leq s_1 < s_2 < s_3 \leq n$, $l_1 = s_2 - s_1$, $l_2 = s_3 - s_2$.

Результаты классификационных исследований

Суммарные сведения проделанной классификации представлены в табл. 4. Данные приведенной таблицы содержат исчерпывающую информацию о наличии обобщенных запретов всех булевых функций от 3-х переменных, за исключением функций с графом связности 4.4 (соответствующие поля таблицы помечены *), речь о которых пойдет в следующем пункте.

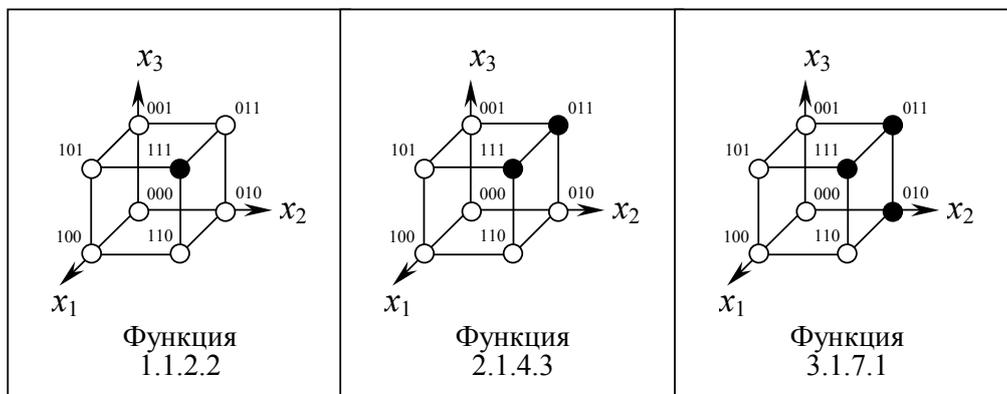


Рис. 7

Граф связности порождающей функции	Число функций с обобщенным запретом с заданным графом связности длины:											Всего функций с запретом с графом связности:
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	>10 (22)	
0.1	2											2
1.1		12		4								16
2.1		12	12									24
2.2			12		12							24
2.3					8							8
3.1			12	36								48
3.2							4	28	16			48
3.3									8	4	4	16
4.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.2							8					8
4.3					16		8					24
4.4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Всего функций с запретом заданной длины	2	24	36	40	36	*	20	28	24	4	4	

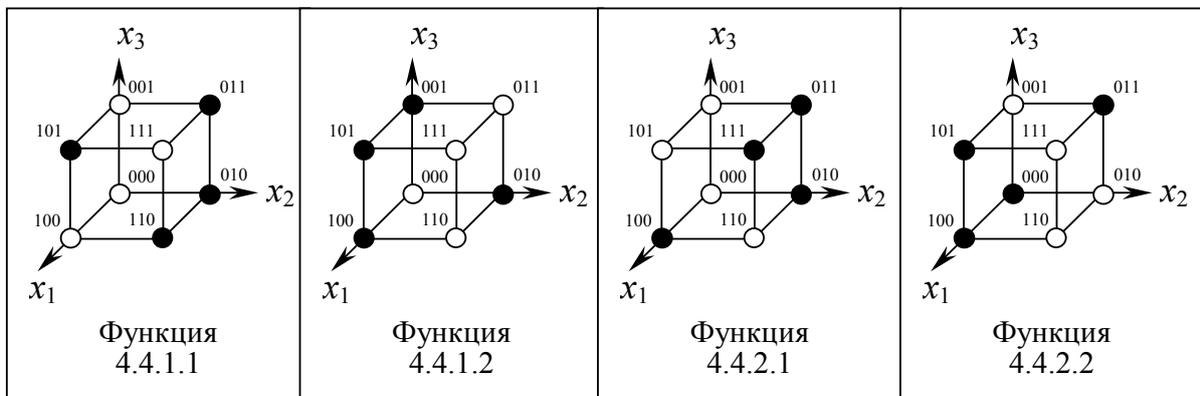


Рис. 8

Функции с графом связности 4.4

Функции с графом 4.4 представляют собой особый интерес. Среди функций с таким графом связности есть как линейные по крайней переменной (они без запрета), так и функции, линейные по средней переменной, представленные на рис. 8.

Для приведенных функций удалось построить необобщенные запреты (при $l_1 = l_2 = 1$). Однако обобщенные запреты построить не удалось.

Была написана программа, проверяющая критерий Сумарокова для данных функций при различных длинах N выходной последовательности. Для каждой длины считалось число всевозможных последовательностей на выходе схемы на рис. 1 $\{y_i\}$ при всевозможных последовательностях на входе $\{x_i\}$. В частности, удалось установить, что при $l_1 = 2, l_2 = 3$ у функции 4.4.1.1 для значений N от 1 до 4 включительно распределение выходных последовательностей равновероятно, каждая последовательность встречается по $32 = 2^5 = 2^{6-1}$ раза, где 6 – число переменных исследуемой функции при $l_1 = 2, l_2 = 3$ (рис. 9а), а уже начиная с $N = 5$ наблюдается отклонение от равновероятности в появлении выходных последова-

тельств, что говорит о нарушении сильноравновероятности функции (нарушении критерия Сумарокова) (рис. 9б). Следовательно, данная функция имеет запрет, что и удалось показать при $N = 12$ (рис. 9в).

Запретом функции 4.4.1.1 при $l_1 = 2, l_2 = 3$ будет комбинация знаков выходной последовательности:

$$1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1. \quad (3)$$

Данный результат характеризуется наличием у функции полузапрета длины 7 – 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, при котором определяется переменная $a = 1$ согласно диаграмме на рис. 10. Таким образом, смещая данный полузапрет относительно себя вверх на $l_1 = 2$ и вниз на $l_2 = 3$, получаем заполнение регистра

в состоянии $(5^\circ) 1 \overset{2}{\underbrace{1}} \overset{3}{\underbrace{1}}$ и на этом наборе функция 4.4.1.1 принимает значение 1 (рис. 10), что противоречит ее геометрическому заданию (рис. 8).

