ВЕСТНИК

Белорусско-Российского университета

ТРАНСПОРТ
МАШИНОСТРОЕНИЕ. МЕТАЛЛУРГИЯ
ПРИБОРОСТРОЕНИЕ
СТРОИТЕЛЬСТВО. АРХИТЕКТУРА
ОХРАНА ТРУДА. ОХРАНА
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. ГЕОЭКОЛОГИЯ
ЭКОНОМИКА. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научно-методический журнал
Издается с октября 2001 г.

Периодичность – 4 раза в год

1(22) 2009

СОДЕРЖАНИЕ

ТАТАРИНОВ Б. А., ЯРМАК Ю. Ю. Сотрудничество Белорусского национального технического университета с высшими учебными заведениями Российской Федерации……... 6

ТРАНСПОРТ

ГУСЬКОВ А. В. Использование методов унификации и типизации при проектировании колесных тракторов..…… 8

МЕЛЬНИКОВ А. С., САЗОНОВ И. С., КИМ В. А. Влияние основных параметров подвески мотоцикла с дисковым тормозом на показатели тормозной динамики…..……... 16

РЫНКЕВИЧ С. А. Автоматизация управления и диагностирования ГМП ..……..... 22

МАШИНОСТРОЕНИЕ. МЕТАЛЛУРГИЯ

ГАРЛАЧОВ Н. С., АНТОНОВА Е. Н. Управление шероховатостью и формой микрорельефа при упрочняющей пневмоцентробежной обработке отверстий……...…….. 30

КИСЕЛЕВ М. Г., ДРОЗДОВ А. В., НОВИКОВ А. А., СТЕПАНЕНКО Д. А. Расчет сил трения в торцевой фрикционной передаче при воздействии ультразвука …..……...……..... 37

КОЖЕВНИКОВА Г. В. Условия устойчивого протекания поперечной и поперечно-клиновой прокаток ……...……...…… 44

КУРИЛОВИЧ Н. Н., КОТЯГОВ Л. Ф., ОГОРОДОВ Л. И. Оценка накопления повреждений в сталях при знакопеременном нагружении ……..……...… 54

ПАВЛЮК С. К., ЛУПАЧЁВ А. В. Исследование гальванических токов пары электродов, покрытых тонким слоем электролита, и их влияние на коррозионные процессы……. 63

ТАРАСЕНКО И. В., ДЕСЯТНИК В. В. Исследование влияния активности паяльных флюсов для низкотемпературной пайки меди на циклическую прочность паяных соединений …….…... 72

ЦУМАРЕВ Ю. А., ЛАТУН Т. С., ШЕЛЕГ В. К. Влияние модификатора капрол на свойства канифольных флюсов 79

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

СОТСКАЯ Л. И. Расчет пропускания микроструктурных оптических волокон с палладиевым покрытием в атмосфере водорода …….…… 88

СТРОИТЕЛЬСТВО. АРХИТЕКТУРА

БЕРЕСТОВ Е. И., КУТЫНКО Р. И. Экспериментальные исследования резания грунта …….... 92

ВАСИЛЬЕВ А. А. Комплексный метод оценки и прогнозирования технического состояния железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в воздушных средах …….……. 101

ОХРАНА ТРУДА. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. ГЕОЭКОЛОГИЯ

ВОЙТОВ И. В., ГАТИХ М. А., ЛИС Л. С., РЫБАК В. А. Научно-инновационные принципы геоэкологического районирования административных территорий Беларуси ……..……..... 113

ГАЛЮЖИН С. Д., ГАЛЮЖИН Д. С., ПУСКОВА В. М., РУЦКИЙ М. И. Анализ несчастных случаев при эксплуатации машин на предприятиях агропромышленного комплекса …….……. 128

МАТУСЕВИЧ С. В., ЖАРАВОВИЧ Е. В., АВТУШЕНКО Д. А. Расчет и анализ оптимальных параметров освещения на ЭВМ ……...……. 138

ЭКОНОМИКА. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

ЗЕНЬКОВ В. С., ШЕСТОПАЛОВА О. А. Продовольственная проблема и особенности ее решения на современном этапе …….……..…..……. 147

КАШЕВСКАЯ Е. В. Применение анализа хозяйственной деятельности для социально-экономического и финансового мониторинга процессов инновационного управления качеством …….……..…..…… 154

ШАМАЕВ А. А. Содержательная характеристика распределения чистого национального продукта в национальной экономике …….……..…..…… 166

- *Журнал включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим наукам*
- *Публикуемые материалы рецензируются*
- *Подписные индексы: для индивидуальных подписчиков – 00014*
  для предприятий и организаций – 000142

CONTENTS

TATARINOV B. A., YARMAK YU. YU. Collaboration Belorusian National Technical University with higher educational institutions of the Russian Federation…… 6

TRANSPORT

GUSKOV A. V. Use of unification and type desing methods at wheel tractor design……. 8

MELNIKOV A. S., SAZONOV I. S., KIM V. A. Influence of the main parameters of the motorcycle suspension with a disk brake on the indices of braking dynamics 16

RYNKEVICH S. A. Automation of control and diagnosing of hydromechanical transmissions ……..... 22

MECHANICAL ENGINEERING. METALLURGY

GARLACHOV N. S., ANTONOVA E. N. Management of microrelief roughness and form at strengthening pneumocentrifugal hole processing ……..... 30

KISELEV M. G., DROZDOV A. V., NOVIKOV A. A., STEPANENKO D. A. Calculation of frictional forces in the face frictional transmission under the exposition of ultrasound ……..... 37

KOZHEVNIKOVA G. V. Criteria of cross rolling and cross-wedge rolling stable processing ……..… 44

KURILOVICH N. N., KOTYAGOV L. F., OGORODOV L. I. Evaluation of damage accumulation in steels under alternaiting loading ……. 54

PAVLUK S. K., LUPACHEV A. V. Research of galvanic currents of electrode pairs, covered with a thin electrolyte layer and their influence on corrosion processes in welded joins……...……. 63

TARASENKO I. V., DESYATNIK V. V. Research of influence of soldering flux activity for low temperature copper soldering on cyclic strength of soldered joints …….. 72

TSUMAREV Y. A., LATUN T. S., SHELEG V.K.
Influence of the kaprol modifier on the rosin flux characteristics……. 79

INSTRUMENT MAKING

SOTSKAYA L. I. Calculation of the transmittance of microstructured optical fibers with palladium cover in hydrogen atmosphere…….. 88

CIVIL ENGINEERING. ARCHITECTURE

BERESTOV E. I., KUTYNKO R. I. Experimental investination of cutting the soil ……..……..……..…….. 92

VASILYEV A. A. Complex method of evaluation and forecasting of technical state of ferroconcrete constructions exploited in different air environments ……..... 101

LABOUR PROTECTION. ENVIRONMENT PROTECTION. GEOECOLOGY

VOITOV I. V., GATIH M. A., LIS L. S., RYBAK V. A.
Scientific-innovational principles of geoecological zoning of administrative territories of Belarus ……..…...…….. 113

HALIUZHYN S. D., HALIUZHYN D. S., PUSKOVA V. M., RUTSKIY M. I. The analysis of the accidents while machine operation at enterprises of agro-industrial complex 128

MATUSEVICH S. V., ZHARAVOVICH E. V., AVTUSHENKO D. A. Computer calculation and analysis of optimum lighting parameters..... 138

ECONOMICS. ECONOMIC SCIENCES

ZENKOV V. S., SHESTOPALAVA O. A. Food problem and peculiarities of its decision in the modern period 147

KASHEVSKAYA E. V. Application of the analysis of economic activities for socio-economic and financial monitoring processes of innovative quality management 154

SHAMAYEV A. A. The content characteristics of national net product distribution in the national economy..... 166

УДК 378

Б. А. Татаринов, Ю. Ю. Ярмак

СОТРУДНИЧЕСТВО БЕЛОРУССКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА С ВЫСШИМИ УЧЕБНЫМИ ЗАВЕДЕНИЯМИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

25 ноября 2005 г. Совет глав правительств Содружества Независимых Государств решил придать Белорусскому национальному техническому университету статус базовой организации государств-участников СНГ по высшему техническому образованию. В рамках этого статуса университет активно взаимодействует с вузами технического профиля стран СНГ, в том числе России. Взаимодействие БНТУ с органами управления образованием Российской Федерации осуществляется только через Министерство образования Республики Беларусь. В связи с этим БНТУ практически не сталкивается с различиями в законодательстве об образовании наших стран, однако ведет активную работу по осуществлению взаимосогласованной политики по новым и перспективным направлениям (например, дистанционное обучение, согласование содержания обучения по отдельным специальностям).

Сотрудники БНТУ ведут постоянный анализ нормативных документов Министерства образования Российской Федерации по организации образовательной деятельности, выделяют основные аспекты формирования Государственных образовательных стандартов Российской Федерации. Это позволяет осуществлять полноценное обсуждение и поиск общих позиций в практике межвузовских контактов.

На основании договора с Открытым университетом Санкт-Петербурга в течение последних 7 лет в вузах технического профиля этого города: Санкт-Петербургском политехническом университете, Горной академии, – обучаются студенты, сдавшие вступительные экзамены в БНТУ и направленные туда учиться. Студенты обучаются по специальностям, по которым в Республики Беларусь наблюдается дефицит кадров. К сожалению, изменение правил приема в вузы наших стран прекращает подобную практику и требует дополнительных решений двух стран.

В БНТУ осуществляется подготовка 88 граждан из различных регионов Российской Федерации, в том числе таких далеких, как Якутия и Тюмень. В основном, это представители белорусской диаспоры, сформировавшейся в этих регионах. Полученные знания выпускники используют, работая, в основном, в Беларуси, хотя некоторое количество выпускников БНТУ работают на предприятиях России. Внедрение разноуровневой подготовки (бакалавры – в России, специалисты – в Беларуси) может прервать взаимообмен студентами и выпускниками между нашими странами.

Специалисты БНТУ участвуют в работе более 20-ти учебно-методических объединений (УМО) Российской Федерации как по традиционным (металлургия, технология машиностроения, строительство), так и по новым для Республики Беларусь специальностям (кораблестроение, таможенное дело). Это позволяет поддерживать общность подготовки выпускников вузов по отдельным специальностям, обмениваться опытом и учитывать его при разработке новых специальностей. Для вузов Беларуси эти взаимодействия создают условия накопления методических материалов по новым для них специальностям.

27–30 мая 2008 г. на базе БНТУ состоялось выездное заседание Совета учебно-методического объединения (УМО) вузов России, Украины и Республики Беларусь по образованию в области ко-

раблестроения и океанотехники. Данное мероприятие периодически (в соответствии с планом) проводится во всех вузах – участниках УМО. В этом учебном году оно вошло в план мероприятий, проводимых в БНТУ по линии международного сотрудничества. В заседании Совета приняли участие 30 представителей вузов России. Программа работы Совета УМО была направлена на разработку:

– образовательных стандартов по кораблестроению третьего поколения;

– перечня специальностей и направлений подготовки;

– сертификации тестовых материалов по дисциплинам.

Также было проведено присвоение грифов УМО по образованию в области кораблестроения и океанотехники.

Осуществляется подготовка учебных пособий и учебников по основным инженерным дисциплинам совместными авторскими коллективами. Эти учебники получили грифы Министерства образования Республики Беларусь и Министерства образования и науки Российской Федерации. Так, в рамках сотрудничества между БНТУ и Московским государственным строительным университетом осуществлено издание учебного пособия «Теплоснабжение и вентиляция».

Взаимная заинтересованность в поддержке авторских коллективов из двух стран нормативно не поддерживается ни одной из сторон. Практика двойного присвоения грифов учебникам и учебным пособиям является заслугой авторов. БНТУ активно закупает учебную литературу Российской Федерации через коммерческие организации. Взаимного информирования заинтересованных вузов о новинках учебной литературы нет, что в конечном счете невыгодно для двух стран.

БНТУ в рамках различных мероприятий осуществляет активные контакты с администрациями регионов Российской Федерации. В июле 2008 г. состоялось совместное заседание ректората БНТУ и делегации г. Юрга Кемеровской области. Были обсуждены вопросы развития научных исследований на базе НИИЛ БНТУ по плазменным и лазерным технологиям.

В настоящее время Белорусский национальный технический университет установил двусторонние партнерские отношения на основании Договоров о сотрудничестве с 24 техническими университетами российских регионов. Внедрение двусторонних отношений между вузами обеспечивает быстрое и эффективное решение проблем, представляющих взаимный интерес.

Ведется поиск новых форм взаимодействия студенческих коллективов, обмена их научными разработками. В апреле 2008 г. БНТУ совместно с Российской таможенной академией (г. Люберцы, Россия) была проведена Международная виртуальная студенческая научно-практическая конференция «Таможня и Европа в XXI в.», в которой приняли участие представители вузов России, Украины, Литвы, Латвии, Польши и Беларуси. Проводятся совместные спортивные и культурные мероприятия.

Существенный вклад в развитие отношений между вузами вносит Научно-исследовательская часть БНТУ. В текущем году наши специалисты докладывали о результатах разработок на многих международных конференциях, проходивших в гг. Москва, Санкт-Петербург, Волгоград и др. Ряд аспирантов БНТУ получили положительные отзывы о своих разработках. Ведется взаимное рецензирование подготовленных диссертационных работ.

Белорусский национальный технический университет
Материал поступил 04.04.2008

B. A. Tatarinov, Yu. Yu. Yarmak
Collaboration Belorusian National Technical University with higher educational institutions of the Russian Federation

ТРАНСПОРТ

УДК 629.114.2.01

А. В. Гуськов, канд. техн. наук

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ УНИФИКАЦИИ И ТИПИЗАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ

Приведены практические приемы использования методов унификации и типизации при проектировании колесных тракторов семейства «Беларус», а также показано их влияние на ускорение проектирования и получения значительного экономического эффекта при производстве.

Показатели унификации трактора разделяют на основные и дополнительные отраслевые (табл. 1) [1]. Основными показателями унификации являются коэффициенты применяемости $K_{пр}$ и повторяемости $K_{п}$. Коэффициент применяемости определяется как выраженное в процентах отношение числа типоразмеров унифицированных деталей в тракторе, т. е. всей номенклатуры деталей за вычетом оригинальных, к общему числу типоразмеров деталей трактора. Он характеризует уровень общей конструктивной преемственности составных частей в разрабатываемом тракторе. Коэффициент повторяемости определяется как выраженное в процентах отношение повторяющихся деталей трактора к общему числу деталей в тракторе. Он характеризует внутрипроектную унификацию трактора, т. е. насыщенность трактора повторяющимися составными частями. Дополнительные показатели унификации характеризуют отдельные частные ее стороны – насыщенность трактора стандартными и заимствованными, в том числе покупными составными частями и необходимыми для оценок состояния межотраслевой, отраслевой и заводской унификации, определения затрат на освоение производства трактора, проекта его цены и др.

Для определения показателей унификации трактор разделяют на составные части – детали или изделия, изготовленные из материала одной марки без применения сборочных операций (рис. 1). Разделению подлежат все разъемные и неразъемные (сварные, клепаные, напрессованные и др.) сборочные единицы (изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями), за исключением покупных изделий – комплектующих изделий, получаемых предприятием в готовом виде и изготовленных по технической документации предприятия-поставщика. Каждое покупное изделие при расчете показателей унификации учитывают как одну единицу, независимо от числа входящих в него деталей. Например, к числу таких изделий относится двигатель и тяга рулевого управления. В первом случае это несколько сотен деталей, а во втором – меньше десятка.

Из совокупности образующих трактора деталей и покупных изделий выделяют и исключают при расчете показателей уровня унификации стандартные детали: болты и винты, гайки, шайбы, шпонки всех видов, шпильки, заклепки, штифты, шплинты, крючки, подвески, ушки, рым-болты, слесарно-сборочный инструмент и принадлежности, пробки, заглушки, прокладки, фирменные и указательные таблички. Расчету показателей унификации трактора предшествует классификация входящих

в него деталей, за исключением стандартных и других, оговоренных выше, по группам (рис. 2). Оригинальными (О) считают детали, разработанные впервые для данного трактора и на момент расчета показателей уровня унификации применяемые только в этом тракторе.

Когда эта деталь затем применяется в другом выпускаемом тракторе, она перестает считаться оригинальной и переходит в число унифицированных (У), т. е. применяемых в конструкторской документации нескольких изделий. Унифицированные детали, в свою очередь, разделяют на стандартные общемашиностроительные (С); стандартные отраслевые (Н); заимствованные (З). Внутри каждой из этих групп выделяют детали собственного изготовления и покупные.

Табл. 1. Показатели унифицированного трактора

Показатель	Расчетная формула	Определение величин
Основные показатели		
Коэффициент применяемости (коэффициент унификации)	$K_{пр} = \frac{n - n_0}{n} \cdot 100\ \% = \frac{n_y}{n} \cdot 100\ \%$	n – общее количество типоразмеров деталей в изделии Д ; n_0 – количество типоразмеров оригинальных деталей О; n_y – количество типоразмеров унифицированных деталей У, $n_y = n_c + n_н + n_з$; N – общее количество деталей, шт.
Коэффициент повторяемости	$K_{П} = \frac{N - n}{N} \cdot 100\ \%$	
Дополнительные показатели		
Дополнительные показатели:		n_c – количество типоразмеров стандартных общемашиностроительных деталей С, $n_c = n_{сп} + n_{сс}$; $n_{сп}$ – количество типоразмеров покупных стандартных общемашиностроительных деталей $С_п$; $n_{сс}$ – количество типоразмеров покупных стандартных общемашиностроительных деталей собственного изготовления $С_с$; $n_н$ – количество типоразмеров стандартных отраслевых деталей Н, $n_н = n_{нп} + n_{нс}$; $n_{нс}$ – количество типоразмеров покупных стандартных отраслевых деталей собственного изготовления $Н_с$; $n_{нп}$ – количество типоразмеров покупных стандартных отраслевых деталей $Н_н$
– стандартных общемашиностроительных составных частей	$K_c = \frac{n_c}{n} \cdot 100\ \%$	
– покупных стандартных общемашиностроительных частей	$K_{сп} = \frac{n_{сп}}{n} \cdot 100\ \%$	
– стандартных отраслевых составных частей	$K_н = \frac{n_н}{n} \cdot 100\ \%$	
– покупных стандартных отраслевых составных частей	$K_{нп} = \frac{n_{нп}}{n} \cdot 100\ \%$	
Коэффициент заимствования:		$n_з$ – количество типоразмеров заимствованных деталей З; $n_{зз}$ – количество типоразмеров заимствованных деталей $З_з$; $n_{зс}$ – количество типоразмеров деталей, заимствованных из (для) изделий сторонних заводов $З_с$, $n_{зс} = n_{зп} + n_{зсс}$; $n_{зп}$ – количество типоразмеров покупных деталей, заимствованных из (для) сторонних заводов $З_п$
– общий	$K_з = \frac{n_з}{n} \cdot 100\ \%$	
– заводской	$K_{зз} = \frac{n_{зз}}{n} \cdot 100\ \%$	
Коэффициент заимствования:		
– сторонний	$K_{зс} = \frac{n_{зс}}{n} \cdot 100\ \%$	
– покупных составных частей	$K_{зп} = \frac{n_{зп}}{n} \cdot 100\ \%$	
Коэффициент общей применяемости покупных составных частей	$K_{пок} = \frac{n_{сп} + n_{нп} + n_{зп}}{n} \cdot 100\ \%$	–

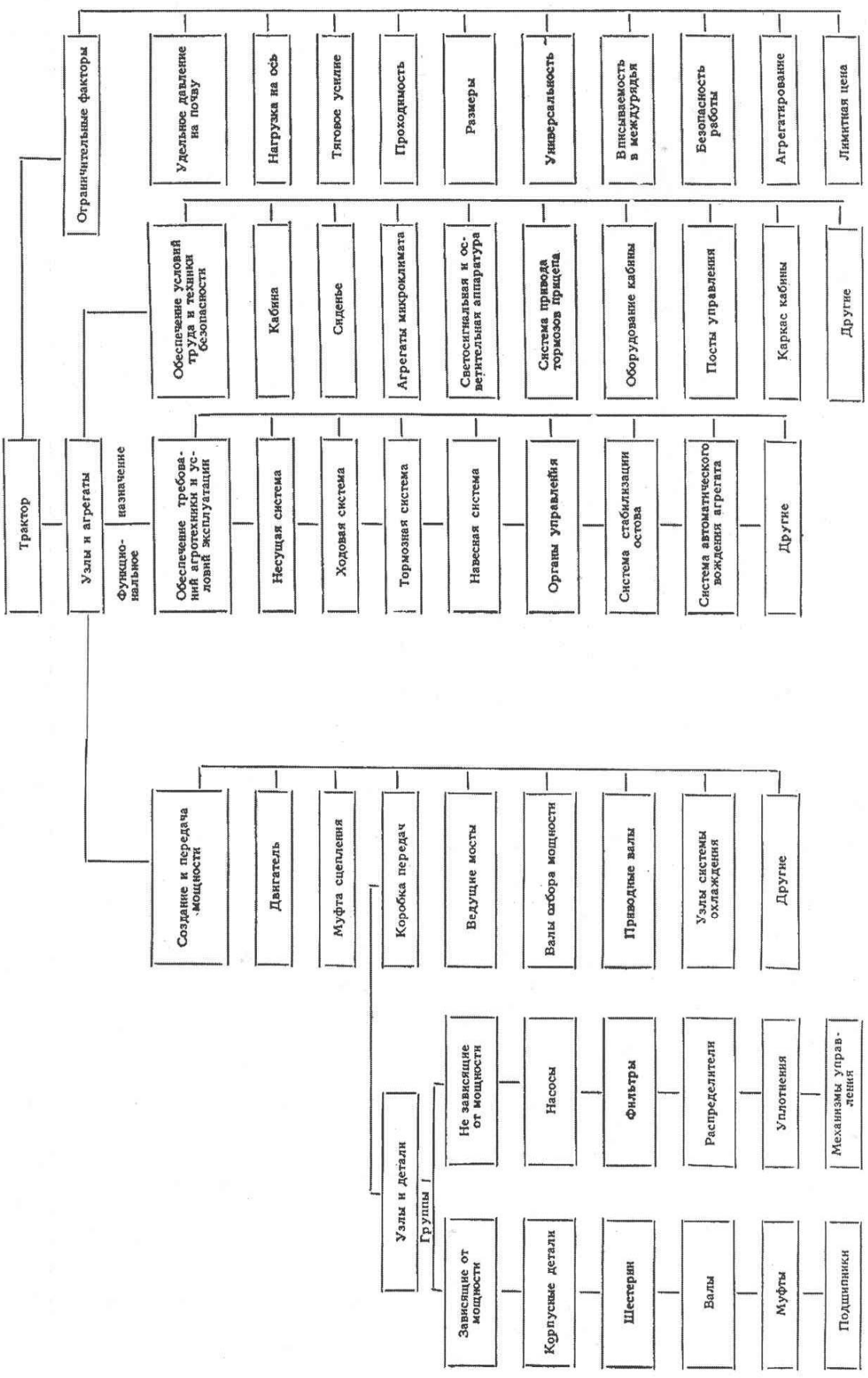


Рис. 1. Классификация узлов, агрегатов и деталей трактора

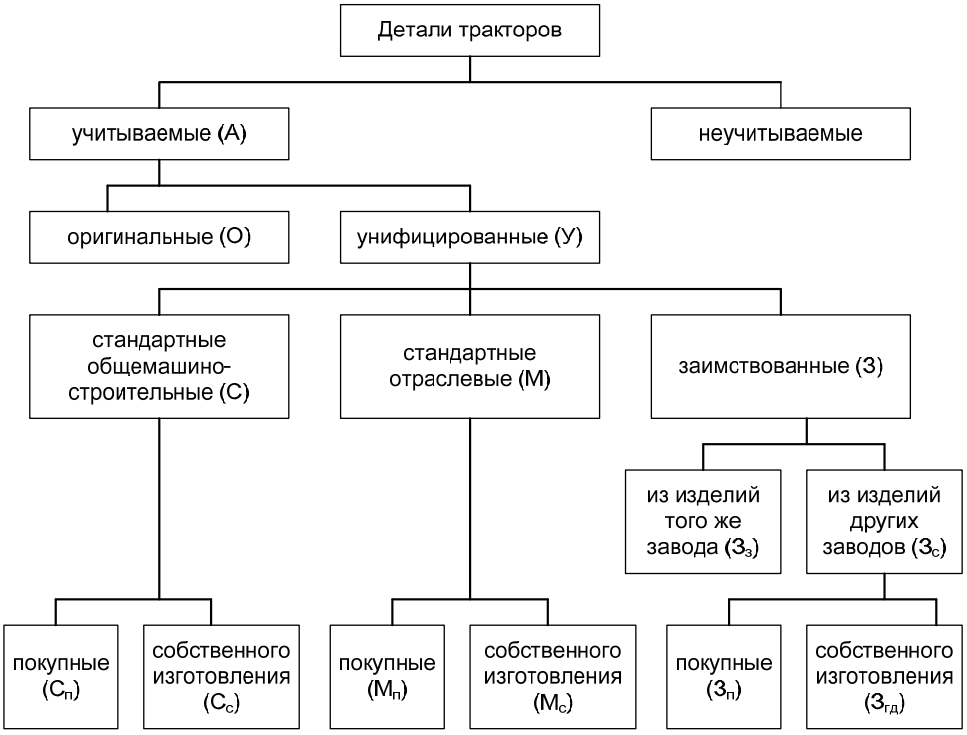


Рис. 2. Классификация деталей трактора

К стандартным общемашиностроительным относятся детали и покупные изделия, которые выпускаются по государственным и отраслевым стандартам или техническим условиям и разработаны для применения в изделиях двух и более отраслей промышленности.

К стандартным отраслевым относятся детали и покупные изделия, которые выпускаются по государственным и отраслевым стандартам и альбомам рабочих чертежей унифицированных конструкций и имеющие отраслевое назначение. К заимствованным относятся нестандартные детали, заимствованные для данного трактора из любого другого изделия.

По тракторам показатели унификации рассчитывают по количеству, массе и стоимости деталей, так как они отличаются насыщенностью покупными изделиями особой сложности и высокой цены (дизель, изделия гидравлики, гидротрансмиссия; электрооборудование, элементы системы автоматики, шины и др.) и высокой повторяемостью одноименных деталей.

По результатам расчетов показателей унификации составляют карту унификации трактора по ОСТ 23.2.430–81 с учетом следующих требований. В разделе «Показатели унификации трактора» в основной таблице приводят количество типоразмеров по каждой группе деталей и показатели унификации по количеству деталей, массе, стоимости. Допускается на начальных стадиях проектирования не заполнять графы по покупным изделиям ($С_п$, $Н_п$, $З_п$) и не определять коэффициенты $К_{сп}$, $К_{нп}$, $К_{зп}$ и $К_{пок}$. Для тракторов серийного производства заполнение этих граф обязательно.

В разделе «Повторяемость деталей в изделии» приводят данные о номенклатуре деталей и их количестве (в штуках), а также коэффициенты повторяемости.

В разделе «Основные источники заимствования деталей» перечисляют основные изделия, детали из которых заимствованы в конструкцию данного трактора, а также указывают количество

взаимозаменяемых деталей.

В разделе «Общая характеристика унификации трактора» указывают, является трактор базовой моделью или модификацией, входит ли в состав семейства тракторов, и если да, то приводится коэффициент межпроектной унификации $K_{му}$ (табл. 2), взамен которого создан данный трактор.

Табл. 2. Пример расчета коэффициента межпроектной (взаимной) унификации $К_{му}$ семейства пропашных тракторов «Беларус»

Позиция	Наименование составных частей (позиций)	Модель трактора			Всего типоразмеров составных частей во всех моделях
		1	2	3	
1	Двигатель	+	+	+	1
2	Сцепление в коробке передач	+	+	+	1
3	Задний мост	+	+	Δ	2
4	Передний мост	Δ	Δ	Δ	3
5	Карданная передача	–	Δ	–	1
6	Задние колёса	+	+	Δ	2
7	Передние колёса	Δ	Δ	Δ	3
8	Рулевое управление	+	+	Δ	2
9	Кабина	+	+	–	1
10	Облицовка	+	+	Δ	2
11	Гидросистема	+	+	+	1
12	Задний вал отбора мощности	+	+	+	1
13	Боковой вал отбора мощности	–	–	Δ	1
14	Буксирный крюк	+	+	–	1
15	Электрооборудование	+	+	+	1

Примечание – Знаком «+» обозначены одинаковые составные части в различных моделях тракторов; знаком «Δ» – оригинальные, неповторяющиеся составные части; знаком «–» – отсутствие данной составной части в данной модели трактора

Пример расчета коэффициента межпроектной (взаимной) унификации $K_{му}$ семейства тракторов «Беларус» приведен в табл. 2.

Коэффициент межпроектной унификации:

$$K_{му} = \frac{\sum_{i=1}^{j} n_i - n_2}{\sum_{i=1}^{j} n_i - n_1} \cdot 100,$$

где j – общее количество однотипных изделий; n_i – количество типоразмеров составных частей в изделии; n_2 – общее количество типоразмеров составных частей, применяемых в группе изделий; n_1 – общее количество наименований рассматриваемых составных частей в данной группе изделий.

С учетом положений оптимизации показателей унификации и типизации, изложенных ранее, был произведен расчет этих показателей [2] для тракторов семейства «Беларус».

Результаты расчета показаны на рис. 3 и 4. Из рисунков видно, что унификация базового семейства тягового класса 1.4 (Беларус–82.1, 920, 592, 892, 952, 920.2, 892.2, 952.2, 920.3, 952.2) находится в пределах 81…97 %, что представляет высокую степень унификации.

Следует отметить, что приведенный пример относится к так называемой «горизонтальной» унификации, т. е. унификации базовой модели с модификациями одного тягового класса.

Однако следует обратить внимание и на «вертикальную» унификацию, т.е. унификацию между различными тяговыми классами. Например, унификация между тяговыми классами 3.0 и 4.0 достигает 65,5 %. А между классами 5.0 и 6.0 – 98 %. По отношению классов 6.0 и 4.0 – 48 %. Те же результаты относятся и к типизации.

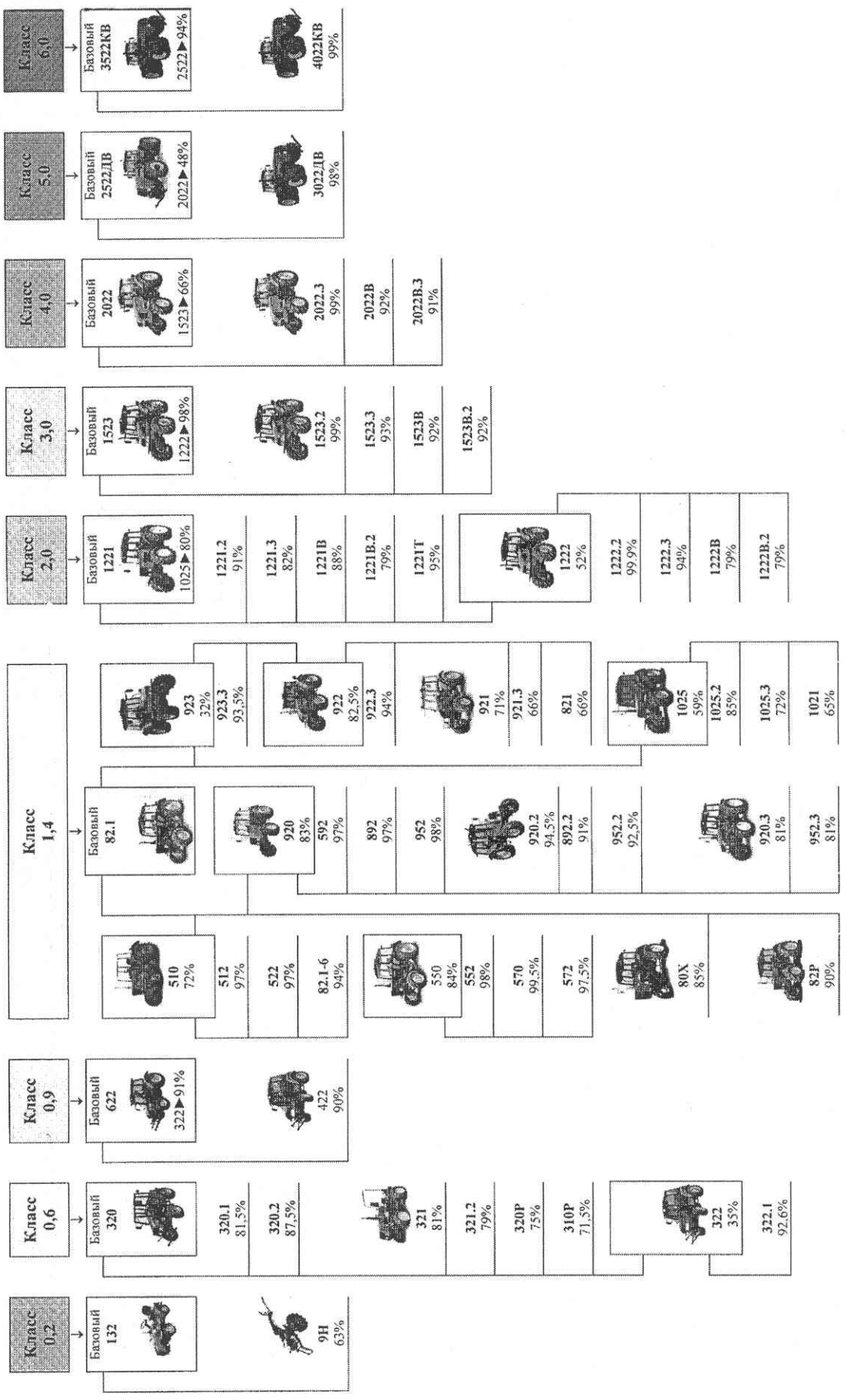


Рис. 3. Унификация колесных тракторов семейства «Беларус»

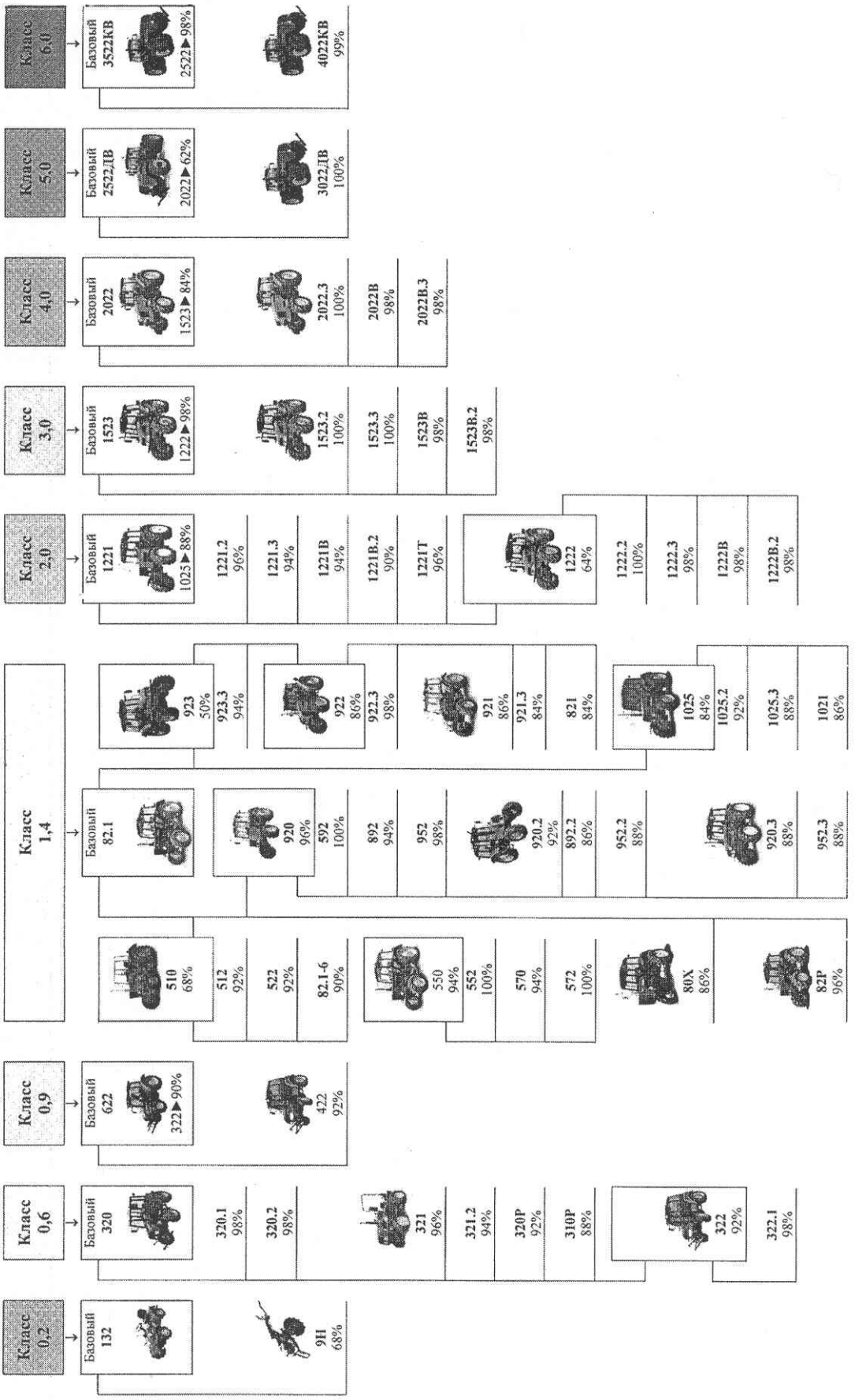


Рис. 4. Типизация колесных тракторов семейства «Беларус»

Приведенные данные показывают высокую степень проработки конструкции тракторов семейства «Беларус» с точки зрения типизации и унификации.

Заключение

1. Разработанная методика унификации и типизации позволила сократить номенклатуру деталей и удешевить производство тракторов семейства «Беларус».

2. Отмечается высокий уровень унификации и типизации не только внутри класса («горизонтальный уровень»), но и между классами («вертикальный уровень»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ксеневич, И. П.** Проектирование универсально-пропашных тракторов / И. П. Ксеневич. – Минск : Наука и техника, 1980. – 370 с.

2. **Пуховой, А. А.** Основные положения и практическая реализация создания типоразмерного ряда тракторов «Беларус» / А. А. Пуховой, П. А. Пархомчик, И. Н. Усс. – Минск : Минский тракторный завод, 2006. – 603 с.

ПО «Минский тракторный завод»
Материал поступил 24.06. 2008

A. V. Guskov
Use of unification and type desing methods at wheel tractor design

Practical ways of unification and type design methods at «Belarus» wheel tractor design are given in the article. Their influence on design acceleration and receipt of considerable economic effect at production is shown in the paper.

УДК 629.113

А. С. Мельников, канд. техн. наук, доц., И. С. Сазонов, д-р техн. наук, проф., В. А. Ким, д-р техн. наук, проф.

ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОДВЕСКИ МОТОЦИКЛА С ДИСКОВЫМ ТОРМОЗОМ НА ПОКАЗАТЕЛИ ТОРМОЗНОЙ ДИНАМИКИ

Рассмотрено влияние жесткости и демпфирования подвески мотоцикла на тормозной путь, время торможения и ускорение замедления. Для оценки влияния параметров подвески на показатели тормозной эффективности проводилось математическое моделирование процесса торможения мотоцикла. Установлено, что наибольшее влияние на показатели тормозной эффективности оказывает жесткость передней и задней подвесок, влияние коэффициентов демпфирования передней и задней подвесок на показатели тормозной эффективности не выявлено.

Для определения упругих и диссипативных характеристик подвески мотоцикла проводился анализ их влияния на параметры торможения.

Для этого выполним математическое моделирование процесса торможения мотоцикла с параметрами, соответствующими параметрам мотоцикла ММВЗ–3.1135, выпускаемого Минским мотовелозаводом (ОАО «Мотовело»).

Мотоцикл при этом рассматривается как динамическая система с сосредоточенными параметрами: корпус – подвеска – движитель [1].