Дальнейшие исследования показали, что если для расстояний l_1, l_2 функции 4.4.1.1 выполняется соотношение

$$\min\{l_1, l_2\} = t \cdot |l_2 - l_1|, \quad (4)$$

где t – натуральное число, то в этом случае комбинация знаков

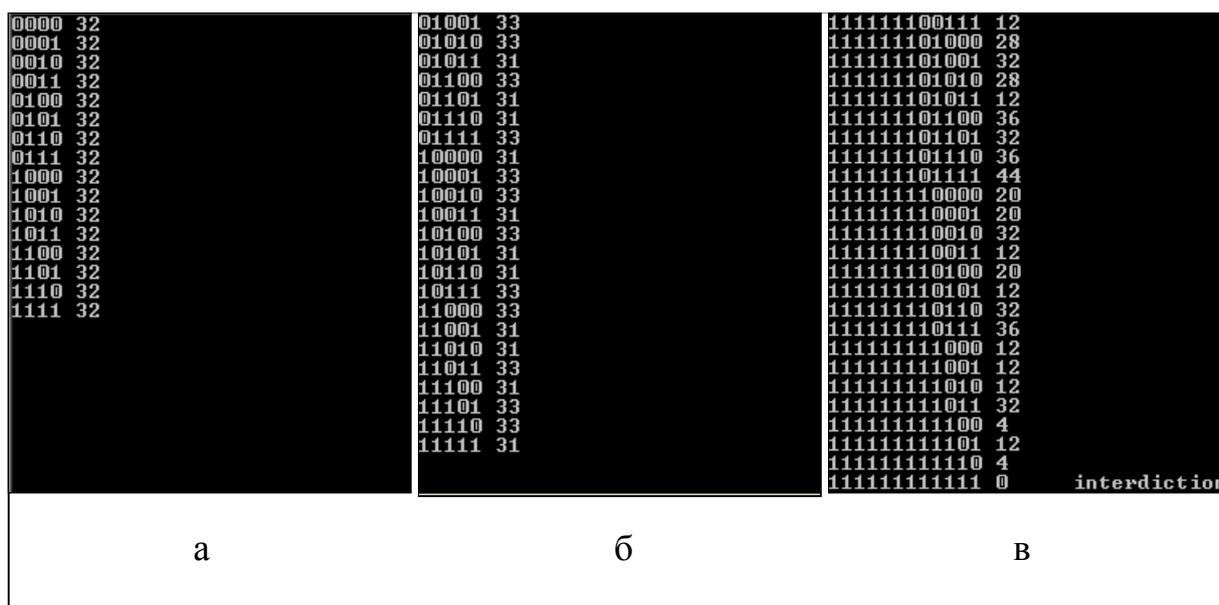


Рис. 9

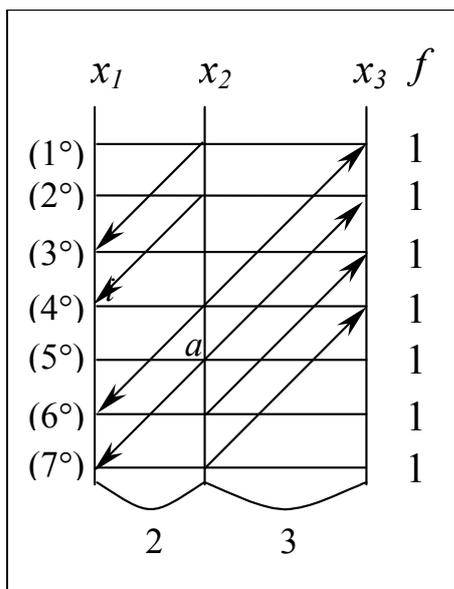


Рис. 10

$$\underbrace{1}_{|l_2-l_1|} \underbrace{1}_{|l_2-l_1|} \dots \underbrace{1}_{|l_2-l_1|} \quad (5)$$

с числом единиц

$$s = \frac{l_1 + (l_1 + l_2 + \min\{l_1, l_2\}) + l_2}{|l_2 - l_1|} = 2 \cdot \frac{l_1 + l_2}{|l_2 - l_1|} + t = 2 \cdot \frac{2t+1}{t} \cdot t \cdot |l_2 - l_1| + t = 5t + 2$$

является запретом. Данный результат также основан на наличии полузапрета длины

$$\frac{(l_1 + l_2 + \min\{l_1, l_2\})}{|l_2 - l_1|}$$

со структурой, представленной на рис. 11. Нетрудно заметить, что вариант $l_1 = 2, l_2 = 3$ является частным случаем приведенного обобщения, так как соотношение (4) выполняется при $t = 2: \min\{2, 3\} = 2 = t \cdot |3 - 2| = t$. Поэтому в данном случае комбинация (5) примет вид: $\underbrace{1}_1 \underbrace{1}_1 \dots \underbrace{1}_1$, число единиц равно $s = 5 \cdot t + 2 = 5 \cdot 2 + 2 = 12$, которая совпадает с комбинацией (3).

Комбинация знаков (5) не является обобщенным запретом функции. В частности, это не так при $l_1 = 1, l_2 = 4$. Результат работы программы в этом случае следующий: при $N \geq 5$ наблюдается отклонение от равновероятности в появлении выходных последовательностей, а при $N = 14$ удается найти 4 запрещенных комбинации (рис. 11). Заметим, что комбинация, состоящая из всех единиц, не является запретом в данном случае и имеет не слишком большое отклонение от равновероятности (рис. 11в), которое остается неизменным при увеличении N до 20.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ (НШ-2358.2003.9).

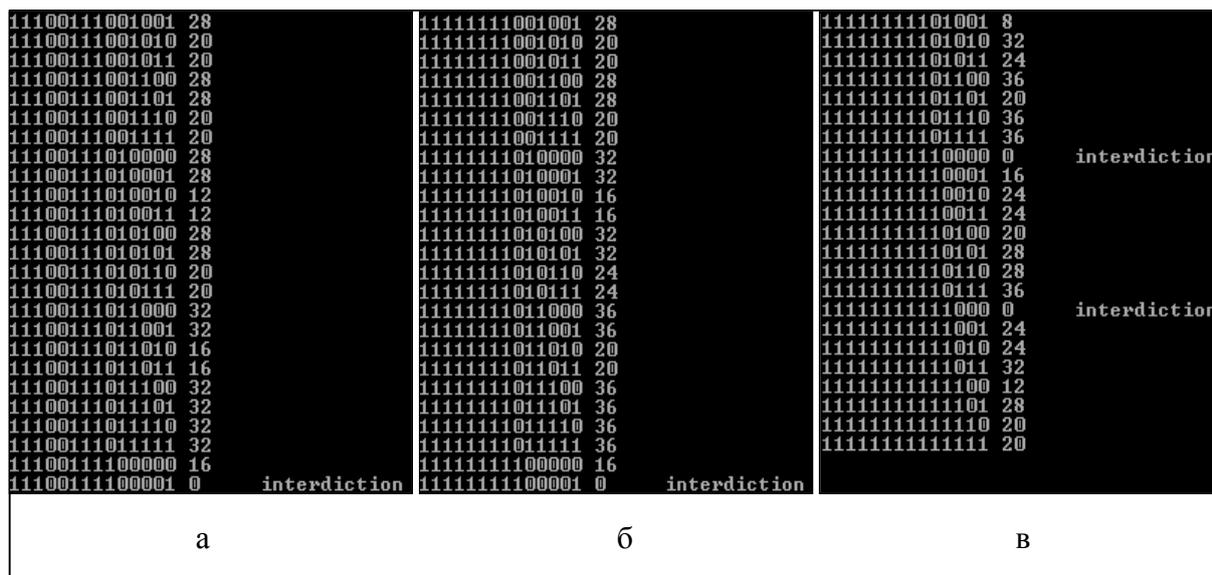


Рис. 11

Список литературы

1. Смирнов В. Г. Системы булевых уравнений рекуррентного типа // Обзорные прикладной и промышленной математики. Т. 2. – Вып. 3. – Науч. изд-во «ТВП», Москва, 1995. – С. 477–482.
2. Колесников О. В. Использование запретов двоичных функций при решении систем уравнений. // Обзорные прикладной и промышленной математики. Т. 2. – Вып. 3. Науч. изд-во «ТВП», Москва, 1995. – С. 483–493.
3. Алферов А.П., Зубов А.Ю., Кузьмин А.С., Чермушкин А.В. Основы криптографии: Учебное пособие. – М.: Гелиос АРВ, 2001. – С. 266.
4. Сумароков С. Н. Запреты двоичных функций и обратимость для одного класса кодирующих устройств // Обзорные прикладной и промышленной математики. Т. 1. – Вып. 1. Науч. изд-во «ТВП», Москва, 1994. – С. 33–55.
5. Рыбников К.К., Никонов Н. В. Прикладные задачи, сводящиеся к анализу и решению систем линейных неравенств. Метод разделяющих плоскостей. // Вестник МГУ леса «Лесной вестник», №2 (22), издательство Московского государственного университета леса, Москва, 2002. – С. 191–195.
6. Никонов В.Г., Никонов Н.В., Запреты k-значных функций и их связь с проблемой разрешимости систем уравнений специального вида. // Вестник РУДН. Серия Прикладная и компьютерная математика. – Т.2. – 2003. – №1.
7. Никонов Н. В. Применение полиэдральных методов в анализе систем сдвигового типа // Вестник ИКСИ. Серия «К». Специальный выпуск, посвященный 100-летию академика А.Н. Колмогорова. – М., 2003. – С. 151–162.
8. Никонов В. Г., Никонов Н. В. О проблемах локальной разрешимости и совместности систем k-значных уравнений сдвигового типа // Вестник МГУ леса «Лесной вестник», Изд-во МГУ леса. – 2004. – № 32. – С. 137–142.
9. Никонов Н. В. Метод растяжения в изучении проблем совместности нелинейных систем уравнений // НТЖ №5, приложение №1 «Успехи современного естествознания», Украина, Крым, Ялта-Гурзуф, 18-27 мая, «Академия Естествознания», Москва, С. 174–176.
10. Балакин Г. В., Никонов В. Г. Методы сведения булевых уравнений к системам пороговых соотношений // Обзорные прикладной и промышленной математики. Т. 1. – Вып. 3. – Науч. изд-во «ТВП», Москва, 1994. – С. 389–401.
11. Никонов В. Г. Пороговые представления булевых функций // Обзорные прикладной и промышленной математики. – Т. 1. Вып. 3. – Науч. изд-во «ТВП», Москва, 1994. – С. 402–457.
12. Никонов В. Г. Классификация минимальных базисных представлений всех булевых функций от четырёх переменных // Обзорные прикладной и промышленной математики. – Т. 1. – Вып. 3. Науч. изд-во «ТВП», Москва, 1994. – С. 458–545.

ОБОБЩЁННЫЙ ИТЕРАЦИОННЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ОДНОМЕРНЫХ ЗАДАЧ ЭНДОХРОННОЙ ТЕОРИИ СТАРЕЮЩИХ ВЯЗКОУПРУГИХ МАТЕРИАЛОВ

Д.Л. БЫКОВ, *проф. мех.-мат. факультета МГУ, д-р физ.-мат. наук,*
В.А. ШАЧНЕВ, *проф. каф. высшей математики МГУЛа, д-р физ.-мат. наук*

В работе [1] была доказана сходимости итерационного метода, позволяющего находить удельную рассеянную энергию в наполненных полимерных материалах. Указанная структурная составляющая удельной работы внутренних сил учитывает тепловое рассеивание энергии. При достижении ею мощности некоторого «порогового» значения начинается необратимое изменение внутренней структуры материала и переход рассеянной энергии в поглощённую. Её определение

позволяет оценивать повреждённость полимерных материалов, что можно осуществить в рамках нелинейной эндохронной теории стареющих вязкоупругих материалов [2].

Ниже излагается обобщённый итерационный метод, позволяющий фактически находить удельную поглощённую энергию при выполнении «порогового» условия для удельной рассеянной энергии.

Определение удельной рассеянной энергии $A = A_*$ соотношением

$$A(t) = A(0) - \int_0^t \gamma_*(\tau) \int_0^\tau R'(v(\tau_1, \tau_2, \tau)) d\varepsilon(\tau_1) d\varepsilon(\tau_2) d\tau,$$

где $v(\tau_1, \tau_2, t) = u(\tau_1, t) + u(\tau_2, t),$

$$u(\tau, t) = \int_\tau^t \lambda_*(\sigma) d\sigma,$$

здесь обобщено условиями

$$\gamma_*(t) = \gamma(\varepsilon(t); B, T), \quad \lambda_*(t) = \lambda(\varepsilon(t); B, T),$$

где $B = A_a$ есть удельная поглощённая энергия, расходуемая на необратимое изменение структуры материала, определяемая как

$$\frac{dB}{dt} = k_a(\varepsilon(t), \frac{dA}{dt} - W_s(t)) \eta(\frac{dA}{dt} - W_s(t)),$$

где η – функция Хависайда,

W_s – пороговая мощность удельной рассеянной энергии,

k_a – коэффициент поглощения.