Динамическая модель (расчётная схема) выбранного объекта исследования представлена на рис. 1.

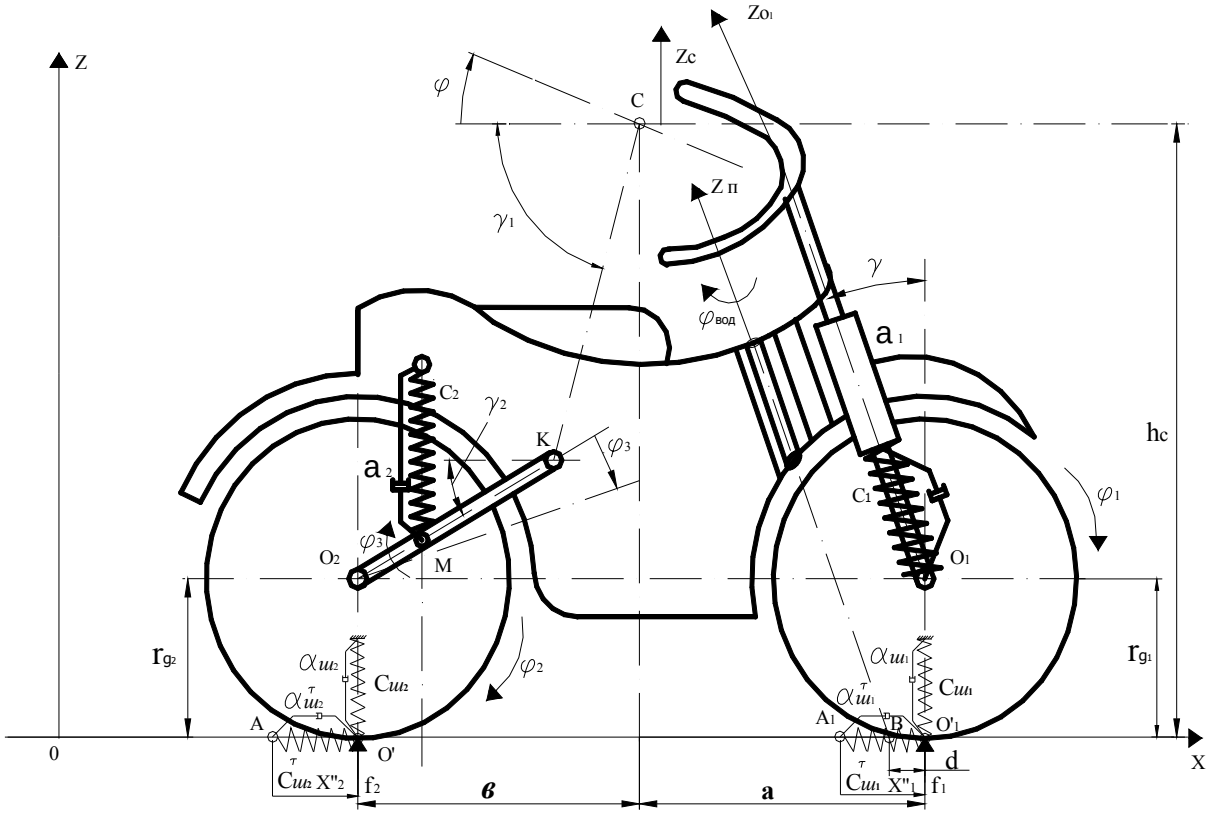


Рис. 1. Динамическая модель двухколесной самоходной машины

Для составления дифференциальных уравнений движения мотоцикла воспользуемся уравнением Лагранжа 2-го рода с неопределёнными множителями:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i}\right)-\frac{\partial T}{\partial q_i}=-\frac{\partial \Pi}{\partial q_i}-\frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_i}+Q_{qi}, \quad (1)$$

где T – кинетическая энергия системы; Π – потенциальная энергия системы; Φ – диссипативная функция системы; Q_{qi} – обобщённые силы; q_i – обобщённые координаты; $\dot{q}_i$ – обобщённые скорости.

Рассматриваемая динамическая система характеризуется следующими обобщёнными координатами: x_c, z_c – координаты поступательного перемещения корпуса мотоцикла; φ – угол поворота остова мотоцикла; φ_1 – угол поворота переднего колеса мотоцикла; φ_2 – угол поворота заднего колеса мотоцикла; φ_3 – угол поворота рычага задней подвески мотоцикла; z_{01} – координата перемещения центра масс переднего колеса.

Для определения кинетической энергии находим скорости центра масс колёс мотоцикла O_1 и O_2:

– координаты точки O_1

$$x_{O_1}=x_c-z_{O_1}\cdot\sin\gamma_1+X^{\Pi}; \quad (2)$$

– координаты точки O_2

$$\begin{cases} x_{O_2}=x_c-C_O\cdot\cos(\gamma_1-\varphi)- \\ -K_{O_2}\cdot\cos(\gamma_2-\varphi_3)+X^{\Pi}; \\ z_{O_2}=z_c-C_O\cdot\sin(\gamma_1-\varphi)- \\ -K_{O_2}\cdot\sin(\gamma_2-\varphi_3); \end{cases} \quad (3)$$

– скорости точки O_1

$$\dot{x}_{O_1}=\dot{x}_c-\dot{z}_{O_1}\cdot\sin\gamma+\dot{x}^{\Pi};$$

$$\dot{z}'_{O_1}=\dot{z}_{O_1}\cdot\cos\gamma; \quad (4)$$

– скорости точки O_2

$$\begin{cases} \dot{x}_{O_2}=\dot{x}_c+\dot{\varphi}_3\cdot C_O\cdot\sin(\gamma-\varphi)+ \\ +\dot{\varphi}_3\cdot K_{O_2}\cdot\sin(\gamma_2-\varphi_3)+\dot{X}^{\Pi}; \\ \dot{z}_{O_2}=\dot{z}_c+\dot{\varphi}\cdot C_O\cdot\cos(\gamma_1-\varphi)+ \\ +\dot{\varphi}\cdot K_{O_2}\cdot\cos(\gamma_2-\varphi_3). \end{cases} \quad (5)$$

Компоненты, входящие в уравнение Лагранжа 2-го рода:

– кинетическая энергия системы

$$T=\frac{1}{2}\cdot\{M\cdot\frac{\dot{z}_c^{\,2}}{2}+M\cdot\dot{x}_c^{\,2}+\dot{z}_{O_1}^{\,2}\cdot\cos^2\gamma+$$
$$+m_{K_1}\cdot\left(\dot{x}_c-\dot{z}_{O_1}\cdot\sin\gamma+X_1^{\Pi}\right)^2+$$
$$+m_{K_2}\left[\dot{x}_c+\dot{\varphi}\cdot C_O\cdot\sin(\gamma-\varphi)+\right.$$
$$\left.+\dot{\varphi}_3\cdot K_{O_2}\cdot\sin(\gamma_2-\varphi_3)+X_2^{\Pi}\right]^2+$$
$$+I\cdot\dot{\varphi}^2+I_p\cdot\dot{\varphi}_3^{\,2}+I_{K_1}\cdot\dot{\varphi}_1^2+I_{K_2}\cdot\dot{\varphi}_2^2\}; \quad (6)$$

– потенциальная энергия системы

$$\Pi=\frac{1}{2}\cdot\left[c_1\cdot\left(z_{O_1}-z_c\cdot\cos\gamma+a\cdot\varphi+f_1\right)+\right.$$
$$+c_2\cdot\left(K\cdot M\cdot\varphi_3-b\cdot\varphi+f_2\right)^2+$$
$$+c_{m_1}^{\tau}\cdot\left(X_2^{\Pi}\right)^2+c_{m_2}^{\tau}\cdot\left(X_1^{\Pi}\right)^2+c_{m_1}\times$$
$$\left.\times\left(z_{O_1}\cdot\cos\gamma\right)^2+c_{m_2}\cdot\left(K_{O_2}\cdot\sin\varphi_3\right)^2\right]^2; \quad (7)$$

– диссипативная функция системы

$$\Phi=\frac{1}{2}\cdot\left[\alpha_1\cdot\left(\dot{z}_{O_1}+\dot{z}_c\cdot\cos\gamma+a\cdot\dot{\varphi}+\dot{f}_1\right)^2+\right.$$
$$+\alpha_{m_2}^{\tau}\cdot\left(K\cdot M\cdot\dot{\varphi}_3-b\cdot\dot{\varphi}+\dot{f}_2\right)^2+c_{m_1}\times$$
$$\times\left(\dot{X}_2^{\Pi}\right)^2+\alpha_{m_2}^{\tau}\cdot\left(\dot{X}_1^{\Pi}\right)^2+\alpha_{m_1}\cdot\left(\dot{z}_O\cdot\cos\gamma\right)^2+$$
$$\left.+\alpha_{m_2}\cdot\left(K_{O_2}\cdot\sin\varphi_3\right)^2\right]; \quad (8)$$

– обобщённые силы по координате φ

$$Q_\varphi=(T_1+T_2)\cdot h_c; \quad (9)$$

$$N_1=\frac{g\cdot m_m\cdot b}{a+b}; \quad N_2=\frac{g\cdot m_m\cdot a}{a+b}; \quad (10)$$

$$Q_{Xc} = -\left(N_1 + c_{1m} \cdot z_{O_1} \cdot \cos\gamma\right) \times$$
$$\times \varphi_{сц_1} - \left(N_2 - c_{2m} \cdot K_{O_2} \cdot \varphi_3\right) \cdot \varphi_{сц_2}; \quad (11)$$

$$Q_{\varphi} = \left(N_1 + c_{1m} \cdot z_{O_1} \cdot \cos\gamma\right) \cdot \varphi_{сц_1} \cdot h_c +$$
$$+\left(N_2 - c_{2m} \cdot K_{O_2} \cdot \varphi_3\right) \cdot \varphi_{сц_2} \cdot h_c; \quad (12)$$

$$Q_{zo_1} = \left(N_1 + c_{1m} \cdot z_{O_1} \cdot \cos\gamma\right) \cdot \sin\gamma \cdot \varphi_{сц_1}; \quad (13)$$

$$Q_{\varphi_3} = K_{O_2} \cdot \left(N_2 + c_{2m} \cdot K_{O_2} \cdot \varphi_3\right) \times$$
$$\times \varphi_{сц_2} \cdot \sin\left(\gamma_2 - \varphi_3\right); \quad (14)$$

$$Q_{\varphi_{1,2}} = -M_{T_{1,2}}; \quad (15)$$

$$\left|M_{T_{1,2}}\right| \le \left[N_{1,2} \pm c_{1m,2m} \times \right.$$
$$\left. \times\left(f_{1,2} - z_{O_1} \cdot \cos\gamma\right)\right] \cdot \varphi_{сц_{1,2}} \cdot r_{g_{1,2}}. \quad (16)$$

Определив составляющие уравнения (1) по координатам, получаем дифференциальные уравнения движения мотоцикла:

$$\ddot{z}_c = \frac{c_1}{M} \cdot \left(z_{O_1} - z_c \cdot \cos\gamma + a \cdot \varphi + f_1\right) \cdot \cos\gamma +$$
$$+ \frac{\alpha_1}{M} \cdot \left(\dot{z}_{O_1} - \dot{z}_c \cdot \cos\gamma + a \cdot \dot{\varphi} + \dot{f}_1\right) \cdot \cos\gamma; \quad (17)$$

$$\ddot{x}_c \cdot \left(M + m_{K_1} + m_{K_2}\right) + \ddot{x}_1^{П} \cdot \left(M + m_{K_1}\right) -$$
$$- \ddot{z}_{O_1} \cdot m_{K_1} \cdot \sin\gamma + \ddot{\varphi}_3 \cdot m_{K_2} \cdot C_O^2 \times$$
$$\times \sin\left(\gamma - \varphi\right) = -\dot{\varphi}_3 \cdot \dot{\varphi} \cdot m_{K_2} \cdot C_O^2 -$$
$$- \frac{\xi}{\varphi_{сц_1} \cdot N_1 + \varphi_{сц_2} \cdot N_2} + z_{O_1} \cdot \cos\gamma \times$$
$$\times c_{1m} \cdot \varphi_{сц_1} - \varphi_3 \cdot c_{2m} \cdot K_{O_2} \cdot \varphi_{сц_2}; \quad (18)$$

$$\ddot{z}_{O_1}\left(m_{k_1} \cdot \cos^2\gamma + m_{k_1} \cdot \sin\gamma\right) \cdot m_{k_1} -$$
$$- \ddot{x}_c \cdot m_{k_1} \cdot \sin\gamma_1 - \ddot{x}_1^{П} \cdot m_{k_1} \cdot \sin\gamma =$$
$$= -c_1(z_{O_1} - z_c \cdot \cos\gamma + a \cdot \varphi + f_1) -$$
$$- \alpha_1(\dot{z}_{O_1} - \dot{z}_c \cdot \cos\gamma + a \cdot \dot{\varphi} + \dot{f}_1) +$$
$$+ (N_1 + c_{ш_1} \cdot z_{O_1} \cdot \cos\gamma) \cdot \varphi_{сц_1} \cdot \sin\gamma \cdot x_1^n; \quad (19)$$

$$\ddot{x}_c \cdot m_{k_1} - \ddot{z}_{01} \cdot m_{k_1} \cdot \sin\gamma + \ddot{x}_1^{П} \cdot m_{k_1} =$$
$$= -c_1(z_{01} - z_c \cdot \cos\gamma + a \cdot \varphi + f_1) -$$
$$- \alpha_1(\dot{z}_{01} - \dot{z}_c \cdot \cos\gamma + a \cdot \dot{\varphi} + \dot{f}_1); \quad (20)$$

$$\ddot{x}_c \cdot m_{k_1} - \ddot{\varphi} \cdot m_{k_1} \cdot c_0^2 \cdot \sin(\gamma - \varphi) + J \cdot \ddot{\varphi} =$$
$$= m_k \cdot \dot{\varphi}^2 \cdot c_0 \cdot (\gamma - \varphi) - c_1 \cdot (z_{O_1} - z_c \times$$
$$\times \cos\gamma + f_1) \cdot a + c_2 \cdot (км \cdot \varphi_3 + f_2) \cdot b -$$
$$- \varphi \cdot (c_1 \cdot a^2 + c_2 \cdot b^2) - \alpha_1 \cdot (\dot{z}_{O_1} - \dot{z}_c \times$$
$$\times \cos\gamma + \dot{f}_1) \cdot a + \alpha_2 \cdot (км \cdot \dot{\varphi}_3 + \dot{f}_2) \cdot b -$$
$$- \dot{\varphi} \cdot (\alpha_1 \cdot a^2 + \alpha_2 \cdot b^2) + \varphi_{сц} \cdot h_c \cdot (N_1 +$$
$$+ c_1 \cdot z_{O_1} \cdot \cos\gamma) + \varphi_{сц_2} \cdot h_c \cdot (N_2 - c_{2ш} \times$$
$$\times k_{O_2} \cdot \varphi_3) + m_{k_2}[\dot{x}_c + \dot{\varphi}_3 \cdot c_0 \cdot \sin(\gamma_2 - \varphi_3) +$$
$$+ \dot{x}_2^{П}] \cdot \dot{\varphi} \cdot c_0 \cdot c_{O_1}(\gamma - 4); \quad (21)$$

$$\ddot{\varphi}_3[J - m_{k_2} \cdot c_0 \cdot \sin(\gamma - \varphi) \cdot k_{O_2} \times$$
$$\times \cos(\gamma_2 - \varphi_3)] - \ddot{x}_c \cdot m_{k_2} \cdot k_{O_2} \times$$
$$\times \cos(\gamma_2 - \varphi_3) + \ddot{x}_2^{П} \cdot m_{k_2} \cdot k_{O_2} \times$$
$$\times \cos(\gamma_2 - \varphi_3) = -км \cdot c_2(км \cdot \varphi_3 -$$
$$- b \cdot \varphi + f_2) - км \cdot \psi_2 \cdot (км \cdot \dot{\varphi}_3 -$$
$$- b \cdot \dot{\varphi}_3 + \dot{f}_2) + k_{O_2} \cdot (N_2 - c_{2ш} \times$$
$$\times k_{O_2} \cdot \varphi_3) \cdot \varphi_{сц_2} \cdot \sin(\gamma_2 - \varphi_3) -$$
$$- m_{k_2}[\dot{x}_c \cdot \dot{\varphi} \cdot c_0 \cdot \sin(\gamma - \varphi) +$$
$$+ \dot{\varphi}_3 \cdot k_{O_2} \cdot \sin(\gamma_2 - \varphi_3) + x_2^{П}] \times$$
$$\times \dot{\varphi}_3 \cdot k_{O_2} \cdot \cos(\gamma_2 - \varphi_3); \quad (22)$$

$$J_{k_1} \cdot \ddot{\varphi}_1 = -M_{T_1}; \quad (23)$$

$$J_{k_2} \cdot \ddot{\varphi}_2 = -M_{T_2}. \quad (24)$$

Полученные результаты позволяют сделать качественную оценку колебаний нормальных реакций на передние колёса при торможении с детерминированными возмущениями со стороны опорной поверхности.

На рис. 2 и 3 приведены графики, иллюстрирующие изменение некоторых характеристик тормозной динамики мотоцикла при имитации с помощью представленной модели процесса экстренного торможения со скорости 8,3 и 11,1 м/с на горизонтальной асфальтированной сухой дороге [2].

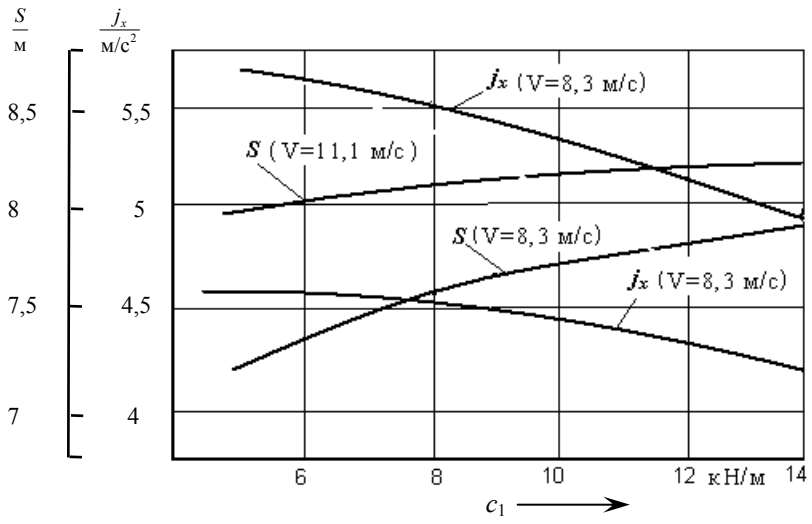


Рис. 2. Зависимость ускорения замедления и тормозного пути от жесткости передней подвески c_1

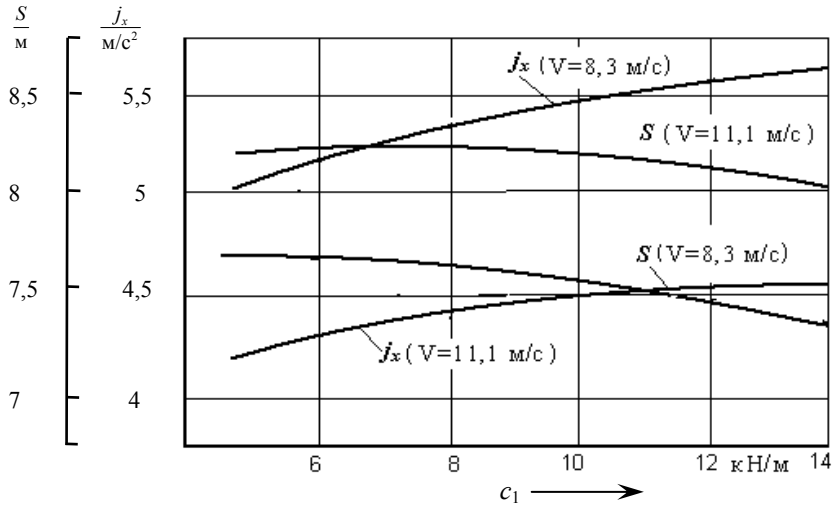


Рис. 3. Зависимость ускорения замедления и тормозного пути от жесткости задней подвески c_2

Для оценки влияния упругих и диссипативных характеристик подвески мотоцикла на показатели тормозной динамики выбирались следующие факторы варьирования (аргументы):

– коэффициент жёсткости передней подвески c_1;

– коэффициент жёсткости задней подвески c_2;

– коэффициент демпфирования передней подвески α_1;

– коэффициент демпфирования задней подвески α_2.

В качестве показателей оценки качества тормозной системы машины принимаем:

– тормозной путь автомобиля S;

– ускорение замедления j_x, м/с^2;

– коэффициент скольжения колеса $S_{ск}$.

При проведении исследования жесткость передней подвески c_1, кН/м, варьировалась в следующих пределах: 14; 12; 10; 8; 6. Изменения коэффициента скольжения и ускорения замедления в зависимости от величины жесткости передней подвески приведены в табл. 1–4.

Исследовалось также влияние ко-

эффициентов демпфирования на параметры торможения. Значение коэффициента демпфирования передней подвески α_1, Н·с/м, варьировалось в следующих пределах: 2; 4; 6; 8. Изменение коэффициента демпфирования задней подвески производилось в таких же пределах, как и для передней подвески. Влияние коэффициентов демпфирования передней и задней подвесок на тормозные параметры мотоцикла не выявлено.

Табл. 1. Изменение коэффициента скольжения при жесткости передней подвески c_1 = 14 кН/м

Время торможения t, с	Скорость движения мотоцикла U, м/с	Угловая скорость переднего колеса ω, с$^{-1}$	Коэффициент скольжения переднего колеса $S_{ск}$, %
0,16	8,221	27,992	0,35
0,4	7,928	27,236	1,3
0,8	7,445	24,538	2,7
1,2	6,972	20,04	15,2
1,6	6,512	13,743	37,7
2,00	6,068	5,643	72,5
2,160	5,894	1,974	90,1
2,250	5,798	0,00	100

Табл. 2. Изменение коэффициента скольжения при жесткости передней подвески c_1 = 12 кН/м

Время торможения t, с	Скорость движения мотоцикла U, м/с	Угловая скорость переднего колеса ω, с$^{-1}$	Коэффициент скольжения переднего колеса $S_{ск}$, %
0,16	8,221	27,992	0,35
0,4	7,928	27,236	1,3
0,8	7,444	24,538	2,6
1,2	6,967	20,04	15,1
1,6	6,502	13,743	37,6
2,00	6,05	5,648	72,4
2,160	5,873	1,974	90,0
2,250	5,775	0,00	100

Табл. 3. Зависимость ускорения замедления и тормозного пути от жесткости передней подвески c_1

Жесткость передней подвески c_1, кН/м	Ускорение замедления j_x, м/с^2, при начальной скорости V = 11,1 м/с	Тормозной путь при начальной скорости V = 11,1 м/с	Ускорение замедления j_x, м/с^2, при начальной скорости V = 8,3 м/с	Тормозной путь при начальной скорости V = 8,3 м/с
14	4,290	8,233	4,904	7,911
12	4,402	8,151	5,078	7,845
10	4,418	8,146	5,271	7,702
8	4,481	8,128	5,567	7,533
6	4,542	8,052	5,632	7,420

Табл. 4. Зависимость ускорения замедления и тормозного пути от жесткости задней подвески c_2

Жесткость передней подвески c_2, кН/м	Ускорение замедления j_x, м/с^2, при начальной скорости V = 11,1 м/с	Тормозной путь при начальной скорости V = 11,1 м/с	Ускорение замедления j_x, м/с^2, при начальной скорости V = 8,3 м/с	Тормозной путь при начальной скорости V = 8,3 м/с
14	4,539	8,077	5,633	7,426
12	4,475	8,101	5,606	7,455
10	4,425	8,130	5,487	7,563
8	4,356	8,187	5,376	7,612
6	4,300	8,241	5,280	7,694

При расчете тормозной динамики мотоцикла сила сопротивления воздуха из уравнений исключалась, так как последняя является дополнительным фактором, препятствующим движению, и воздействие силы сопротивления воздуха на мотоцикл однозначно выражалось бы в повышении эффективности торможения (что является своеобразной гарантией сохранения значений полученных параметров тормозной динамики мотоцикла).

Кроме того, в процессе торможения происходит значительное снижение скорости движения мотоцикла и, как следствие, значительное снижение воздействия силы сопротивления воздуха на тормозную динамику мотоцикла.

В результате анализа влияния на параметры торможения упругих и диссипативных характеристик подвески мотоцикла было установлено, что: с уменьшением жесткости передней подвески сокращается тормозной путь и время торможения, возрастает ускорение замедления; с увеличением жесткости задней подвески уменьшаются тормозной путь и время торможения, возрастает ускорение замедления; изменение коэффициентов демпфирования передней и задней подвесок не оказывает влияния на тормозной путь, ускорение замедления и время торможения; при уменьшении коэффициента демпфирования передней подвески возрастают угловые колебания остова мотоцикла; уменьшение коэффициента демпфирования задней подвески не оказывает значительного влияния на угловые колебания остова мотоцикла; коэффициент скольжения незначительно снижается при уменьшении жесткости передней подвески.

Уменьшение коэффициента скольжения составляет 0,1 % при уменьшении жесткости передней подвески на 2 кН/м; изменение жесткости задней подвески не оказывает значительного влияния на коэффициент скольжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ким, В. А.** Методология создания систем активной безопасности автотранспортных средств на основе силового анализа / В. А. Ким ; под ред. Р. И. Фурунжиева. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2003. – 344 с.

2. **Сазонов, И. С.** Стратегия управления полноприводных АТС / И. С. Сазонов // Автомобильная промышленность. – 2000. – № 8. – С. 12–13.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 20.06.2008

A. S. Melnikov, I. S. Sazonov, V. A. Kim
Influence of the main parameters of the motorcycle suspension with a disk brake on the indices of braking dynamics

The influence of motorcycle suspension rigidity and damping on the braking route, braking time and speeding-up of deceleration is considered in the paper. Mathematical simulation of motorcycle braking was carried out to evaluate the influence of suspension parameters on the indices of braking efficiency. It has been found that the indices of braking efficiency are mostly influenced by the rigidity of the front and back suspension. The influence of the damping coefficients of the front and back suspensions on the indices of braking efficiency is not revealed.

УДК 004.8:629.3

С. А. Рынкевич, канд. техн. наук, доц.

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ГМП

Рассмотрена проблема автоматизации управления и диагностирования гидромеханических передач мобильных машин и обозначены пути ее решения. Отмечена перспективность интеллектуальных и информационных технологий в автоматизации управления и диагностирования механизмов транспортных средств. Предложена структура комплексной бортовой системы управления и диагностирования гидромеханической передачи автомобиля.

Для повышения конкурентоспособности отечественной автотранспортной техники и совершенствования потребительских качеств в современных рыночных условиях необходима ее комплексная автоматизация. Применение бортовой микроэлектроники создает для этого хорошие предпосылки. Адаптивное интеллектуальное управление энергетическими режимами автотранспортного средства (АТС) достаточно перспективно с точки зрения наиболее полной реализации его потенциальных возможностей, улучшения показателей эффективности, обеспечения безопасности и комфортности [1, 2].

Поставленная в статье проблема включает в себя несколько направлений, которые описаны ниже.

Автоматизация управления ГМП

Гидромеханические передачи (ГМП) находят широкое применение на городских автобусах, карьерных автомобилях-самосвалах, легковых автомобилях среднего и большого классов. В состав ГМП входят механическая многоступенчатая коробка передач (КП) и гидродинамический трансформатор (ГДТ). Переключение ступеней КП и блокирование ГДТ осуществляется фрикционными элементами (муфтами и тормозами), управление которыми легко поддается автоматизации. Поэтому современные ГМП выполняют с автоматическим управлением. Автоматизация управления позволяет существенно облегчить труд водителя, повысить безопасность АТС и получить более высокие показатели эффективности по сравнению с аналогичными транспортными средствами с механической трансмиссией. Эффективность применения ГМП во многом определяется характеристиками управления, поэтому вопросу их выбора уделяют большое внимание конструкторы и исследователи.

Проблемам исследования и проектирования автоматизированных систем управления, создания методологических основ автоматизации транспортных средств, разработки алгоритмов функционирования систем автоматического управления различными мобильными машинами посвятили свои труды такие ученые, как М. А. Айзерман, М. М. Арановский, М. М. Белоус, М. С. Высоцкий, С. Д. Галюжин, О. И. Гируцкий, Н. Н. Горбатенко, Л. И. Гром-Мазничевский, Ю. К. Есеновский-Лашков, Ю. М. Захарик, В. В. Кацыгин, Г. Коралевски, Л. В. Крайнык, Л. Г. Красневский, С. К. Крутолевич, И. П. Ксеневич, А. С. Литвинов, В. И. Мрочек, А. Н. Нарбут, В. А. Петров, В. Ф. Платонов, Б. И. Плужников, А. А. Полунгян, Д. Г. Поляк, О. С. Руктешель, А. С. Солонский, В.П. Тарасик, А. А. Токарев, Я. Е. Фаробин, В. Ф. Чабан, Е. А. Чудаков, В. А. Широченко, Н. Н. Яценко и др. Их исследованиями предопределены основные теоретические предпосылки и тенденции при автоматизации АТС.

К настоящему времени коллективом кафедры «Автомобили» Белорусско-Российского университета под ру-

ководством проф. В. П. Тарасика выполнены существенные научные разработки в области теории и проектирования алгоритмов управления и исполнительных механизмов автоматических систем [1–3]. Разработаны и запатентованы способы управления и конструкции устройств, реализующих алгоритмы управления [4–10].

В процессе многолетних (с 1999 по 2007 гг.) исследований учеными кафедры «Автомобили» Белорусско-Российского университета решен ряд задач, связанных с разработкой алгоритмов нечеткого адаптивного управления энергетическими режимами для отечественных грузовых автомобилей, автобусов и гусеничных машин [2]. Значительная часть работ проводилась по заданию ГНТП «Белавтотракторостроение». Многие работы выполнялись по госбюджетной тематике и хоздоговорам с ведущими отечественными предприятиями автомобильной промышленности.

В настоящее время работы продолжаются в рамках ГНТП «Машиностроение» (подпрограммы «Карьерная техника»).

Автоматизация диагностирования ГМП

В процессе управления АТС должны неразрывно решаться задачи определения технического состояния его механизмов, т. е. задачи диагностирования, контроля, прогнозирования. С появлением средств бортовой микроэлектроники вопросы обеспечения автоматизации процессов диагностирования приобретают особую актуальность.

Исследованием проблем диагностирования механизмов мобильных машин, разработкой теоретических вопросов технического диагностирования занимались И. Н. Аринин, Т. М. Башта, Н. В. Богдан, М. Д. Генкин, Н. Я. Говорущенко, В. В. Капустин, Ю. Д. Карпиевич, Л. Г. Красневский, Е. А. Никитин, М. И. Жилевич, Р. А. Макаров, А. Н. Максименко, А. В. Мозгалевский, В. И. Присс, А. Г. Сергеев, Т. А. Сырицин, Р. Шадюль, В. Ф. Яковлев. В то же время методы и методики, используемые большинством авторов, имеют ряд ограничений, предназначены для решения частных вопросов автоматизации и не позволяют эффективно решать задачи синтеза адаптивных систем управления и их характеристик, учитывающих большое разнообразие параметров, условий и ситуаций, которые имеют место при эксплуатации автотранспортных средств, и обладающих к тому же свойствами, присущими логическому мышлению человека. Неопределенность и нечеткость условий функционирования объектов автоматизации вносят огромные трудности в процесс обработки и анализа огромной информации и не позволяют осуществлять управление этими объектами, контроль их механизмов, защиту и другие функции по однозначным характеристикам, получаемым традиционно известными методами. Отмеченные аспекты проблемы автоматизации АТС требуют использования других методов и новой методологии. Поскольку при автоматизации АТС нужно учитывать такое огромное количество факторов и принимать во внимание все рассмотренные выше обстоятельства, то решить проблему детерминированными и однозначными алгоритмами управления невозможно по нескольким причинам. Во-первых, в случае реализации таких алгоритмов все равно самое совершенное логическое устройство или самый современный процессор не сможет осуществлять управление системой в реальном режиме времени. Во-вторых, и это главное: данная проблема настолько сложна, что на сегодняшний день создать эффективную модель, учитывающую отмеченное многообразие всевозможных обстоятельств, просто невозможно. Опубликованные работы по диагностированию мобильных машин носят локальный характер и посвящены использованию методов оценки техни-

ческого состояния отдельных механизмов преимущественно стационарными или переносными техническими средствами. При этом отсутствует системный теоретический подход к проблеме диагностирования мобильных машин, не разработаны методологические вопросы технического диагностирования на основе современных средств и новых технологий. Кроме того, большинство работ посвящено косвенным методам исследования. Применение прямых методов в инженерной практике при решении задач диагностирования сдерживается сложностью математического описания и анализа внутренних динамических процессов в объекте, что ставит проблему дальнейшего развития и совершенствования методов технического диагностирования. Совершенно очевидно, что для решения отмеченных проблем необходимы новые подходы, пути и методы, отличные от классических. Эти пути и методы должны быть, во-первых, концептуально обоснованы, во-вторых, должны основываться на фундаментальных теоретических разработках и соответствующем математическом аппарате. Современный этап развития техники характеризуется широким внедрением в системы управления микроэлектроники, позволяющей обеспечить комплексную автоматизацию машин и технических комплексов, включающую все рассмотренные виды автоматизации. Автоматические устройства в этом случае способны выполнять одновременно множество функций. Анализ состояния проблемы автоматизации управления АТС показывает, что классическая теория автоматического управления не дает возможности учета всего разнообразия условий функционирования автомобиля. В связи с этим эффективность создаваемых систем на ее научных принципах оказывается, чаще всего, ниже ожидаемой.

Бесспорное первенство в решении проблемы автоматизации диагностирования принадлежит интеллектуальным технологиям (технологиям искусственного интеллекта (ИИ)), являющим собой принципиально новый приоритетный уровень автоматизации мобильных машин [3].

Применение интеллектуальных и информационных технологий в автоматизации управления и диагностирования

Одна из современных технологий ИИ, которая относится к приоритетным направлениям в автоматизации и довольно широко используется на зарубежных автомобилях, – это нечеткая логика управления [2, 3]. Ее также относят к новым информационным технологиям, называя технологией «мягких вычислений».

Многие грузовые и легковые автомобили различных марок используют так называемое нечеткое управление трансмиссией, двигателем, тормозной системой и другими механизмами. При этом здесь зачастую используется обобщенное понятие: управление «энергетическими режимами» автомобиля, под которым подразумевается решение комплекса задач по оптимальному управлению процесса получения, преобразования и передачи энергии от его источника – двигателя – к движителю.

Примером служат такие известные фирмы и корпорации, как «Тойота», «Хонда», «Вольво», «Форд», «Хундай», «Дженерал Моторс» и др. При управлении ГМП на автомобилях этих фирм реализован ряд запатентованных технических решений (US 5124916, US 5267158, US 5323318, US 5389050, US 5822708, US 2001/0053731, US 2002/0016665, US 2001/0020207, US 6358184, US 5806052, EP 0588417, EP 0347263, EP 0781945, EP 0870952, W 09607559) [2]. По данным этих фирм, сегодня нечеткое управление является весьма эффективным и перспективным средством автоматизации АТС.

В то же время информация о про-

дукции этих фирм носит рекламный характер, а вопросы, связанные с алгоритмами функционирования электронных интеллектуальных систем управления, в эпоху конкурентной борьбы за рынки сбыта продукции не раскрываются по принципиальным соображениям. Это значительно осложняет возможность использования опыта зарубежных автомобильных фирм применительно к автоматизации отечественных машин. Поэтому перед нашими учеными ставится важная задача: в кратчайшие сроки провести комплекс самостоятельных исследований этого перспективного научного направления и найти пути использования отмеченных интеллектуальных технологий в управлении и диагностировании мобильных машин.

К этому призывают и стратегические задачи, поставленные Правительством Республики Беларусь перед научными работниками на I съезде ученых РБ.

Структура комплексной системы управления и диагностирования ГМП

Рассмотрим применение интеллектуальных технологий при автоматизации управления и диагностирования ГМП мобильной машины.

Выбор структуры комплексной системы управления и диагностирования (КСУД) ГМП зависит от поставленных заказчиком задач и требований, особенностей эксплуатации объекта автоматизации (машины с ГМП), традиций производства, экономических, социальных и других факторов.

Вариантов схемного построения КСУД много, причем здесь не существует жестких рамок и шаблонов. Один из вариантов КСУД, основанный на использовании запатентованных автором технических решений [4–11], показан на рис. 1.

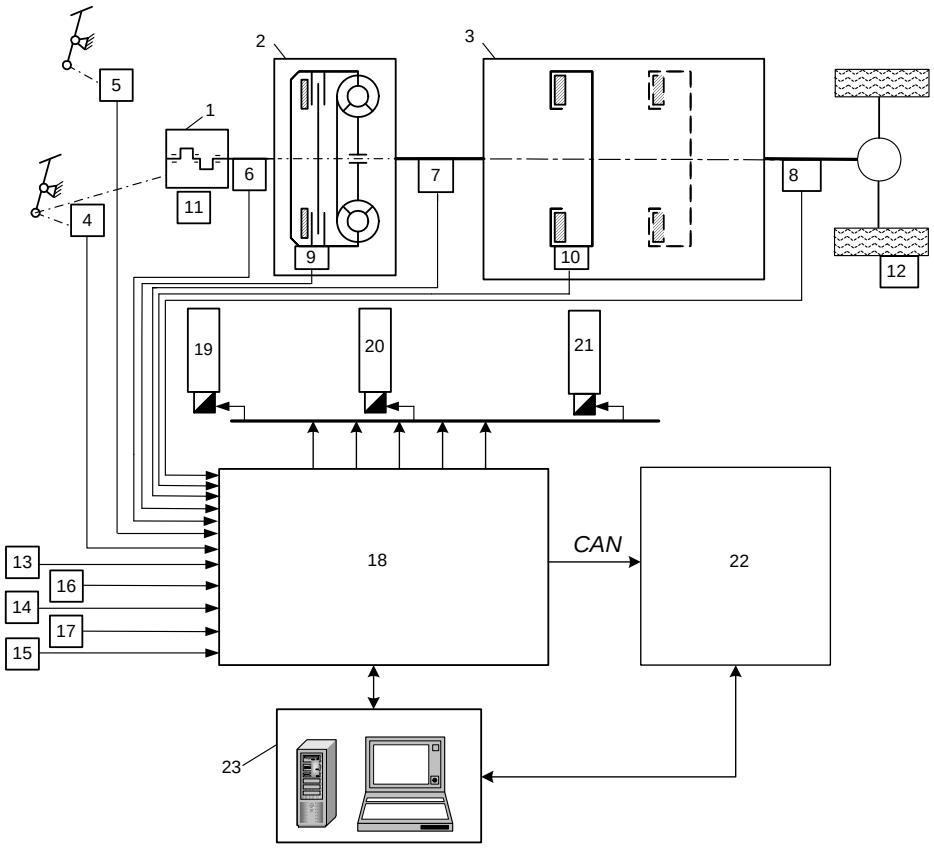


Рис. 1. Схема КСУД ГМП

КСУД ГМП (см. рис. 1) содержит транспортное средство, снабженное двигателем 1, гидротрансформатором 2 и гидромеханической передачей 3, которое эксплуатируется в условиях внешней среды. Для сбора и измерения всевозможной информации о параметрах и характеристиках управляющих воздействий водителя, механизмах и режимах АТС, внешней среды и ситуаций используются различные датчики: положения педалей акселератора 4 и тормоза 5, угловой скорости вала двигателя 6, входного 7 и выходного 8 валов ГМП, датчики состояния муфты блокирования 9 гидротрансформатора 2 и фрикционных муфт 10 ГМП, температуры 11 двигателя и трансмиссии, скорости 12 машины, характеристик дорожных условий 12 и внешней среды 13 (макро- и микропрофиля поверхности дороги, уклона 14, коэффициента сопротивления 15, различных ситуаций 16–17 и т. д.).