Для малых времён $dA/dt < W_s$ и $dB/dt = 0$, а так как $B(0) = 0$, то $B(t) \equiv 0$. Тогда

$$A(t) = A(0) - \int_0^t \gamma_0(\tau) \int_0^\tau R'(v_0(\tau_1, \tau_2, \tau)) d\varepsilon(\tau_1) d\varepsilon(\tau_2) d\tau,$$

где $v_0(\tau_1, \tau_2, t) = u_0(\tau_1, t) + u_0(\tau_2, t),$

$$u_0(\tau, t) = \int_\tau^t \lambda_0(\sigma) d\sigma,$$

$$\gamma_0(t) = \gamma(\varepsilon(t); 0, T), \quad \lambda_0(t) = \lambda(\varepsilon(t); 0, T).$$

Эти соотношения имеют место для $t \leq t_s$, и момент времени t_s определяется из соотношения $dA/dt = W_s$:

$$-\gamma_0(t) \int_0^t \int_0^\tau R'(v_0(\tau_1, \tau_2, t)) d\varepsilon(\tau_1) d\varepsilon(\tau_2) = W_s(t).$$

Теперь для $t > t_s$ имеем

$$A(t) = A_s - \int_{t_s}^t \gamma_*(\tau) \int_0^\tau R'(v(\tau_1, \tau_2, \tau)) d\varepsilon(\tau_1) d\varepsilon(\tau_2) d\tau,$$

где

$$A_s = A(0) - \int_0^{t_s} \gamma_0(\tau) \int_0^\tau R'(v_0(\tau_1, \tau_2, \tau)) d\varepsilon(\tau_1) d\varepsilon(\tau_2) d\tau,$$

и следующее определение удельной поглощённой энергии

$$B(t) = \int_{t_s}^t k_a(\varepsilon(\tau); A'(\tau) - W_s(\tau)) d\tau, \quad A'(t) = dA/dt.$$

Соотношения для A и B определяют нелинейную систему уравнений для этих величин. Для решения системы построим сле-

дующий итерационный процесс последовательных приближений к решению. Положим

$$A_1(t) = A_s - \int_{t_s}^t \gamma_0(\tau) \int_0^\tau R'(v_0(\tau_1, \tau_2, \tau)) d\varepsilon(\tau_1) d\varepsilon(\tau_2) d\tau,$$

$$B_1(t) = \int_{t_s}^t k_a(\varepsilon(\tau); A'_1(\tau) - W_s(\tau)) d\tau,$$

и т.д. для $n > 1$:

$$A_n(t) = A_s - \int_{t_s}^t \gamma_{*(n-1)}(\tau) \int_0^\tau R'(v_{n-1}(\tau_1, \tau_2, \tau)) d\varepsilon(\tau_1) d\varepsilon(\tau_2) d\tau,$$

$$B_n(t) = \int_{t_s}^t k_a(\varepsilon(\tau); A'_n(\tau) - W_s(\tau)) d\tau,$$

где $v_n(\tau_1, \tau_2, t) = u_n(\tau_1, t) + u_n(\tau_2, t),$

$$u_n(\tau, t) = \int_\tau^t \lambda_{*n}(\sigma) d\sigma,$$

$$\gamma_{*n}(t) = \gamma(\varepsilon(t); B_n, T), \quad \lambda_{*n}(t) = \lambda(\varepsilon(t); B_n, T).$$

Для доказательства сходимости процесса положим, что $|\gamma_*(t)| \leq \Gamma$, $|R'(v)| \leq S$, $|k_a(\varepsilon(t), A'(t) - W_s(t))| \leq |A'(t) - W_s(t)|$ и

$$|\gamma(\varepsilon; B_n, T) - \gamma(\varepsilon; B_{n-1}, T)| \leq K |B_n - B_{n-1}|,$$

$$|\lambda(\varepsilon; B_n, T) - \lambda(\varepsilon; B_{n-1}, T)| \leq L |B_n - B_{n-1}|,$$

$$|R'(v_n) - R'(v_{n-1})| \leq M |v_n - v_{n-1}|,$$

$$|k_a(\varepsilon, A'_n - W_s) - k_a(\varepsilon, A'_{n-1} - W_s)| \leq k_0 |A'_n - A'_{n-1}|.$$

Как и в [1] здесь имеем

$$\begin{aligned} & |R'(u(\tau_1, t; B_n) + u(\tau_2, t; B_n)) - \\ & - R'(u(\tau_1, t; B_{n-1}) + u(\tau_2, t; B_{n-1}))| \leq \\ & \leq 2ML \int_0^t |B_n(\tau) - B_{n-1}(\tau)| d\tau. \end{aligned}$$

Согласно этим оценкам получаем с учётом, что $\varepsilon'(t) \geq 0$,

$$|A(t) - A_s| \leq \Gamma S \int_0^t \theta(\tau) d\tau, \quad \theta(t) = (\varepsilon(t))^2$$

$$0 \leq A'(t) - W_s(t) \leq A'(t) \leq \Gamma S \theta(t),$$

следовательно,

$$\begin{aligned} |B| & \leq \int_{t_s}^t |k_a(\varepsilon(\tau), A'(\tau) - \\ & - W_s(\tau))| d\tau \leq k_0 \int_{t_s}^t |A'(\tau) - W_s(\tau)| d\tau \leq \\ & \leq k_0 \Gamma S \int_0^t \theta(\tau) d\tau. \end{aligned}$$

Таким же образом получаем оценки для последовательностей

$$|A_n(t) - A_s| \leq \Gamma S \int_0^t \theta(\tau) d\tau, \quad |B_n| \leq k_0 \Gamma S \int_0^t \theta(\tau) d\tau.$$

Вместе с тем имеем

$$\begin{aligned} |A_{n+1}(t) - A_n(t)| &\leq \int_0^t \Gamma \int_0^\tau \int_0^\tau 2ML \int_0^\tau |B_n(\sigma) - \\ &- B_{n-1}(\sigma)| d\sigma d\varepsilon(\tau_1) d\varepsilon(\tau_2) d\tau + \\ &+ \int_0^t K |B_n(\tau) - B_{n-1}(\tau)| \int_0^\tau \int_0^\tau S d\varepsilon(\tau_1) d\varepsilon(\tau_2) d\tau = \\ &= 2\Gamma ML \int_0^t \int_0^\tau |B_n(\sigma) - B_{n-1}(\sigma)| d\sigma \theta(\tau) d\tau + \\ &+ KS \int_0^t |B_n(\tau) - B_{n-1}(\tau)| \theta(\tau) d\tau. \end{aligned}$$

Далее

$$\begin{aligned} A'_{n+1}(t) - A'_n(t) &= \gamma_{*(n-1)}(t) \int_0^t \int_0^t [R'(v_{n-1}) - \\ &- R'(v_n)] d\varepsilon(\tau_1) d\varepsilon(\tau_2) + \\ &+ [\gamma_{*(n-1)}(t) - \gamma_{*n}(t)] \int_0^t \int_0^t R'(v_n) d\varepsilon(\tau_1) d\varepsilon(\tau_2), \end{aligned}$$