Собираемая датчиками информация используется при формировании программы управления энергетическими режимами, причем программа управления включает основную (базовую) программу и элементы адаптации основной программы к нештатным режимам.

Поступающая от датчиков информация обрабатывается в бортовом процессоре (электронном блоке) 18, в котором хранятся основная программа (в виде зависимостей между информационными переменными и базовыми характеристиками управления либо в виде цифровых файлов информации) и элементы ее адаптации. В итоге формируются управляющие сигналы для отработки исполнительными механизмами управления энергетическими режимами машины: двигателем 19 и механизмами ГМП – гидротрансформатором 20 и коробкой передач 21.

Для визуализации различной информации используется интеллектуальная панель оператора 22, которую размещают в кабине водителя. Панель оператора содержит контролируемую текущую информацию о параметрах механизмов ГМП, режимах эксплуатации и информацию о техническом состоянии машины.

Основную программу управления формируют на основе имитационного моделирования посредством ЭВМ 23 транспортного средства в модельных (типовых) условиях его движения [12–14]. Основная программа представляет собой базовые характеристики управления переключением передач и блокированием ГДТ, характеристики управления скоростными режимами двигателя, характеристики управления фрикционами переключения передач. При формировании основной программы используется методология математического моделирования и оптимизации параметров сложных технических систем, регрессионный и корреляционный анализы, новые информационные технологии и другие методы [15–25].

Для формирования характеристик адаптации базовой программы к различным режимам также проводят комплекс научных исследований с использованием ЭВМ и математического моделирования. В связи с переменчивостью условий эксплуатации машины элементы адаптации программы целесообразно оптимизировать. Оптимизацию параметров адаптации проводят на основе экспериментальной факторной модели (регрессионной модели). Регрессионную модель получают путем проведения вычислительного эксперимента на исходной теоретической модели объекта исследования. Эксперимент планируют, а результаты его подвергают регрессионному анализу, посредством которого определяют параметры модели [2, 12, 21–23].

Осуществление процесса диагностирования происходит следующим образом.

Собираемая датчиками информация в виде значений информационных переменных используется в качестве диагностируемых параметров для последующего определения и оценки технического состояния механизмов транспортного средства. При этом эти сигналы разделяют на диагностические, кон-

тролируемые, информационные и управляющие сигналы, которые учитывают характеристики параметров внешней среды и дорожных условий; управляющих воздействий водителя; скоростных режимов движения транспортного средства; особенностей управления транспортным средством, обусловленных стилем вождения и квалификацией водителя; степень загрузки транспортного средства; допустимые режимы работы двигателя, трансмиссии и тормозной системы; пределы безопасных режимов движения транспортного средства в реальных дорожных условиях.

При использовании технологий нечеткой логики осуществляют процедуры фаззификации характеристик и параметров собираемой, передаваемой и обрабатываемой информации из диагностических, контролируемых и управляющих сигналов, составления и формализации продукционных правил, дефаззификации, на основе чего в режиме реального времени формируют сигналы, посредством которых вначале осуществляют результат предварительного технического диагноза, который используется, уточняется и проверяется в экспертной базе знаний, а затем – результат окончательного технического диагноза о состоянии механизмов транспортного средства с его отображением и визуализацией на информационном дисплее водителя или оператора 22.

Для выявления требуемого множества диагностических сигналов и определения их взаимосвязи непосредственно в процессе эксплуатации транспортного средства либо на предварительной стадии осуществляют имитационное моделирование процессов функционирования механизмов транспортного средства, процедуры корреляционного и регрессионного анализа, затем осуществляют формализацию этих сигналов средствами нечеткой логики путем описания их функциями принадлежности и составления продукционных правил с приведением сигналов в нечеткий вид и обратным их преобразованием в четкие выходные сигналы, которые используют при получении технического диагноза. При этом могут использоваться различные методы технологий искусственного интеллекта [24, 25].

Для отображения диагностической информации в состав КСУД включают панель оператора.

В процессе диагностирования в стационарных условиях панель оператора выполняется в виде так называемого окна интерпретатора, в котором информация экспертной системы о техническом состоянии механизмов ГМП для одного из режимов функционирования выводится в вербальном виде (рис. 2). Окно просмотра экспертной системы содержит графическую информацию о поведении параметров для различных режимов функционирования механизмов (на режимах управления или диагностирования). В специальных строках-окнах выводятся разные сообщения: виды и наименования диагностических и контролируемых параметров, их текущие значения, предупреждения о возникновении нештатных ситуаций либо достижении параметров критических значений. При определенной доработке окна интерпретатора либо элементы интерфейса экспертной системы могут быть достаточно легко изменены в соответствии с пожеланиями пользователя. Экспертная система в составе КСУД для диагностирования ГМП сопровождается программным обеспечением, разработанным на современных языках программирования с привлечением средств визуальной разработки приложений.

Вывод

Автоматизация управления и диагностирования ГМП должна осуществляться на основе методов, реализующих интеллектуальные технологии (технологии искусственного интеллекта), что обеспечит выход на принципиально новый уровень автоматизации мобильных машин.

Рис. 2. Окна интерпретатора и панели оператора КСУД

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ксеневич, И. П.** Теория и проектирование автоматических систем / И. П. Ксеневич, В. П. Тарасик. – М. : Машиностроение, 1996. – 480 с.

2. **Тарасик, В. П.** Интеллектуальные системы управления автотранспортными средствами / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич. – Минск : Технопринт, 2004. – 512 с. : ил.

3. **Тарасик, В. П.** Технологии искусственного интеллекта в диагностировании автотранспортных средств / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2007. – 280 с.: ил.

4. **Пат. 5522 РБ, МКИ В 60 К 41/06.** Система автоматического управления гидромеханической трансмиссией / С. А. Рынкевич [и др.] ; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т ; заявл. 14.02.00 ; опубл. 30.09.03. – 12 с.

5. **Пат. 5082 РБ, МКИ В 60 К 41/06.** Система автоматического управления гидромеханической трансмиссией / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич ; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т ; заявл. 18.11.99 ; опубл. 30.03.03. – 8 с.

6. **Пат. 7276 РБ, МКИ В 60 К 41/06.** Способ адаптивного управления энергетическими режимами автотранспортного средства / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич ; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т ; заявл. 22.10.02 ; опубл. 30.06.04. – 5 с.

7. **Пат. 7330 РБ, МКИ В 60 К 41/06.** Способ адаптивного управления энергетическими режимами автотранспортного средства / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич ; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т ; заявл. 24.07.02 ; опубл. 30.03.04. – 8 с.

8. **Пат. 8007 РБ, МКИ В 60 К 41/06.** Способ интеллектуального управления энергетическими режимами автотранспортного средства и система для его реализации / С. А. Рынкевич ; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т ;

заявл. 04.02.03 ; опубл. 30.04.06. – 16 с.

9. **Пат. 9142 РБ, МКИ В 60 К 41/00.** Способ интеллектуального управления энергетическими режимами мобильной машины / С. А. Рынкевич ; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т ; заявл. 28.10.04 ; опубл. 30.04.07. – 11 с.

10. **Пат. на полезную модель 3421 РБ, МКИ В 65 К 41/00.** Система адаптивного интеллектуального управления энергетическими режимами мобильной машины / В. П. Тарасик [и др.] ; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т ; заявл. 11.08.06 ; опубл. 30.04.07. – 10 с.

11. **Пат. 11076 РБ, МПК В 60 W 10/00.** Способ интеллектуального управления и диагностирования транспортного средства / С. А. Рынкевич ; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т ; заявл. 27.07.06 ; опубл. 30.08.08. – 17 с.

12. Исследование на математических моделях и разработка методики синтеза интеллектуальных систем управления энергетическими режимами автотранспортных средств : отчет о НИР (заключ.) / Белорус.-Рос. ун-т ; рук. В. П. Тарасик ; отв. исполн. : С. А. Рынкевич. – Могилев, 2005. – 58 с. – № ГР 20021539.

13. **Рынкевич, С. А.** Математическое моделирование интеллектуального управления автомобилем с гидромеханической трансмиссией / С. А. Рынкевич // Перспективные технологии, материалы и системы : сб. науч. тр. – Могилев, 2003. – С. 334–339.

14. **Рынкевич, С. А.** Моделирование адаптивной системы управления автомобилем с гидромеханической трансмиссией / С. А. Рынкевич // Вестн. Белорус. нац. техн. ун-та. – 2005. – № 4. – С. 34–39.

15. **Рынкевич, С. А.** Создание электронных систем управления и диагностирования для мобильных машин / С. А. Рынкевич // Сб. тр. науч.-метод. конф., посвященной 45-летию Белорус.-Рос. ун-та. – Могилев, 2007. – С. 3–7.

16. Исследование, поставка, монтаж и испытания опытного образца электронной системы управления ГМП для карьерного самосвала БелАЗ–7516 : отчет о НИР (заключ.) / Белорус.-Рос. ун-т ; рук. В. П. Тарасик ; отв. исполн. : Н. Н. Горбатенко [и др.]. – Могилев, 2007. – 41 с. – № ГР 2007224.

17. **Тарасик, В. П.** Проблемы диагностирования автотранспортных средств и пути их решения / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2007. – № 1. – С. 57–66.

18. **Рынкевич, С. А.** Общетехнические и философские проблемы автоматизации технических объектов / С. А. Рынкевич // Вестн. Белорус. нац. техн. ун-та. – 2007. – № 1.– С. 86–93.

19. **Рынкевич, С. А.** Метод диагностирования механизмов АТС на основе нечеткой логики / С. А. Рынкевич // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2006. – Ч. 2. – С. 61–62.

20. **Рынкевич, С. А.** Интеллектуальные системы при автоматизации в технике: философские проблемы / С. А. Рынкевич // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2006. – Ч. 3. – С. 163–164.

21. **Тарасик, В. П.** Методология интеллектуального управления / диагностирования / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2007. – Ч. 2. – С. 63.

22. **Рынкевич, С. А.** Синтез адаптивных систем управления автотранспортных средств с применением нечеткой логики / С. А. Рынкевич // Перспективные технологии, материалы и системы : сб. науч. тр. – Могилев, 2005. – С. 321–327.

23. **Рынкевич, С. А.** Адаптация характеристик управления энергетическими режимами автомобиля на основе нечеткой логики и обучающихся нейронечетких сетей / С. А. Рынкевич // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2007. – № 2. – С. 17–22.

24. **Рынкевич, С. А.** Метод диагностирования гидроприводов, основанный на нечеткой логике / С. А. Рынкевич // Автомобильная промышленность. – 2007. – № 6. – С. 32–35.

25. **Рынкевич, С. А.** Метод нейронечеткой идентификации неисправностей гидромеханических передач автомобилей / С. А. Рынкевич // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2007. – № 3. – С. 15–22.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 24.06.2008

S. A. Rynkevich
Automation of control and diagnosing of hydromechanical transmissions

The problem of automation of control and diagnosing of hydromechanical transmissions of mobile machines and ways of its solution are considered in the article. Perspectiveness of intellectual and information technologies in control and diagnosing automation of means of transport mechanisms has been noted in the paper. The structure of a complex control and diagnosing system of hydromechanical transmission of the automobile is given in the article.

МАШИНОСТРОЕНИЕ. МЕТАЛЛУРГИЯ

УДК 621.787

Н. С. Гарлачов, канд. техн. наук, доц., Е. Н. Антонова, канд. техн. наук

УПРАВЛЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТЬЮ И ФОРМОЙ МИКРОРЕЛЬЕФА ПРИ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ПНЕВМОЦЕНТРОБЕЖНОЙ ОБРАБОТКЕ ОТВЕРСТИЙ

В статье рассмотрены вопросы обеспечения шероховатости по параметру Ra и формы микрорельефа поверхности при пневмоцентробежной обработке отверстий двухрядным пневмоцентробежным раскатником. На базе проведенного энергетического анализа получена математическая модель пневмоцентробежной обработки отверстий, позволяющая определить шероховатость поверхности при заданных режимах обработки и конструктивных параметрах раскатника. Указаны пути управления формой микрорельефа поверхности и шероховатостью поверхности.

Методы поверхностного пластического деформирования давно известны и широко используются в машиностроении. Процесс пневмоцентробежной обработки (ПЦО) применим для любого типа производства с использованием как специального, так и универсального оборудования и имеет ряд преимуществ перед традиционными способами финишной обработки отверстий мало- и неравножестких деталей, таких например, как вкладыши подшипников скольжения, гильзы цилиндров, шатуны, поршни компрессоров и двигателей внутреннего сгорания и другие.

Известно, что надежность и долговечность деталей пар трения в большей степени зависят от формы микрорельефа и шероховатости рабочих поверхностей. Достичь заданных параметров качества поверхности невозможно без совершенствования конструкции инструмента и оптимизации выбора режимов обработки.

На основании анализа теоретических основ ПЦО установлено, что отсутствуют математическая модель процесса и программа расчета, позволяющая обоснованно назначать рациональные режимы обработки и конструктивные параметры раскатников в зависимости от твердости обрабатываемого материала для достижения требуемой шероховатости поверхности и формы микрорельефа, что повысило бы качество обработки и позволило бы сократить время на проведение опытно-экспериментальных работ. В связи с этим разработка математической модели пневмоцентробежной обработки поверхности отверстий, позволяющей прогнозировать и достигать требуемую шероховатость и форму микрорельефа поверхности, является актуальной задачей.

На базе существующих теоретических основ пневмоцентробежной обработки поверхностей отверстий проведен энергетический анализ пневмоцентробежных раскатников, позволяющий учесть потери энергии при преобразовании энергии давления сжатого воздуха в энергию смятия микронеровностей, а также установлены взаимосвязи основных конструктивных параметров инструмента и режимов обработки с величиной шероховатости и формой микрорельефа поверхности, полученной после обработки.

Кинематика потоков сжатого воздуха в раскатнике (распределение энергии) представлена на рис. 1.

Потенциальная энергия сжатого воздуха E преобразуется в кинетическую энергию струй $E_{\text{с}}$, шаров $E_{\text{ш}}$, энергию смятия микронеровностей $E_{\text{см}}$ и энергию проталкивания в зазоре между инструментом и заготовкой $E_{пр}$. В про-

цессе преобразования происходят потери энергии в соплах $\Delta E_с$, камере расширения $\Delta E_к$ и в зазоре между инструментом и заготовкой $\Delta E_{пр}$. Тогда суммарная потенциальная энергия поступающего воздуха (баланс энергий) будет определяться по формуле

$$E = E_ш + E_{пр} + \Delta E_{пр} + \Delta E_к + \Delta E_с. \quad (1)$$

В свою очередь, часть кинетической энергии шара $E_ш$ уходит на трение и другие потери в камере расширения $E_{тр}$, а ее основная часть – на смятие неровностей поверхности $E_{см}$:

$$E_ш = E_{тр} + E_{см}. \quad (2)$$

Для наглядности представляем графически схему преобразования энергии на рис. 2.

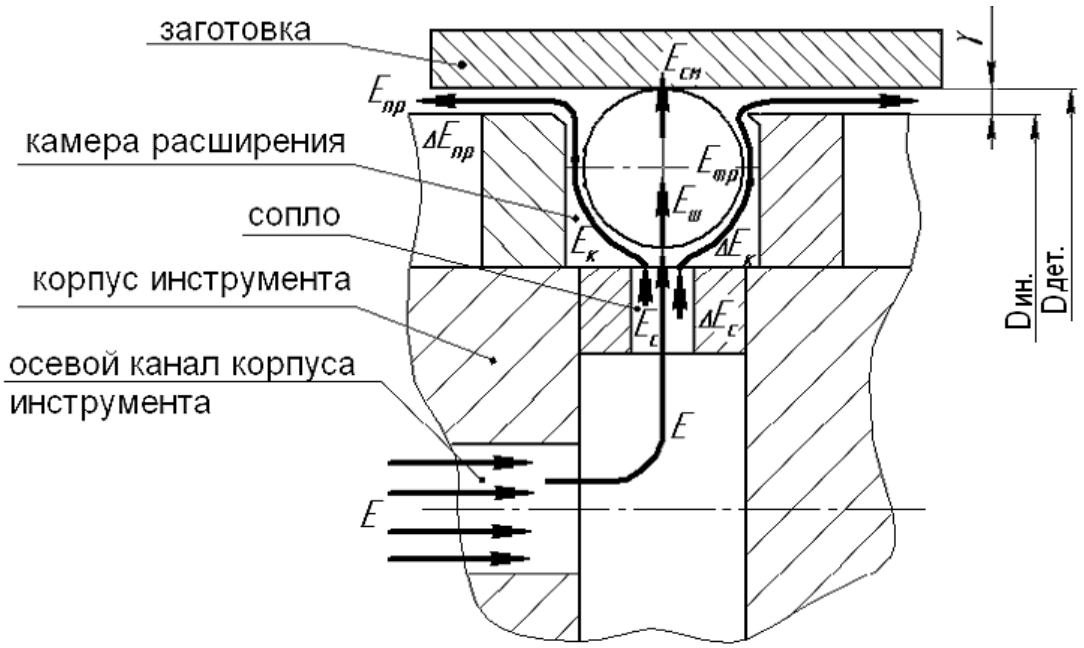


Рис. 1. Кинематика потока сжатого воздуха в пневмоцентробежном раскатнике

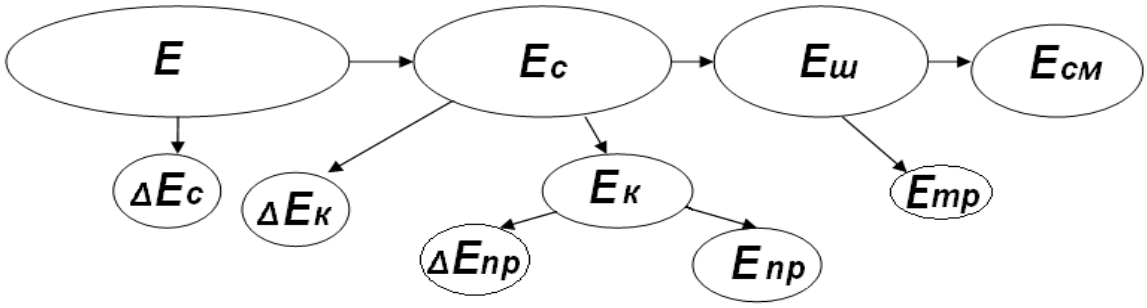


Рис. 2. Схема преобразования энергии давления сжатого воздуха в раскатнике

Результаты экспериментальных исследований процесса пневмоцентробежной обработки отверстий показывают, что на шероховатость поверхности наибольшее влияние оказывают давление сжатого воздуха в осевой полости и подача инструмента. Так, при давлении сжатого воздуха 0,15…0,3 МПа и подаче

90…150 мм/мин обеспечивается шероховатость поверхности Ra 0,3…0,5 мкм с исходной Ra 5…4 мкм. Установлено, что на форму микрорельефа наибольшее влияние оказывает количество сопел и их расположение. Так, при минимальном расстоянии от оси сопел до оси инструмента, при котором происходит вращение шаров вокруг оси инструмента, и количестве сопел от 4 до 6 обеспечивается получение луночного микрорельефа. При максимальном расстоянии от оси сопел до оси инструмента и количестве сопел 8…12 при применении двухрядного раскатника обеспечивается получение регулярного микрорельефа в виде ромбической сетки. Если сопла, выполненные на противоположных торцах распорного кольца, расположить не напротив друг друга, а со смещением, увеличив при этом осевой зазор между кольцами, образующими камеру расширения, то деформирующие шары наряду с орбитальным вращением вокруг оси инструмента будут совершать осциллирующие движения и вдоль оси инструмента. Такие движения способствуют уменьшению шероховатости обрабатываемой поверхности до Ra 0,3…0,24 мкм и увеличению относительной опорной длины профиля до t_{40} 93 % .

На основании анализа физики процесса и энергетического баланса была разработана математическая модель ПЦО. Для определения параметров математической модели ПЦО получен ряд зависимостей, учитывающих влияние конструктивных и технологических параметров инструмента на шероховатость по параметру Ra и форму микрорельефа поверхности. Разработан алгоритм расчета шероховатости с заданной формой микрорельефа. Расчеты производились с использованием пакета MS Excel.