откуда

$$\begin{aligned} |A'_{n+1}(t) - A'_n(t)| &\leq \Gamma \int_0^t \int_0^t |R'(v_n) - R'(v_{n-1})| d\varepsilon(\tau_1) d\varepsilon(\tau_2) + \\ &+ K |B_n(t) - B_{n-1}(t)| \int_0^t \int_0^t |R'(v_n)| d\varepsilon(\tau_1) d\varepsilon(\tau_2) \leq \\ &\leq \Gamma \int_0^t \int_0^t 2ML \int_0^t |B_n(\tau) - B_{n-1}(\tau)| d\varepsilon(\tau_1) d\varepsilon(\tau_2) + \\ &+ KS |B_n(t) - B_{n-1}(t)| \theta(t) = \end{aligned}$$

$$= (2\Gamma ML \int_0^t |B_n(\tau) - B_{n-1}(\tau)| d\tau + KS |B_n(t) - B_{n-1}(t)|) \theta(t).$$

Теперь

$$\begin{aligned} |B_{n+1}(t) - B_n(t)| &\leq \int_0^t |k_a(\varepsilon, A'_n - W_s) - \\ &- k_a(\varepsilon, A'_{n-1} - W_s)| d\tau \leq \\ &\leq k_0 \int_0^t |A'_n(\tau) - A'_{n-1}(\tau)| d\tau \leq \\ &\leq k_0 \int_0^t (2\Gamma ML \int_0^\tau |B_n(\sigma) - B_{n-1}(\sigma)| d\sigma + \\ &+ KS |B_n(\tau) - B_{n-1}(\tau)| \theta(\tau) d\tau). \end{aligned}$$

В результате для последовательности B_n получено такое же рекуррентное соотношение, что и в [1] для A_n . Там доказано, что последовательность A_n , здесь – B_n , равномерно сходится, а следовательно, равномерно сходится здесь и последовательность A_n . Непосредственно подстановкой проверяется их сходимость к решению системы уравнений, позволяющему определять удельную поглощённую энергию.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 03-01-00667).

Список литературы

1. Быков Д. Л., Шачнев В. А. Итерационный метод решения одномерных задач нелинейной эндохронной теории старения вязкоупругих материалов, 2003 г.

АННОТАЦИИ / ABSTRACTS

Макуев В.А. ОБЩАЯ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЫБОРА МАШИН ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОМПЛЕКСА ЛЕСОСЕЧНЫХ РАБОТ ПРЕДПРИЯТИЯ.

Приводится общая экономико-математическая постановка задачи к выбору и расчету машин для выполнения комплекса лесосечных работ на предприятии, а также технических средств для их обслуживания

Савельев В.В. СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ И ПАРАМЕТРОВ КОЛЕЙНЫХ ПОКРЫТИЙ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ.

Изложена структура разработанной системы автоматизированного проектирования с описанием ее подсистем. Приведены некоторые результаты расчетов параметров железобетонных плит.

Saveljev V.V. AN AUTOMATED DESIGN ENGINEERING SYSTEM OF CONCRETE TABLES AND PARAMETERS OF TRACK COVERS LOGGING OF ROADS.

The frame of a designed automated design engineering system with the description of its subsystems is set up. Some outcomes of calculations of parameters of concrete tables are adduced.

Мануковский А.Ю. ТЕХНОЛОГИЯ ВОДНОЙ ДОСТАВКИ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ В СОРТИМЕНТНЫХ И ХЛЫСТОВЫХ ПЛОТАХ.

В представленной статье рассматривается технология доставки лесоматериалов в плотках береговой сплотки, обеспечивающей доставку древесины без потерь. Норма предельного содержания древесной массы в воде, минимально воздействующей на экологические системы водоёмов.

Manukovskyi A.J. THE TECHNOLOGY OF WATER DELIVERY OF TIMBER ON SHORT-WOOD AND TREE-LENGTH RAFTS.

The technology of delivery of timber in the rafts of bank bundling, providing the delivery without losses is stated in the article. The norm of the limit timber mass content in the water, minimally influencing the water bodies ecosystems is studied.

Ларионов В.Я., Котляр В.И., Левушкин Д.М. ВЫБОР СИСТЕМЫ МАШИН ЛЕСОТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕССА.

В статье представлен формализованный подход к формированию системы машин лесотранспортного процесса. Рассмотрены основные принципы и критерии расчета парка машин.

Larionov V., Kotliar V., Levushkin D. CHOICE OF SYSTEM OF MACHINES OF PROCESS OF DELIVERY OF A WOOD.

In article the formalized approach to formation of system of machines for process of delivery of a wood is submitted. Main principles and criteria of calculation of park of machines are considered.

Павлов А.И. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГИДРОПРИВОДА ЛЕСОСЕЧНЫХ МАШИН.

В данной статье проведено исследование приспособленности гидропривода и его элементов к диагностированию, определена доступность, удобство, легкосъемность диагностической информации, информативность параметров диагностирования. Обоснована возможность определения общего технического состояния гидропривода в функциональном и тестовом режимах.

Павлов А.И., Ширнин Ю.А. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГИДРОПРИВОДА СУЧКОРЕЗНОЙ МАШИНЫ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ.

Приведены результаты исследований гидроприводов сучкорезных машин по обоснованию метода контроля их технического состояния в процессе эксплуатации машины, выбран диагностический параметр.

Сучкорезная машина, гидропривод, функциональное диагностирование, параметр диагностирования, случайный процесс, спектральная плотность, максимумы.

Pavlov A.I., Shirnin U.A. THE RESULTS OF THE STUDY HYDRAULIC DRIVE GNARL-CARVED MACHINES IN WORKING CONDITION.

The Brought results of the studies hydraulic drive gnarl-carved of the machines on motivation of the method of the checking their technical condition in process of the usages of the machine, choose the diagnostic parameter.

Gnarl-carved machine, hydraulic drive, functional diagnostics, parameter diagnostics, casual process, spectral density, maximums.

Корнеев В.М., Черепицкий С.В., Шамарин Ю.А. МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ФОРСУНОК ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ.

В данной статье рассмотрено применение аналогово-цифровых преобразователей и микроЭВМ в приборах для испытания и регулировки форсунок, позволяющее повысить точность измерений. Также представлена блок-схема измерительного комплекса, рассмотрена его работа и приведен метод, применение которого позволяет исключить влияние негерметичности топливной системы прибора на показания при оценке гидравлической плотности распылителя.