Входными параметрами модели являются конструктивные и технологические параметры, твердость обрабатываемого материала, а также исходная и требуемая шероховатости и форма микрорельефа поверхности. Параметрами, определяющими форму микрорельефа, являются размеры, форма и расположение сопел в распорных втулках раскатника, глубина регулярной неровности рельефа, диаметры шаров.

Рассмотрим входные данные, необходимые для расчета:

$D_{дет}$ – диаметр заготовки, мм;

$d_ш$ – диаметр шаров, мм (выбирается в диапазоне 5…13 мм в зависимости от диаметра обрабатываемой заготовки, требуемой формы микрорельефа и шероховатости поверхности);

$P_о$ – давление в осевой полости инструмента, МПа (выбирается в интервале значений 0,05…4 МПа);

$d_с$ – диаметр сопел, мм (выбирается в интервале значений 1,5…3,5 мм);

$\mu_с$ – коэффициент расхода воздуха через сопло (зависит от формы сопел: цилиндрической, конической или прямоугольного сечения);

$z_с$ – количество сопел (4…12);

k – показатель адиабаты для воздуха;

$P_{ат}$ – давление атмосферное, МПа;

k' – коэффициент, зависящий от свойств обрабатываемого материала;

$Ra_{исх}$ – исходная шероховатость поверхности (до обработки), мкм;

$Ra_к$ – конечная шероховатость поверхности (требуемая), мкм;

НВ – твердость обрабатываемого материала;

μ – коэффициент Пуассона;

$m_ш$ – масса шара, кг;

$\mu_з$ – коэффициент расхода воздуха через зазор между деталью и инструментом;

$n_{дет}$ – частота вращения заготовки, $мин^{-1}$;

$S_о$ – осевая подача инструмента, мм/об;

$S_{мин}$ – подача, мм/мин;

b – расстояние, определяющее расположение сопел относительно оси, мм;

h – глубина регулярной неровности рельефа, мм (для достижения выглаживающего эффекта, характеризующегося малой шероховатостью и высо-

кой относительной длиной профиля $h = 0$);

$V_{уд}$ – сминаемый объем, м^3.

Выходными параметрами модели являются шероховатость поверхности, конструктивные (γ – зазор между заготовкой и инструментом; $z_ш$ – количество шаров) и технологические (давление сжатого воздуха в осевой полости раскатника и подача, обеспечивающие требуемую шероховатость поверхности) параметры инструмента.

Основные зависимости, используемые моделью:

1) количество шаров:

$$z_ш = \frac{360}{2\arcsin\left(\frac{d_ш}{D_{дет} - d_ш}\right)};$$

2) давление в камере расширения при условии критического истечения воздуха:

$$P_к = P_o \cdot 0,5;$$

3) площадь сопла:

$$f_с = \frac{\pi \cdot d_с^2}{4};$$

4) удельный объем и плотность воздуха в осевой полости инструмента:

$$\nu_o = \frac{287 \cdot 293}{P_o + P_а}, \qquad \rho_о = \frac{1}{\nu_о};$$

5) удельный объем и плотность воздуха в камере расширения инструмента:

$$\nu_к = \frac{287 \cdot 293}{0,5 \cdot P_о + P_a}, \qquad \rho_к = \frac{1}{\nu_к};$$

6) удельный объем и плотность воздуха в зазоре между деталью и инструментом:

$$\nu_з = \frac{287 \cdot 293}{P_a}; \qquad \rho_з = \frac{1}{\nu_з};$$

7) давление в камере расширения:

$$P_к = \frac{\mu_с^2 \cdot f_с^2 \cdot z_с^2 \cdot P_о \cdot \rho_о}{\mu_з^2 \cdot \pi^2 \cdot D_{дет}^2 \cdot \gamma^2 \cdot \rho_з + \mu_с^2 \cdot f_с^2 \cdot z_с^2 \cdot \rho_о};$$

8) массовый расход воздуха через сопла при условии критического истечения воздуха:

$$Q_{с.опт} = \mu_с f_с z_с \sqrt{0,065 \frac{2k}{k-1} P_о \rho_о};$$

9) массовый расход воздуха через зазор между деталью и инструментом:

$$Q_з = Q_{с.опт};$$

10) оптимальный зазор между заготовкой и инструментом:

$$\gamma = \sqrt{\frac{Q_{с\,опт}^2}{\mu_з^2 P_о \rho_з \pi^2 D_{дет}{}^2}};$$

11) скорость струи воздуха, выходящего через сопло при критическом истечении воздуха:

$$V_{стр} = \mu_с \sqrt{2 \frac{k}{k-1} P_о \nu_о \left(1 - \frac{P_к}{P_о}\right)^{\frac{k-1}{k}}};$$

12) скорость шара до удара:

$$V_{ш1} = K_V V_{стр};$$

13) работа, необходимая для смятия микронеровностей с исходного значения шероховатости до заданного конечного ее значения:

$$A_{см} = \frac{k' \,\mathrm{HB}\left(\mathrm{Ra}_{исх} - \mathrm{Ra}_к\right) V_{уд}}{2(1-2\mu)^2 \,\mathrm{Ra}_{исх}};$$

14) скорость вращения заготовки при условии ее вращения:

$$V_{дет} = \pi D_{дет} n_{дет};$$

15) относительная скорость шара:

– при условии, что направление вращения детали и шаров противоположное:

$$V_{ш.отн} = V_{ш1} + V_{дет};$$

– при условии, что направление вращения детали и шаров попутное:

$$V_{\text{ш.отн}} = V_{\text{ш1}} - V_{\text{дет}};$$

– при условии, что вращение детали отсутствует:

$$V_{\text{ш.отн}} = V_{\text{ш1}};$$

16) импульс удара шара:

$$p = m_{\text{ш}} V_{\text{отн}};$$

17) путь, который проходит шар при смятии микронеровностей:

$$l = \text{Ra}_{\text{исх}} - \frac{S_{\text{o}}^2}{8r_{\text{ш}}};$$

18) максимально возможный путь, который проходит шар при смятии микронеровностей под действием максимальной ударной силы:

$$L = \text{Ra}_{\text{исх}} - \text{Ra}_{\text{к}};$$

19) максимальная ударная сила шара:

$$F_{\text{max уд}} = \frac{pV_{\text{ш1}}}{2L};$$

20) работа, совершаемая инструментом для смятия микронеровностей с исходного значения шероховатости до ее конечного значения:

$$\sum A_{\text{ш инст}} = F_{\text{max.уа}}\, l\, z_{\text{ш}}.$$

Если в результате расчета по п. 17 значение l получилось отрицательным (что имеет место для материалов с твердостью менее 30 НВ), то в формулу работы $\sum A_{\text{ш инст}}$ вместо расчетного значения l подставляем $l' = \text{Ra}_{\text{исх}} + l$;

21) обеспечиваемая (конечная) величина шероховатости поверхности при заданных входных параметрах обработки:

$$\text{Ra}_{\text{к}} = \text{Ra}_{\text{исх}} - \frac{(1-2\mu)^2 \text{Ra}_{\text{исх}} m_{\text{ш}} V_{\text{отн}} V_1 z_{\text{ш}}}{k' \text{НВ} V_{\text{уд}}}.$$

Для определения скорости шара до удара $V_{\text{ш1}}$ при выполнении расчетов был введен поправочный коэффициент на скорость шаров K_v, учитывающий уменьшение скорости шара за счет потерь на трение о кольца камеры расширения и шаров между собой. Наибольшее влияние на коэффициент K_v оказывает диаметр шаров и диаметр заготовки. Используя экспериментальные данные, полученные при измерении частоты вращения шаров, была проведена проверка значений относительной скорости шаров до удара, полученных в результате моделирования. В результате проверки были определены значения поправочного коэффициента K_v в зависимости от диаметра заготовки и диаметра шаров.

Полученные значения поправочного коэффициента K_v показывают, что с увеличением диаметра шаров и диаметра заготовки коэффициент K_v уменьшается, а величина его находится в диапазоне от 0,241 до 0,032. Значения коэффициента K_v рассчитаны для интервала диаметральных размеров обрабатываемой заготовки от 22 до 120 мм.

В случае отсутствия вращения заготовки, например, при обработке на радиально-сверлильных, вертикально-фрезерных станках, для расчета расстояния l (п. 17 основных зависимостей математической модели) подача S_{o} отсутствует, тогда для расчета принимается минутная подача $S_{\text{мин}}$, мм/мин.

Алгоритм расчета шероховатости с заданной формой микрорельефа представлен на рис. 3.

Процесс выбора оптимальных режимов обработки и конструктивных параметров инструмента согласно алгоритму заключается в следующем. При заданной форме микрорельефа, обеспечиваемого входными параметрами, рассчитывается шероховатость. Если расчетная шероховатость не соответствует требуемой, модель придает входным параметрам (давлению и подаче) неко-

торые изменения ΔP, ΔS, Δd. Вычисления повторяются до тех пор, пока различие между требуемой шероховатостью и расчетной станет несущественным. После этого выводятся конструктивные параметры инструмента и режимы, обеспечивающие оптимальные условия обработки.

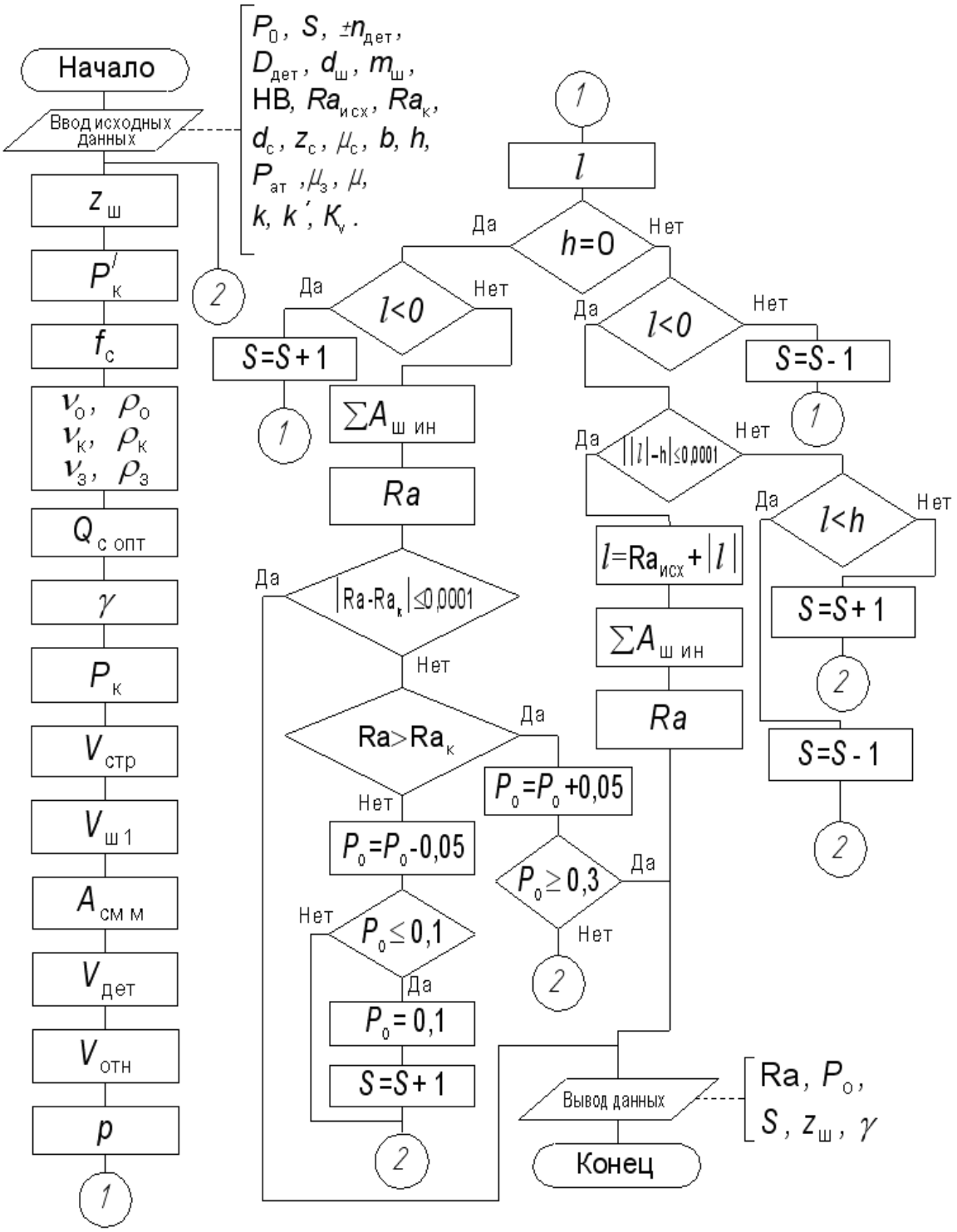


Рис. 3. Алгоритм управления шероховатостью Ra и формой микрорельефа поверхности

Таким образом, представленный алгоритм расчета позволяет осуществлять управление формой микрорельефа и шероховатостью поверхности при пневмоцентробежной обработке отверстий, используя для этого оптимизацию режимов обработки и конструктивных параметров инструмента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Парахневич, В. Т.** Энергетический анализ пневмоцентробежного шарикового раскатника / В. Т. Парахневич, Е. Н. Антонова // Вестн. МГТУ. – 2006. – № 1. – С. 188–192.

2. **Гарлачов, Н. С.** Влияние конструктивных и технологических факторов на частоту вращения шаров пневмоцентробежного раскатника / Н. С. Гарлачов, Е. Н. Антонова // Вестн. МГТУ. – 2006. – № 1. – С. 41–44.

3. **Гарлачов, Н. С.** Методика определения работы, совершаемой пневмоцентробежным раскатником при обработке внутренних цилиндрических поверхностей / Н. С. Гарлачов, Е. Н. Антонова // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2007. – № 1. – С. 76–81.

4. **Антонова, Е. Н.** Обработка внутренних поверхностей тел вращения двухрядным пневмоцентробежным раскатником / Е. Н. Антонова // Сб. науч. тр членов Междунар. Балтийской Ассоциации машиностроителей. – Калининград : Калининградский гос. техн. ун-т, 2005. – № 5. – С. 59–61.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 09.04.2008

N. S. Garlachov, E. N. Antonova
Management of microrelief roughness and form at strengthening pneumocentrifugal hole processing

Questions of roughness on Ra parameter and surface microrelief form guaranteeing at pneumocentrifugal hole processing with a pneumocentrifugal roller are considered. On the basis of the conducted power analysis a mathematical model of pneumocentrifugal hole processing has been received. It allows defining surface roughness at set processing modes and design roller data. Ways of surface microrelief form management and surface roughness are given in the paper.

УДК 621.937

**М. Г. Киселев, д-р техн. наук, проф., А. В. Дроздов, канд. техн. наук,
А. А. Новиков, канд. техн. наук, Д. А. Степаненко, канд. техн. наук**

РАСЧЕТ СИЛ ТРЕНИЯ В ТОРЦЕВОЙ ФРИКЦИОННОЙ ПЕРЕДАЧЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ УЛЬТРАЗВУКА

Приведены результаты теоретических исследований по влиянию ультразвуковых колебаний различной интенсивности на степень снижения сил трения в указанной фрикционной передаче и на изменение ее передаточного отношения. Установлено, что при виброударном режиме работы колебательной системы величина сил трения, действующих во фрикционной передаче «вращающийся деформирующий инструмент – заготовка распиловочного диска», всегда оказывается меньше их значения, соответствующего обычным условиям ее работы.

Распиловочный диск – это режущий инструмент, предназначенный для механического распиливания монокристаллов алмаза. Он изготавливается из оловянисто-фосфористой бронзы марки БрОФ 6,5–0,15, его диаметр составляет 76 мм, а толщина находится в пределах 0,04…0,09 мм и определяется размером распиливаемого кристалла алмаза.

Важнейшим этапом изготовления распиловочных дисков, определяющим уровень эксплуатационных показателей получаемых инструментов, является шаржирование боковых поверхностей заготовок зернами алмазных микропорошков, т. е. формирование на них алмазосодержащего (режущего) слоя.

Эффективным способом повышения качества шаржирования распиловочных дисков является применение ультразвука с использованием акустических колебательных систем разомкнутого типа, обеспечивающих виброударный режим взаимодействия деформирующего инструмента с обрабатываемой поверхностью заготовки [1]. В ранее примененных технологических схемах двухстороннего шаржирования боковых поверхностей распиловочных дисков с ультразвуком использовались синхронно вращающиеся деформирующие инструменты, которые в виброударном режиме взаимодействовали с поверхностью заготовки, которой от отдельного привода сообщалось вращательное движение с фиксированной скоростью. Поэтому, если по тем или иным причинам изменялась интенсивность виброударного взаимодействия указанных элементов при постоянной частоте вращения заготовки, то это сопровождалось отклонением режимов шаржирования от оптимальных и, как следствие, снижением качества шаржирования распиловочных дисков.

С целью повышения стабильности выполнения этой операции и качества шаржирования авторы [2] предложили использовать технологическую схему (рис. 1), в которой вращательное движение заготовки 1 обеспечивается не от отдельного привода с фиксированной частотой вращения, а за счет действия фрикционной передачи, образованной синхронно вращающимися инструментами 2 и обрабатываемой поверхностью заготовки. Такая схема позволяет путем изменения интенсивности виброударного режима их взаимодействия управлять передаточным отношением указанной фрикционной пары, обеспечив тем самым реализацию условия саморегулирования часты вращения заготовки (ее круговой подачи) как с частотой вращения инструментов, так и с силовыми и временными параметрами их виброударного взаимодействия, т. е. с режимами шаржирования.

Как известно [3], торцевая фрикционная передача представляет собой разновидность фрикционных передач, звенья

которой имеют форму тел вращения с параллельными осями, контактирующих по своим торцевым поверхностям, перпендикулярным осям вращения. Поэтому предложенная технологическая схема шаржирования полностью соответствует этому виду фрикционных передач, в которой ведущим звеном является вращающийся ультразвуковой преобразователь с деформирующим инструментом, а ведомым звеном – заготовка распиловочного диска. Передаточное отношение такой фрикционной передачи определяется расстоянием между осями вращения ее звеньев, радиусом контактной поверхности ведущего звена, а также величиной сил трения сцепления, действующих в зоне фрикционного контакта.

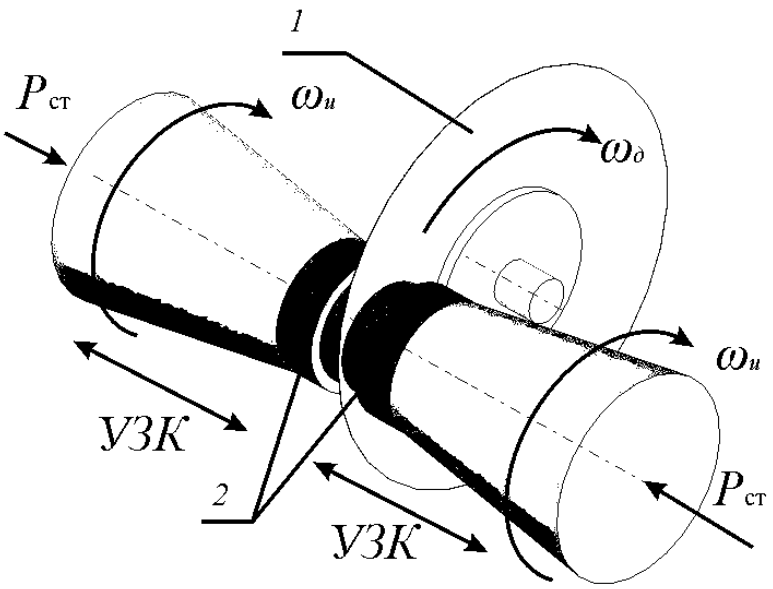


Рис. 1. Технологическая схема шаржирования с фрикционной передачей

При ультразвуковом воздействии, обеспечивающем виброударный режим работы фрикционной передачи, взаимодействие ее звеньев приобретает дискретный характер, при котором сила трения действует только некоторую часть времени обработки, а в оставшуюся часть ее значение равно нулю. Это, в сравнении с обычными условиями работы фрикционной передачи, приводит к снижению средней величины силы трения, действующей в зоне скользящего контакта и, как следствие, к изменению ее передаточного отношения.

Вместе с тем на сегодня отсутствуют систематизированные данные, включая результаты теоретических исследований, позволяющие производить количественную оценку степени влияния ультразвуковых колебаний различной интенсивности на степень снижения сил трения в указанной фрикционной передаче и на изменение ее передаточного отношения.

Последнее обстоятельство определило цель данной работы, которая заключалась в получении аналитических зависимостей, позволяющих рассчитать степень снижения сил трения в исследуемой фрикционной передаче и ее передаточное отношение в зависимости от акустических и технологических режимов работы.

На рис. 2 приведена схема, положенная в основу расчета сил трения в исследуемой передаче. Пусть ω_1 и ω_2 – соответственно угловые скорости вращения заготовки диска и деформирующего инструмента, R_1 – радиус диска 2, R_2 – радиус торца инструмента.

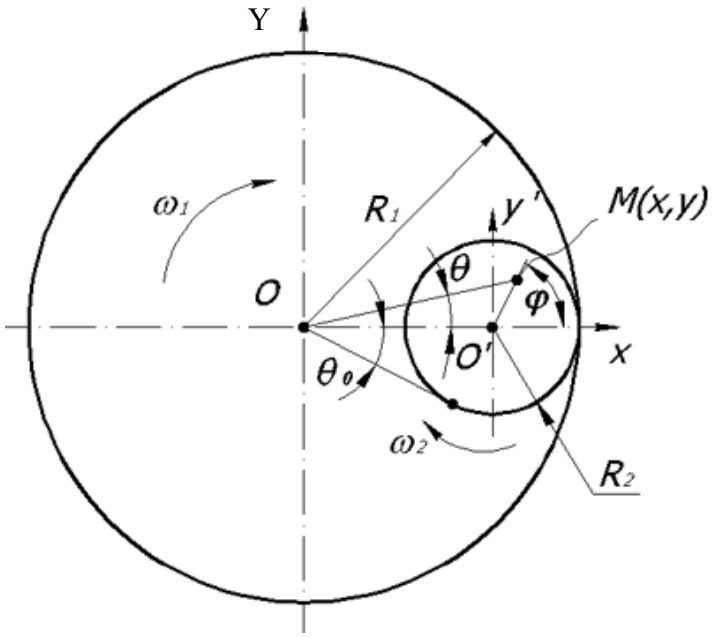


Рис. 2. Расчетная схема для математического описания сил трения

При полном контакте торца инструмента с поверхностью диска можно, не ограничивая общности, считать, что $R_1 - R_2 = R$, где R – расстояние между осями вращения диска и инструмента.

Направим ось абсцисс прямоугольной системы координат вдоль радиуса диска таким образом, чтобы она проходила через центр торца инструмента, а начало координат совместим с его центром (точка O'). Скорость скольжения точки $M(x, y)$ на поверхности диска относительно торца инструмента определяется выражением

$$\overline{V}_{\text{ск}} = \overline{V}_1 - \overline{V}_2, \qquad (1)$$

где $\overline{V}_1$ – линейная скорость вращения точки $M(x, y)$ поверхности диска; $\overline{V}_2$ – линейная скорость вращения точки $M'(x, y)$ торца инструмента, соответствующей точке $M(x, y)$ на поверхности диска.

Выражения для скоростей $\overline{V}_1$ и $\overline{V}_2$ имеют вид:

$$\overline{V}_1 = -\omega_1 \cdot y \cdot \overline{e}_{\text{x}} + \omega_1 (x + R)\overline{e}_{\text{y}};$$

$$\overline{V}_2 = -\omega_2 \cdot y \cdot \overline{e}_{\text{x}} + \omega_2 \cdot x \cdot \overline{e}_{\text{y}}, \qquad (2)$$

где $\overline{e}_{\text{x}}$ и $\overline{e}_{\text{y}}$ – орты прямоугольной системы координат $x'Oy'$, получаемой параллельным переносом системы $x'Oy'$ в точку O.

Согласно формуле (2) получим следующее выражение для скорости скольжения:

$$\overline{V}_{\text{ск}} = -(\omega_1 - \omega_2) \cdot y \cdot \overline{e}_{\text{x}} + \\ + ((\omega_1 - \omega_2) \cdot x + \omega_1 \cdot R)\overline{e}_{\text{y}}. \qquad (3)$$

Согласно закону Кулона–Амонтона сила трения, действующая на малый элемент $dxdy$ поверхности диска, определяется выражением

$$dF_{\text{тр}}(x, y, t) = -f \cdot p(t) \cdot \frac{\overline{V}_{\text{ск}}}{V_{\text{ск}}} dx \cdot dy, \qquad (4)$$

где f – коэффициент трения скольжения инструмента по поверхности диска; $p(t)$ – функция, описывающая зависимость давления на торце инструмента (распределение давления по поверхности торца принимается равномерным) от времени.

Суммарная сила трения, действующая на диск, определяется выражением

$$\overline{F}_{\text{тр}} = -f \cdot p(t) \iint\limits_{S} \frac{\overline{V}_{\text{ск}}}{V_{\text{ск}}} dx \cdot dy , \qquad (5)$$

где S – область интегрирования, которая задается неравенством $x^2 + y^2 \le {R_2}^2$.

Окончательный результат может быть представлен в виде

$$(F_{\text{тр}})_{\text{x}} = 0 ;$$

$$(F_{\text{тр}})_{\text{y}} = -2f \cdot p(t) \cdot {R_2}^2 \cdot f(\gamma) , \qquad (6)$$

где $f(\gamma)$ – функция, зависящая от конструктивных и наладочных параметров исследуемой фрикционной передачи.

$$\gamma = \frac{2\varepsilon}{1+\varepsilon^2}; \quad \varepsilon = \frac{(\omega_1 - \omega_2)R_2}{\omega_1(R_1 - R_2)} .$$

Рассмотрим два случая взаимодействия звеньев торцевой фрикционной передачи: в традиционных условиях ее работы и при дополнительном ультразвуковом воздействии.

В первом случае сила прижима инструмента к поверхности заготовки постоянна, а следовательно, постоянна величина давления в зоне их контакта:

$$p = \frac{P_{\text{ст}}}{\pi \cdot {R_2}^2} = \text{const} .$$

Тогда с учетом (6) среднее значение абсолютной величины силы трения за время, равное периоду T ультразвуковых колебаний, будет равно:

$$\left|(F_{\text{тр}})_{\text{y}}\right|_{\text{ст}} = \frac{1}{T}\int_0^T 2f \cdot p(t) \cdot {R_2}^2 \cdot f(\gamma) dt =$$

$$= \frac{2fP_{\text{ст}}}{\pi} f(\gamma). \qquad (7)$$

Соответственно, импульс силы трения за время T определится как

$$I_{\text{F}_{\text{ТР.СТ}}} = \frac{2fP_{\text{ст}}}{\pi} \cdot T \cdot f(\gamma) . \qquad (8)$$

Последняя формула верна также для случая ультразвукового воздействия, при котором взаимодействие звеньев фрикционной пары происходит в замкнутом режиме (виброударный режим отсутствует), поскольку среднее значение давления за время T определится как

$$p_{\text{ср}} = \frac{1}{T}\int_0^T P(t) dt = \frac{P_{\text{ст}}}{\pi \cdot {R_2}^2} . \qquad (9)$$

Тогда величина импульса силы трения за период ультразвуковых колебаний $I_{\text{F}_{\text{ТР.АК.}}}$ будет равна его значению при традиционных условиях работы фрикционной пары:

$$I_{\text{F}_{\text{ТР.АК}}} = I_{\text{F}_{\text{ТР.СТ}}} = \frac{2fP_{\text{ст}}}{\pi} \cdot T \cdot f(\gamma) . \quad (10)$$

Следовательно, такой режим ультразвукового воздействия не оказывает влияния на значения сил трения, возникающих при традиционных условиях работы фрикционной пары, а соответственно, и на ее передаточное отношение. Другими словами, управляющее влияние ультразвука на условия работы торцевой фрикционной передачи при безотрывном режиме взаимодействия ее звеньев отсутствует. Поэтому такой режим ультразвукового воздействия для решения задач совершенствования процесса шаржирования не приемлем.

Проанализируем случай, когда за счет ультразвукового возбуждения взаимодействие звеньев фрикционной пары протекает в виброударном режиме. Как было показано в [1], он характеризуется периодическим дискретным взаимодействием инструмента с поверхностью диска. В результате сила трения между ними действует только за время контакта поверхности $t_{\text{к}}$) а в оставшуюся часть периода колебаний (T – $t_{\text{к}}$) ее значение равно нулю. Следовательно, средняя величина силы трения, действующая за период колебаний, будет определяться, с одной стороны, ее значением за время контактного взаимодействия поверхностей, а с другой – продолжительностью фазы их отрыва (T – $t_{\text{к}}$).

Исходя из этого, среднее значение силы трения за период ультразвуковых

колебаний можно с достаточной для инженерных расчетов точностью определить по следующей зависимости:

$$(F_{\text{тр}})_{\text{у.ак}} = F_{\text{тр}}(t_{\text{k}}) \cdot \frac{t_{\text{k}}}{T} f(\gamma), \qquad (11)$$

где $F_{\text{тр}}(t_{\text{k}})$ – величина силы трения, действующая за время контакта поверхностей, которая определяется как

$$F_{\text{тр}}(t_{\text{k}}) = 2f \cdot p_{\text{ак}}(t_{\text{k}}) f(\gamma), \qquad (12)$$

где $p_{\text{ак}}(t_{\text{k}})$ – величина давления на взаимодействующих поверхностях за время их контакта.

Полагая $p_{\text{ак}}(t_{\text{k}}) = \frac{2f \cdot P_{\text{ак}}(t_{\text{k}})}{\pi \cdot R_2^{\,2}}$, получим

$$F_{\text{тр}}(t_{\text{k}}) = \frac{2f \cdot P_{\text{ак}}(t_{\text{k}})}{\pi \cdot R_2^{\,2}} f(\gamma), \qquad (13)$$

где $P_{\text{ак}}(t_{\text{k}})$ – усилие взаимодействия поверхностей за время их контакта (импульс силы).

Для вычисления импульса силы $P_{\text{ак}}(t_{\text{k}})$ за время контакта поверхностей t_{k} воспользуемся зависимостью, полученной в [3]:

$$I_{\text{р.ак.}}(t_{\text{k}}) = \frac{8P_{\text{ст}}^{\,2} \cdot \pi}{A_0 \cdot \omega_{\text{ак}} \cdot c} \cdot \text{С} \cdot \text{Д}, \qquad (14)$$

где c – жесткость концентратора ультразвукового преобразователя; A_0 – амплитуда колебательных смещений; $\omega_{\text{ак}}$ – круговая частота ультразвуковых колебаний.

$$\text{С} = \frac{1+\sqrt{1+4(\alpha+\beta)}}{2(1+\alpha/\beta)}; \quad \text{Д} = 1+\frac{\beta}{c}.$$

Значения безразмерных коэффициентов α и β определяются следующим образом:

$$\alpha = \frac{m \cdot \upsilon_1^{\,2} \cdot c}{4P_{\text{ст}}}; \quad \beta = \frac{A_0 \cdot m \cdot \omega_{\text{ак}} \cdot \upsilon_1 \cdot c}{\pi \cdot P_{\text{ст}}^{\,2}},$$

где m – масса инструмента; υ_1 – скорость движения ультразвукового преобразователя в момент соударения.

Учитывая, что отношение $\frac{P_{\text{ст}}}{c}$ равно величине предварительного натяга $x_{\text{ст}}$, а также благодаря ранее установленной зависимости скоростного натяга выражение (14) представим в виде

$$I_{\text{р.ак.}} = \frac{8P_{\text{ст}} \cdot x_{\text{ст}} \cdot e^{k\cdot\upsilon} \cdot \pi}{A_0 \cdot \omega_{\text{ак}}} \cdot \text{С} \cdot \text{Д}, \qquad (15)$$

где e – основание натурального логарифма; k – коэффициент, зависящий от контактных условий в зоне обработки и определяемый экспериментально; υ – скорость относительного скольжения деформирующего инструмента по обрабатываемой поверхности.

Коэффициенты С и Д могут принимать значения от единицы и выше. Они будут равны единице, если $\upsilon_1 = 0$, т. е. в безотрывном режиме взаимодействия поверхностей, когда $A_0 = 2x_{\text{ст}} \cdot e^{k\upsilon}$. Тогда выражение (15) примет вид:

$$I_{\text{р.ак.}} = \frac{2P_{\text{ст}} \cdot \pi}{\omega_{\text{ак}}} = P_{\text{ст}} \cdot T. \qquad (16)$$

Из (16) следует, что в безотрывном режиме взаимодействия колебательная система является линейной, при этом величина импульса силы за период колебаний соответствует условию статического нагружения. Если $A_0 > 2x_{\text{ст}} \cdot e^{\alpha\upsilon}$, то взаимодействие поверхностей протекает в виброударном режиме, а система становится нелинейной, что обусловлено нелинейным изменением коэффициентов С и Д.

Подставляя (16) в (6), получим выражение для определения импульса силы трения, действующего за время контакта поверхностей:

$$I_{\text{F}_{\text{р.АК.}}}(t_{\text{k}}) = \frac{16f \cdot P_{\text{ст}} \cdot x_{\text{ст}} \cdot e^{k\cdot\upsilon}}{A_0 \cdot \omega_{\text{ак}}} \cdot \text{С} \cdot \text{Д} \cdot f(\gamma). \qquad (17)$$

Внося $F_{\text{тр}}(t_{\text{k}})$ в формулу (11), получим зависимость для вычисления среднего значения импульса силы трения за период колебаний T:

$$I_{\mathrm{F_{P.AK.}}} = \frac{16f \cdot P_{\mathrm{ст}} \cdot x_{\mathrm{ст}} \cdot e^{k\cdot\upsilon}}{A_0 \cdot \omega_{\mathrm{ак}}} \cdot \frac{t_{\mathrm{к}}}{T} \cdot \mathrm{С} \cdot \mathrm{Д} \cdot f(\gamma) . \quad (18)$$

Для количественной оценки степени влияния ультразвука на снижение сил трения в рассматриваемой фрикционной передаче воспользуемся значением коэффициента эффективности, определяемым из соотношения

$$\eta_{\mathrm{F}} = \left(1 - \frac{I_{\mathrm{F_{P.AK.}}}}{I_{\mathrm{F_{TP.CT}}}}\right) \cdot 100\ \% , \quad (19)$$

где $I_{\mathrm{F_{P.AK.}}}$ и $I_{\mathrm{F_{TP.CT}}}$ – средние значения импульса силы трения за период ультразвуковых колебаний при виброударном режиме взаимодействия звеньев фрикционной пары и при обычных условиях ее работы соответственно.

Подставляя в него выражения для вычисления $I_{\mathrm{F_{P.AK.}}}$ и $I_{\mathrm{F_{TP.CT}}}$, после преобразования получим

$$\eta_{\mathrm{F}} = \left(1 - \frac{4x_{\mathrm{ст}} \cdot e^{k\cdot\upsilon}}{A_0} \cdot \frac{t_{\mathrm{к}}}{T} \cdot \mathrm{С} \cdot \mathrm{Д}\right) \cdot 100\% . \quad (20)$$

Учитывая, что $T = \frac{2\pi}{\omega_{\mathrm{ак}}}$, то окончательно имеем:

$$\eta_{\mathrm{F}} = \left(1 - \frac{2x_{\mathrm{ст}} \cdot e^{k\cdot\upsilon} \cdot \omega_{\mathrm{ак}} \cdot t_{\mathrm{к}}}{\pi \cdot A_0} \cdot \mathrm{С} \cdot \mathrm{Д}\right) \cdot 100\% . \quad (21)$$

Последнее выражение позволяет произвести количественную оценку степени влияния ультразвука на снижение сил трения в рассматриваемой фрикционной паре при виброударном режиме взаимодействия ее звеньев, т. е. когда $A_0 > 2x_{\mathrm{ст}} \cdot e^{k\upsilon}$, $t_{\mathrm{к}} \neq 0$, С и Д больше 1.

Из анализа (21) видно, что по мере увеличения неравенства $A_0 > 2x_{\mathrm{ст}} \cdot e^{k\upsilon}$ либо за счет повышения амплитуды колебаний, либо снижения статической нагрузки и скорости скольжения, что равносильно возрастанию интенсивности виброударного режима взаимодействия звеньев фрикционной пары, степень снижения в ней сил трения под действием ультразвука повышается. Если изменение одного или одновременно нескольких из указанных параметров приводит к тому, что $A_0 = 2x_{\mathrm{ст}} \cdot e^{k\upsilon}$, то в колебательной системе устанавливается безотрывный режим взаимодействия ее звеньев, а эффект снижения сил трения под действием ультразвука пропадает.

Совершенно очевидно, что снижение сил трения во фрикционной передаче за счет ультразвукового воздействия влечет за собой изменение динамики вращательного движения ведомого звена (заготовки диска), а соответственно, и передаточного отношения данной пары.

На основе вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Разработана математическая модель, позволяющая исследовать силы трения, действующие в торцевой фрикционной передаче «вращающийся деформирующий инструмент – заготовка распиловочного диска», с использованием которой получены аналитические выражения для расчета величины сил трения, возникающих в этой передаче как при обычных условиях ее работы, так и при ультразвуковом воздействии.

2. Показано, что при виброударном режиме работы колебательной системы, благодаря высокочастотному дискретному взаимодействию инструмента (ведущего звена) с обрабатываемой поверхностью диска (ведомого звена), величина сил трения, действующих в данной фрикционной передаче, всегда оказывается меньше их значения, соответствующего обычным условиям ее работы.

3. Получено выражение, позволяющее рассчитать степень снижения сил трения в торцевой фрикционной передаче в зависимости от технологических (статическая нагрузка, скорость скольжения) и акустических (амплитуда и частота ультразвуковых колебаний) параметров ее работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Киселев, М. Г.** Ультразвук в поверхностной обработке материалов / М. Г. Киселев, В. Т. Минченя, В. А. Ибрагимов ; под ред. М. Г. Киселева. – Минск : Тесей, 2001. – 344 с.

2. **Пат. 2101 РБ, МКИ[7] B 28 D 1/00.** Устройство для шаржирования боковых поверхностей распиловочного диска / М. Г. Киселев, А. А. Новиков, Д. А. Степаненко ; заявитель БНТУ. – № u 20040648 ; заявл. 30.12.04 ; опубл. 30.09.05, Бюл. № 3**.** – 10 с.

3. **Андриенко, Л. А.** Детали машин / Л. А. Андриенко, Б. А. Байков, И. К. Ганулич ; под ред. О. А. Ряховского. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 520 с.

Белорусский национальный технический университет
Материал поступил 07.07.2008

M. G. Kiselev, A. V. Drozdov,
A. A. Novikov, D. A. Stepanenko
Calculation of frictional forces in the face frictional transmission under the exposition of ultrasound

Results of theoretical studies of the influence of ultrasonic vibrations of various intensities on the degree of frictional forces reduction in the above mentioned frictional transmission and alteration of its transmission ratio are given in the article. It is shown that under vibro-impact operation mode of the vibrating system value of frictional forces acting in the frictional transmission «rotating deforming tool – workpiece of sawing disc» is always smaller than their value corresponding to the normal mode of its operation.

УДК 621.77

Г. В. Кожевникова, канд. техн. наук

УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОГО ПРОТЕКАНИЯ ПОПЕРЕЧНОЙ И ПОПЕРЕЧНО-КЛИНОВОЙ ПРОКАТОК

Процессы поперечной и поперечно-клиновой прокаток ограничиваются рядом факторов, основными из которых являются потеря сцепления заготовки с инструментом, вскрытие осевой полости, известное с XIX в. как эффект Маннесмана, и внеконтактная деформация растяжения заготовки. Одна из причин потери сцепления заготовки с инструментом – это недостаточность сил трения. Предложена новая формулировка ограничения устойчивого протекания процесса поперечной прокатки.