Korneev V.M., Cherepickiy S.V., Shamarin U.A. MODERNIZATION OF INSTRUMENTS FOR TEST AND REGULATIONS OF INJECTORS DIESEL ENGINES.

In given article is considered using analog-digital converters and microCOMP. in instruments for test and regulations of injectors, allowing raise accuracy of measurements. Is it Also presented block diagram measuring complex, is considered its work and is brought method, which using allows to exclude the influence a nonhermeticity of fuel system an instrument on evidences at estimation hydraulic density sprayer.

Войтко П.Ф. МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МАШИН И ВЫГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВ НА РЕЙДАХ ПРИПЛАВА.

Разработана программа и методика, получены результаты экспериментальных исследований гидромеханических нагрузок на грузоподъемные машины (краны КМ-3076, КБ-572Б, выгрузочные устройства К-122, К-125, К-131) при вертикальном и наклонном подъеме лесных грузов из покоящейся жидкости в натуральных и лабораторных условиях.

Поздеев А.Г., Царев Е.М. ИМИТАЦИОННОЕ ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ УДЕРЖИВАЮЩЕЙ ЗАПАНИ ДЛЯ СБОРА ПЛАВАЮЩИХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ.

Предлагается метод построения и применения имитационной динамической модели функционирования удерживающей запани для сбора плавающих лесоматериалов.

Pozdeev A.G. Tsarev E.M. A SYSTEM DYNAMICS SIMULATION MODELING OF WITHHOLD BOOT FOR EMERGENCE WOOD COLLECTION.

A method system dynamics simulation modeling of withhold boot for emergence wood collection is given.

Царев Е.М. МЕТОД ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА НА ОСНОВЕ ШКАЛЫ СРАВНЕНИЙ.

В работе рассматривается метод оценки качества технического объекта на основе шкалы сравнений.

The method of a technical object quality assessment on the basis of the scale of comparisons is studied.

Толстоногов Э.Ю. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЗДУХОПЛАВАТЕЛЬНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (ВЛА) В ЛЕСНОМ КОМПЛЕКСЕ.

В статье представлен зарубежный и отечественный опыт применения воздухоплавательных летательных аппаратов (ВЛА) в лесном комплексе. В ходе этого опыта установлены положительные стороны трелевки с применением ВЛА (отсутствие вредного воздействия на растительный слой и почву, возможность работы при боковом ветре, большая грузоподъемность и относительно невысокая в сравнении с вертолетами себестоимость древесины, сравнительно невысокие энергозатраты) и факторы, препятствующие внедрению аэростатов (отсутствие специальных комплексов для наполнения оболочки, ветрозащищенных мест, и использование аппаратов малой грузоподъемности – в основном до 2 т, отсутствие надежной управляемости, до сих пор нет инструктивно-правовой документации, рекомендаций к применению). В статье отмечено о разработке Хабаровским государственным техническим университетом физической модели аэростатно-канатной системы с целью исследования описания ее параметров на производительность и эффективность.

Афоничев Д.Н. ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРАПЕЦЕИДАЛЬНЫХ ПЛИТ СБОРНЫХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ УЧАСТКОВ КРИВЫХ В ПЛАНЕ.

Рассмотрены аспекты устройства сборных дорожных покрытий на кривых в плане. Определены условия применения трапецеидальных плит на кривых в плане. Предложен критерий количественно характеризующий форму дорожной трапецеидальной плиты (показатель формы) – коэффициент трапецеидальности. Представлены расчетные схемы аналитические и графические зависимости, связывающие между собой плановые размеры плиты, показатель формы и радиус кривой. Материалы статьи целесообразно использовать при разработке конструкций дорожных трапецеидальных плит.

Afonichev D.N. THE SUBSTANTATION OF THE PARAMETERS OF TRAPEZIUM PLATES OF ASSEMBLED ROAD COVERINGS ON THE SECTORS OF THE CURVE IN THE PLAN.

The aspects of the making of assembled road coverings on the sectors of the curve s in the plan are studied. The conditions of using the trapezium plates on the curves in the plan are given. The criterium, qualitatively characterizing the form of the road trapezium plate (the form indicator) – the coefficient of trapezoidality is developed. The schemes of analytical and graphical dependence, connecting the plan parameters of the plate, the form indicator and the curve radius are given. The data stated in the article can be used in the elaboration of the constructions of trapezium plates.

Курьянов В.К., Афоничев Д.Н. ПОВЫШЕНИЕ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ КАЧЕСТВ СБОРНЫХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОТГОНАХ ВИРАЖЕЙ.

Статья посвящена проблеме совершенствования конструкции сборных покрытий автомобильных дорог. Представлены полученные авторами аналитические и графические зависимости для определения параметров конструктивных элементов сборных дорожных покрытий на отгоне виража. Приведены конструктивные схемы плит для отгонов виражей.

Kurjanov V.K., Afonichev D.N. THE INCREASE OF TRANSPORT AND EXPLOITATIONAL PROPERTIES OF ASSEMBLED ROAD COVERINGS ON HE TURNS.

The problem of the improvement of the construction of assembled coverings of the automobile roads is stated in the article. Analytical and graphical dependence of the influences for the determination of the parameters of construction elements of assembled road coverings is investigated by the authors of the article. The constructive schemes of the plates for the turns are given.

Обыдёнников В.И., Никитин Ф.А. ЛЕСОВОДСТВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАБОТЫ АГРЕГАТНОЙ ТЕХНИКИ НА ЛЕСОСЕКАХ С ПОДРОСТОМ.

Осуществлена комплексная оценка работы агрегатной техники на лесосеках с подростом. При этом учтены лесоводственно-экономические. Технологические и экономические факторы.

Obydennikov V.I., Nikitin F.A. COMBINED SILVICCULTURAL-ECOLOGICAL ESTIMATION OF MACHINERY FUNCTIONING AT LOGGING SITES WITH UNDERGROWTH PRESERVED.

The combined estimation of machinery functioning at logging sites with preserved undergrowth has been developed. In addition, it takes into account the silvikultural, environmental, technological and economical factors.

Доев С.К., Олимпиев А.Е. ГОРИМОСТЬ ЛЕСОВ ЮЖНОГО ПРИМОРЬЯ И ПУТИ ЕЕ СНИЖЕНИЯ.

Горимость лесов того или иного региона обычно определяются: погодными условиями, своеобразием лесной растительности, наличием лесного горючего материала, посещаемостью лесов населением, развитой системой дорог, оперативностью лесоохранных служб - её оснащением и другим целым комплексом хозяйственных факторов.

На основании вышеизложенного и для детального исследования проектируемого объекта нами была разработана программа работ, включающая в себя изучение основных причин горимости лесов района.

Полевые работы по исследованиям горючих материалов, закономерностям возникновения и распространения огня в лесу, пополнили имеющиеся данные и охарактеризовали пирологическую картину в зоне исследования.

Как мы выяснили, снижение горимости лесов возможно только при наличии четкого и грамотного противопожарного устройства лесов, а так же ряда других работ и мероприятий выполнение которых, обеспечит действительное снижение горимости лесов Южного Приморья.

Doev S.K., Olimpijev A.E.

At the beginning of the article the authors describes dynamic analysis of wildfire has been made in the forestry farm for the 11 years and practical experience in the Southern Primorie.

The effect of forest fires run over the ground varies very widely with the weather conditions and the amount of fuel.

The authors makes recommendations on the preventive measures of wildfire and methods perfection of its realization.

Конашова С.И. СОСТОЯНИЕ И РОСТ ДУБРАВ В ВОСТОЧНОЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ.

В восточноевропейской части России за последние три десятилетия значительно сократились площади дубовых лесов, процесс их деградации продолжается. Вследствие влияния антропогенных и техногенных факторов, увеличения доли старовозрастных насаждений снизились показатели роста, продуктивность и жизнестойчивость дубовых лесов.

Konashova S.I. STATE AND GROWTH FOR OAK FORESTS IN THE EAST – EUROPEAN PART OF RUSSIA.

During the last three decades the areas under oak forests in the East-European part of Russia have reduced, the process of their degradation is going on. Due to the influence of anthropogenic and technogenic factors, to the increase in the share of old-age plantings the productivity and viability of oak forests have lowered.

Цай Ю.Т. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК ДЛЯ ВЫБОРА СТРУКТУРЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРНЫХ.

В статье изложена методика экспертных оценок для выбора структуры показателей при комплексной оценке безопасности лесных пожарных. Приведено ранжирование опасных факторов лесного пожара и средств защиты людей на лесных пожарах.

Сидоренков В.М. ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ В НАСАЖДЕНИЯХ С ЛЕСНЫМИ КУЛЬТУРАМИ ЕЛИ ПОД ПОЛОГОМ.

Рассматривается проблема разведение мягколиственных насаждений с лесными культурами под пологом в центральной части России. Проведенные нами исследования на 31 постоянной пробной площади в зоне хвойно-широколиственных лесов в коренных группах типов леса.

The problem of forest fur cultures under the canopy of the soft-leaf plantings is actual for the central part of Russia. Results of researches on 31 sample plots have allowed to assess forest plantations under the canopy. On the basis of an estimation of forest cultures and results of researches the best technologies of realization of cuts of rearrangement were allocated.

Селиванов В.А. ВЫРАЩИВАНИЕ В СЕРГИЕВО-ПОСАДСКОМ ОПЫТНОМ ЛЕСХОЗЕ ЦЕЛЕВЫХ НАСАЖДЕНИЙ ЕЛИ ИЗ ПОДРОСТА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПИЛОВОЧНИКА И БАЛАНСОВ.

В статье представлены результаты экспериментов по восстановлению хвойных пород на вырубках в Сергиево-Посадском опытном лесхозе. Эффективным способом использования естественного возобновления ели на вырубках является формирование из него насаждений целевого ресурсного назначения – для получения пиловочника или балансов.

In the article are presented the results of the experimental work of growing up fir stands out of the saved young generation on the harvest squares in the Sergiev Posad experimental forest enterprise of the Federal State Department «VNIILM».

The growing stands are oriented for logs and pulp. Here presented the system and norms of thinning cuts in the saved young fir generation stands for forming technical nature fir stands in the short period of time for harvesting saw and pulp wood and also the results of growing up.

Бойко А.А., Уразгильдин Р.В. ОСОБЕННОСТИ ВОДНОГО РЕЖИМА ЛИСТЬЕВ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ.

В работе проводится анализ показателей водного режима листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth.), сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и лиственницы Сукачева (*Larix sukaczewii* Dyl.) в условиях аэротехногенного загрязнения Уфимского промышленного центра. Показано увеличение уровня водного дефицита и снижение интенсивности транспи-

рациональных потерь листьями древесных растений. Отмечено нарушение суточной динамики транспирации листьев древесных под воздействием загрязнения воздуха. Выявлены видоспецифические изменения водного режима листьев древесных растений в условиях загрязнения воздуха.

Boyko A.A., Urazgildin R.V. FEATURES OF WOOD PLANTS LEAFS WATER MODE IN TECHNOGENIC POLLUTION CONDITIONS.

In the work the parameters analysis of birch, pine and larch leafs water mode in Ufa industrial center airtechnogenic pollution conditions is carrying out. The water deficiency level increase and transpiration losses intensity decrease of wood plants leafs is shown. The wood leafs transpiration daily dynamics infringement under air pollution influence is marked. Wood plants leafs water mode spespecific changes in air pollution conditions are revealed.

Бойко А.А. ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ РАЗВИТИЯ ЛИСТЬЕВ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ В УСЛОВИЯХ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.

В работе проводится оценка стабильности развития листьев березы повислой (*Betula pendula Roth.*) в условиях аэротехногенного загрязнения Уфимского промышленного центра. Показано, что в условиях загрязнения воздуха происходит усиленная диверсификация листьев, стабильность развития листьев березы повислой нарушается.

Boyko A.A. BIRCH LEAFS DEVELOPMENT STABILITY ESTIMATION IN ENVIRONMENT AIRTECHNOGENIC POLLUTION CONDITIONS.

In the work the birch leafs development stability estimation in Ufa industrial center airtechnogenic pollution conditions is carrying out. Is shown, that in air pollution conditions occurs amplified leafs diversification, the birch leafs stability development is broken.

Федотов Г.Н., Жуков Д.В. ВЛИЯНИЕ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ ГЕЛЕЙ НА ТЕПЛОПЕРЕДАЧУ В ПОЧВАХ.

В статье изучено влияние перестройки структуры органоминерального геля после добавления воды в воздушно сухие почвы на их температуропроводность, а также изменение температуропроводности почв при повышении температуры.

Показано, что структура органоминерального геля почв оказывает значимое влияние на теплопередачу и что при изменении структуры органоминерального геля почв коэффициент температуропроводности меняется сложным образом.

Федотов Г.Н., Жуков Д.В., Пахомов Е.И. ОРГАНИЗАЦИЯ КОЛЛОИДНЫХ ЧАСТИЦ В ПОЧВАХ В ГЕЛЕВЫЕ СТРУКТУРЫ.

Выдвинуто предположение о наличии взаимодействия между почвенными коллоидными частицами с образованием гелевых структур, включающих в свой состав почвенный раствор.

Четырехэлектродным методом на переменном и постоянном токах измерено удельное электросопротивление ряда почв в зависимости от их влажности и температуры. Обнаруженные эффекты повышения удельного электросопротивления при низких частотах (10-30 Гц) и малых напряженностях электрического поля в почвах, и повышения во времени удельного электросопротивления увлажненных абсолютно сухих почв подтвердили предположение о вхождении почвенного раствора в состав структуры ОМГ.

Показано, что структура органоминерального геля почв оказывает значимое влияние на теплоперенос и что при изменении структуры органоминерального геля почв коэффициент температуропроводности изменяется сложным образом. Обнаружено, что при повышении температуры на кривых изменения коэффициента температуропроводности наблюдается излом, свидетельствующий о температурном разрушении структуры ОМГ.

Выдвинутое предположение о вхождении почвенного раствора в структуру геля подтверждается также тем, что изменение структуры ОМГ влияет на скорость диффузии веществ в почвах, их структурно-механические свойства, способностью почв удерживать соли и липкость почв.

Серков Б.Б., Сивенков А.Б., Тхань Б.Д., Асеева Р.М. ИССЛЕДОВАНИЕ ТОКСИЧНОСТИ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ РАЗЛИЧНЫХ ПОРОД.

Исследовано влияние породы древесины на токсичность продуктов горения, а также на закономерности выхода монооксида и диоксида углерода при действии радиационного теплового потока различной интенсивности. Определены значения показателей токсичности для древесины 7 хвойных и лиственных пород России, из них 2 хвойные породы древесины (сосна, ель) и 2 лиственных породы древесины (береза "каменная", осина) из северного региона России и 3 лиственные породы древесины из Южного региона России: ильм карагач, дуб, липа.

Serkov B.B., Sivenkov A.B., Tkhan B.D., Aseeva R.M. STUDY ON TOXICITY OF COMBUSTION PRODUCTS OF VARIES SPECIES OF WOOD.

The influence of properties of varies species of wood on toxicity of combustion products has been studied. Discharge of monoxide and carbon dioxide under the influence of radiation heat flux was also investigated. The toxicity characteristics for 7 coniferous and foliate wood varieties from Russia has been established. Within this sample 2 coniferous (pine, fir) and foliate ("stone" birch, aspen) wood varieties from North Russia and 3 coniferous (elm, oak, linden) wood varieties from South Russia were included.

Тарасов С.М. СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА КАРТОНА ИЗ ВТОРИЧНОГО ВОЛОКНИСТОГО СЫРЬЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВОГО ГИДРОФОБИЗИРУЮЩЕГО СОСТАВА НА ОСНОВЕ ТАЛЛОВЫХ ПРОДУКТОВ.

Рассматриваются технологические аспекты использования нового состава, предназначенного для придания водостойкости целлюлозным материалам. Показано, что в технологии бумаги и картона максимальная эффективность состава достигается в сочетании с полиоксихлоридом алюминия. Полученные из вторичного волокна бумага и картон имеют высокие показатели качества. Приводится краткое технико-экономическое обоснование предлагаемой технологии.

The technological aspects of use of new structure intended for giving to water resistance to cellulose materials are considered. Is shown, that in technology of a paper and cardboard the peak efficiency of structure is reached in a combination with polyoxychloride of aluminium. Received from a secondary fibres a paper and cardboard have high parameters of quality. The brief feasibility report of offered technology is resulted.

Бутко Г. П., Перепелкина Л.Н. ФОРМИРОВАНИЕ СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬЮ ОРГАНИЗАЦИИ (ПРЕДПРИЯТИЯ).

В статье излагаются методические положения по управлению конкурентоспособностью предприятий лесопромышленного комплекса Уральского региона. Приводится диаграмма конкурентного статуса предприятия, определены функции управления конкурентоспособностью. Разработана модель прогнозирования спроса с помощью логистической функции.

G.P. Butko, L.N. Perepelkina. FORMATION OF STRATEGY OF MANAGEMENT BY COMPETITIVENESS OF THE ORGANIZATION (ENTERPRISE).

In article methodical positions on management of competitiveness of the enterprises of a timber industry complex of the Ural region are stated. The diagram of the competitive status of the enterprise is resulted, functions of management by competitiveness are determined. The model of forecasting of demand with the help of logistical function is developed.

Никонов Н.В. О КЛАССИФИКАЦИИ ВСЕХ БУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ ОТ 3-Х ПЕРЕМЕННЫХ С ОБОБЩЁННЫМИ ЗАПРЕТАМИ.

В статье излагаются результаты проделанной автором классификации всех булевых функций от 3-х переменных с обобщенными запретами с аналитическими доказательствами наличия запрета. Логика доказательства позволяет на основе булевой функции с запретом строить k -значные функции с запретом для любого « k ».

Nikonov N.V. ABOUT THE CLASSIFICATION OF ALL BOOLEAN FUNCTIONS OF THREE VARIABLES WITH THE SUMMARIZED INTERDICTIONS.

The article deals with the author's results about the classification of all Boolean functions of three variables with the summarized interdictions with the analytical demonstrations of existence of the interdictions. The logic of the demonstrations let us create k -functions interdictions for any « k » based on the Boolean function.

Быков Д.Л., Шачнев В.А. ОБОБЩЁННЫЙ ИТЕРАЦИОННЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ОДНОМЕРНЫХ ЗАДАЧ ЭНДОХРОННОЙ ТЕОРИИ ВЯЗКОУПРУГИХ МАТЕРИАЛОВ.

В статье доказана сходимость итерационного метода, позволяющего находить удельную поглощённую энергию наполненных полимерных материалов. При определении этой энергии выполняется ограничение на пороговое значение мощности удельной рассеянной энергии, обеспечивающее начало необратимого изменения внутренней структуры материала. Используется нелинейная эндохронная теория стареющих вязкоупругих материалов.

Bykov D.L., Shachnev V.A. A GENERALIZED ITERATIVE METHOD OF THE SOLUTION OF THE ONE-DIMENSIONAL PROBLEMS OF THE NONLINEAR ENDOCHRONIC THEORY OF VISCOELASTIC MATERIALS.

In the article convergence of an iterative process permitting to find a specific absorbing energy of filling polymeric material. By the definition of this energy the restriction for the thresholding significance of the power of specific diffused energy is fulfilled which guarantee the beginning of the unreturning change of internal structure of the material. Nonlinear endochronic theory of ageing visco-elastic materials is used.