Введение

Технологии поперечной прокатки (ПП) и поперечно-клиновой прокатки (ПКП) за последние 40 лет достигли высокого уровня, удовлетворяющего постоянно возрастающим требованиям современного производства. Анализ существующих исследований процессов ПП и ПКП показывает, что в настоящее время достаточно хорошо изучены вопросы геометрии контактных и свободных поверхностей, напряжений и деформаций в пластической области [1]. Дальнейшее развитие теории в области ПП и ПКП нацелено на достижение максимального использования металла, минимизации энергозатрат, максимальной устойчивости процесса и гарантированного качества прокатанных деталей.

Ограничением устойчивого протекания процессов ПП и ПКП является потеря сцепления заготовки с инструментом. Это наблюдается в том случае, когда сил трения на контакте недостаточно для создания момента сил, обеспечивающих вращение заготовки. Для увеличения сил трения на боковой наклонной грани инструмента, как правило, выполняют технологическую поперечную насечку или электроэрозионной обработкой создают поверхность с высокой шероховатостью.

Осевое усилие при ПКП создает растягивающее напряжение в прокатываемом стержне. За счет этого предотвращается искривление оси обрабатываемой заготовки. Если эти напряжения превосходят предел текучести материала, происходит внеконтактная деформация растяжения прокатываемого стержня с образованием утонения. Если напряжения превосходят предел прочности, происходит обрыв стержня. Обрыв прокатываемого стержня является одним из ограничений устойчивого протекания процесса.

К основным ограничениям, налагаемым на процессы ПП и ПКП, относится вскрытие осевой полости. Это явление, известное как эффект Маннесмана, характерно для большинства разновидностей процесса ПП. В литературе описаны различные гипотезы, качественно объясняющие причины разрушения металла в осевой области заготовки. С использованием феноменологической теории вязкого разрушения В. Л. Колмогорова [2] в работах ФТИ НАН Беларуси показано, что явление вскрытия осевой полости может быть описано количественно. Это позволяет прогнозировать явление осевого разрушения и за счет изменения технологических параметров процесса достигать необходимого уровня ресурса пластичности материала.

1. Условия устойчивого протекания ПП

1.1. Условия устойчивого протекания ПП без потери сцепления заготовки с инструментом

При ПП угловая скорость вращения заготовки ω (рис. 1) меньше угловой скорости вращения ω′ условного цилиндра диаметром H, находящегося в

жестком зацеплении с инструментом. Отношение этих скоростей $i = \omega / \omega'$ принято называть [1] коэффициентом скольжения, который меньше 1.

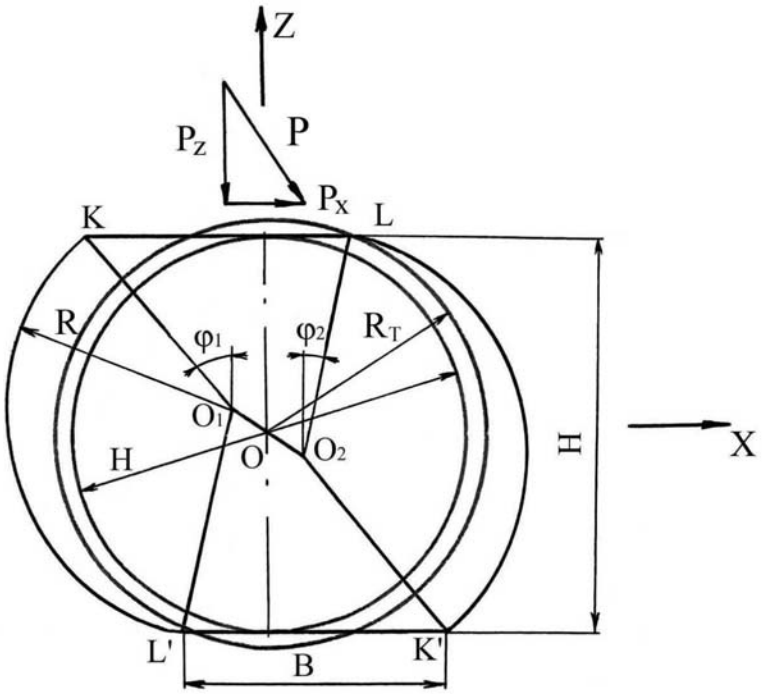


Рис. 1. Схема ПП

Введено [3] понятие коэффициента линейного проскальзывания $n_{ЛИН}$, смысл которого заключается в том, насколько медленнее движутся материальные частицы заготовки в приконтактном слое относительно инструмента.

$$n_{ЛИН} = \frac{0{,}5\pi\delta^{-1}i^{-1}}{b + \pi r(1 - \frac{\varphi_1}{180°} - \frac{\varphi_2}{180°})}, \qquad (1)$$

где δ – степень обжатия; b – относительная ширина контакта; r – относительный радиус свободной поверхности прокатываемой заготовки; φ_1, φ_2 – углы между инструментальными плитами и касательной к свободной поверхности в точках ее соприкосновения с площадкой контакта.

Используя информацию о параметрах ПП [1], определены значения коэффициента линейного проскальзывания (1). Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Со стороны инструмента на прокатываемую заготовку действует две составляющие силы P (см. рис. 1): распорное усилие P_Z и сила трения P_X. Величину распорного усилия P_Z определяет поле напряжений в очаге деформации. Сила трения P_X как элемент саморегулирования устанавливается на таком уровне, чтобы было достаточным создать момент сил, равный моменту сил, препятствующих вращению заготовки. Увеличение обжатия при ПП сопровождается увеличением проскальзывания $n_{ЛИН}$ и момента сил, препятствующих вращению заготовки, что, в свою очередь, приводит к увеличению силы трения P_X и соответственно коэффициента контактного трения $\mu = P_X / P_Z$ (рис. 2, а).

Табл. 1. Параметры заготовки при ПП

δ	φ_1, °	φ_2, °	i	r	b	μ	$n_{лин}$
1,02	12	1	0,95	0,499	0,18	0,04	1,00
1,05	20	2	0,86	0,496	0,27	0,17	1,06
1,10	32	4	0,75	0,491	0,38	0,32	1,18
1,15	35	7	0,70	0,480	0,43	0,40	1,23
1,20	38	12	0,64	0,468	0,50	0,50	1,31

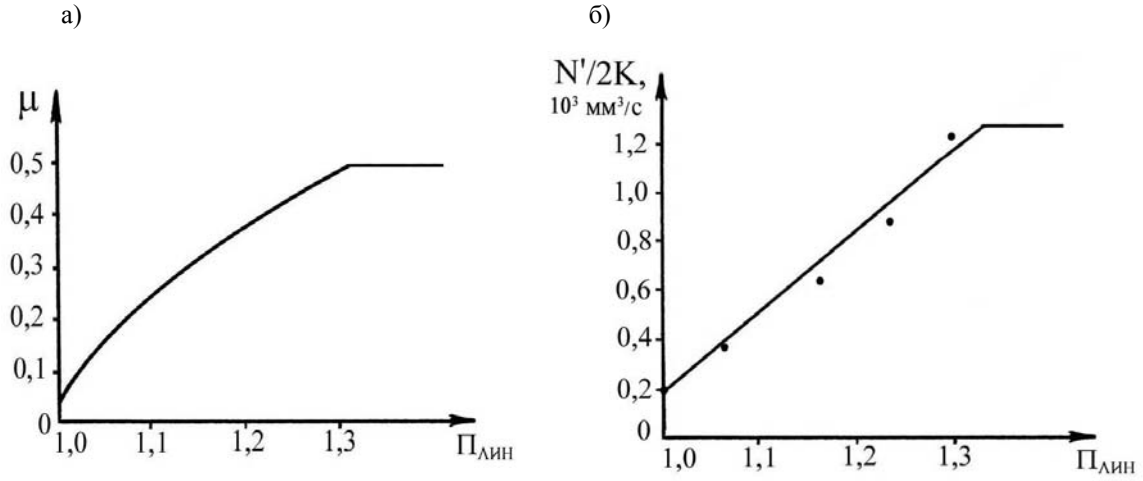


Рис. 2. Зависимости коэффициента трения μ от коэффициента линейного проскальзывания (а) и мощности прокатки от коэффициента линейного проскальзывания (б)

Увеличение обжатия при ПП приводит к увеличению проскальзывания и увеличению сил трения. Максимально возможное касательное напряжение на контакте для жесткопластического тела, согласно условию пластичности Треска–Сен-Венана, $\tau_{max} = K$. Для деформационно-упрочняемых тел, а также при горячей прокатке (вследствие подстуживания) в поверхностном слое заготовки пластическая постоянная K может значительно превышать этот параметр в остальном объеме заготовки, поэтому на контакте могут развиваться касательные напряжения больше $0{,}5\sigma_T$, где σ_T – предел текучести материала, усредненный в объеме заготовки.

Таким образом, максимально возможные силы трения на контакте определяют свойства металла в приконтактных слоях и состояние контактной поверхности. Условия устойчивого протекания процесса ПП без потери скольжения, согласно нашим доказательствам, могут быть определены как

$$\mu \le \mu^* \quad \text{или} \quad N \le N^*, \quad \text{или} \quad N dn_{лин} \ne 0, \qquad (2)$$

где μ^* и N^* – максимально возможный коэффициент контактного трения и максимально возможная мощность, передаваемая инструментом, которые обеспечивают свойства металла в приконтактном слое.

Экспериментально полученная линейная зависимость мощности ПП от проскальзывания показана на рис. 2, б. Таким образом, по-новому может быть

сформулировано условие устойчивого протекания процесса ПП без потери сцепления заготовки с инструментом (2): устойчивое протекание процесса возможно тогда, пока увеличение проскальзывания при прокатке будет вызывать рост энергии, передаваемой от инструмента к заготовке.

1.2. Исследование условия устойчивого протекания ПП без нарушения сплошности металла в осевой области

Специфическая особенность ПП и ПКП – разрушение металла в виде вскрытия осевой полости (рис. 3), известное как эффект Маннесмана. Явление вскрытия осевой полости может быть описано количественно.

Феноменологическая теория вязкого разрушения [2, 4] предполагает, что пластическая деформация сопровождается накоплением некоторой безразмерной величины – повреждаемости П, и при достижении ею предельного значения П = 1 происходит разрушение. Если деформация осуществляется в несколько этапов, то итоговая повреждаемость суммируется из повреждаемостей каждого этапа, а критерий разрушения в этом случае устанавливается в виде

$$\sum_{i=1}^{n} П = 1 \ . \qquad (3)$$

Накопление повреждаемости нелинейно, зависит от степени деформации сдвига и увеличивается с исчерпанием ресурса пластичности [5].

Рис. 3. Разрушение на оси заготовки при ПП

Условие разрушения в рамках рассматриваемой нами феноменологической теории вязкого разрушения должно определяться как минимум двумя критериями, и здесь возможно два варианта.

Вариант 1:

$$П = П[\ J_2(T_\varepsilon)\ ] = 1; \qquad (4)$$

$$П = П[\ J_3(T_\varepsilon)\ ] = 1. \qquad (5)$$

Вариант 2:

$$П = П[\ J_2(D_\varepsilon)\ ] = 1; \qquad (6)$$

$$П = П[\ J_3(D_\varepsilon)\ ] = 1, \qquad (7)$$

где $J_2(T_\varepsilon)$, $J_3(T_\varepsilon)$ – второй и третий инварианты тензора деформаций; $J_2(D_\varepsilon)$, $J_3(D_\varepsilon)$ – второй и третий инварианты девиатора деформаций.

Согласно В. Л. Колмогорову [2] разрушение при пластических деформациях наступает, когда накопленные деформации при заданном напряженном состоянии достигают критической величины – для ПП соответственно после определенных циклов нагружения

(рис. 4, а). Критическая величина накопленных деформаций $\Lambda_{пр}$ зависит от напряженного состояния σ/K и ее принято определять плоской диаграммой пластичности (рис. 4, б).

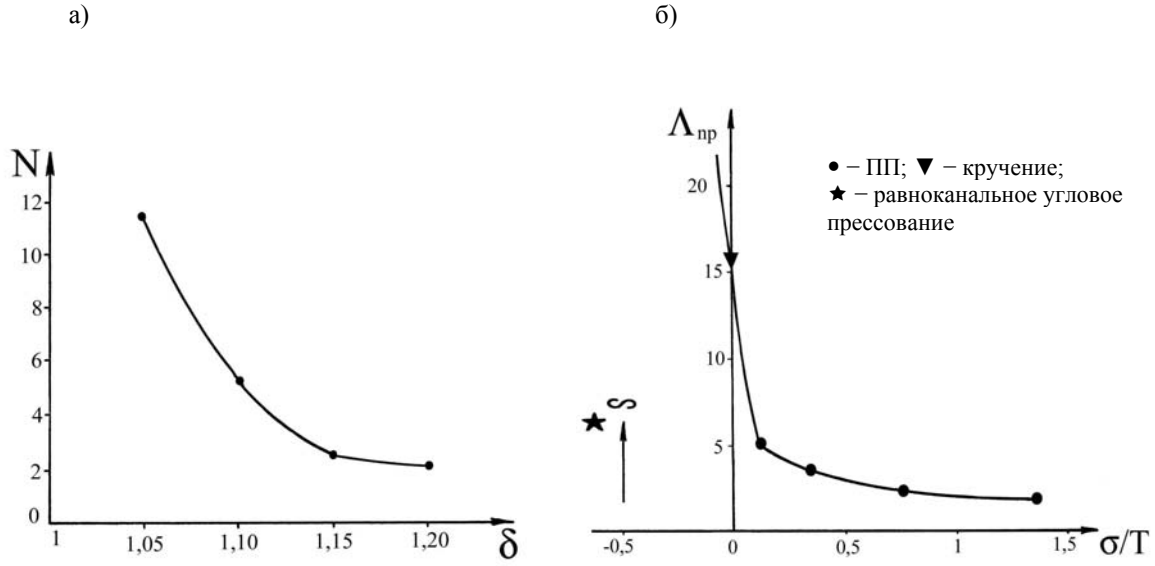


Рис. 4. Зависимости количества циклов нагружения до вскрытия полости от степени обжатия при ПП технического свинца (а) и диаграмма пластичности технического свинца (б)

В качестве меры, накопленной до разрушения деформации, как правило, используется интенсивность деформации сдвига:

$$\Gamma = \sqrt{4J_2(D_\varepsilon)} = \sqrt{3}\varepsilon_i = +\sqrt{\frac{2}{3}\left[(\varepsilon_x-\varepsilon_y)^2+(\varepsilon_y-\varepsilon_z)^2+(\varepsilon_z-\varepsilon_x)^2\right]+\gamma_{xy}^2+\gamma_{yz}^2+\gamma_{zx}^2}\ , \quad (8)$$

где ε_x, ε_y, ε_z, $\gamma_{xy}/2$, $\gamma_{yz}/2$, $\gamma_{zx}/2$ – компоненты тензора деформации.

Сумма интенсивностей последовательно малых деформаций, которую накопила материальная частица металла вдоль траектории ее движения с начала пластической деформацией за время t, равна:

$$\Lambda = \int_0^t H dt\ , \quad (9)$$

где Λ – степень деформации сдвига; H – интенсивность скоростей деформации сдвига:

$$H = +\sqrt{\frac{2}{3}\left[(\xi_x-\xi_y)^2+(\xi_y-\xi_z)^2+(\xi_z-\xi_x)^2\right]+\eta_{xy}^2+\eta_{yz}^2+\eta_{zx}^2}\ , \quad (10)$$

где ξ_x, ξ_y, ξ_z, $\eta_{xy}/2$, $\eta_{yz}/2$, $\eta_{zx}/2$ – компоненты тензора скорости деформации.

Деформируемость металлов и сплавов можно представить [3] в виде поверхности в координатах: степень интенсивности сдвига в зависимости от первого инварианта тензора напряжений и корня кубического из третьего инварианта девиатора напряжений (рис. 5). Таким образом, диаграммы пластичности являются частным случаем поверхности деформируемости.

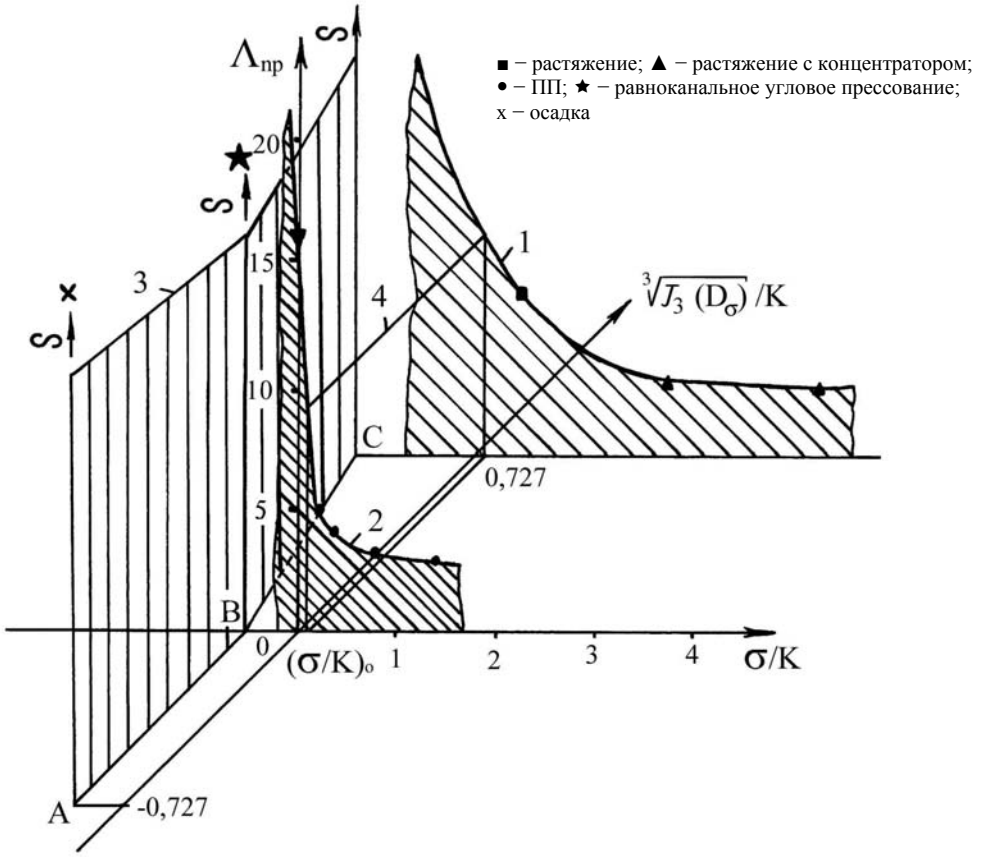


Рис. 5. Поверхность деформируемости технического свинца

В процессе испытаний на техническом свинце при температуре 293 К определялась предельная степень интенсивности сдвига $\Lambda_{пр}$. Напряжения при различных методах рассчитывались по известным формулам [1–4] и определялись их компоненты σ/K и $\sqrt[3]{J_3(D_\sigma)}/K$.

Растяжения цилиндрического образца (гладкого и с концентраторами) относятся к монотонным осесимметричным деформациям. Параметр $\sqrt[3]{J_3(D_\sigma)}$ / K при этом равен 0,727. Сжатие также относится к монотонным осесимметричным деформациям, параметр $\sqrt[3]{J_3(D_\sigma)}$ / K в этом случае равен –0,727. ПП, кручение трубы и равноканальное угловое прессование относятся к процессам с плоскодеформированным состоянием. Параметр $\sqrt[3]{J_3(D_\sigma)}$ / K в этом случае равен нулю.

На рис. 5 показана зависимость предельной степени интенсивного сдвига $\Lambda_{пр}$ технического свинца от двух параметров: σ/K и $\sqrt[3]{J_3(D_\sigma)}/K$ [3]. Кривая 1 отображает указанную зависимость в плоскости $\sqrt[3]{J_3(D_\sigma)}$ / K = 0,727; кривая 2 – то же, в плоскости $\sqrt[3]{J_3(D_\sigma)}$ / K = 0. При сжатии цилиндрический образец из технического свинца не удалось разрушить, поэтому в плоскости $\sqrt[3]{J_3(D_\sigma)}$ / K = –0,727 определено одно значение $\Lambda_{пр} = \infty$ при σ / K = –0,577.

Проанализируем результаты эксперимента. Диаграммы пластичности в различных плоскостях $\sqrt[3]{J_3(D_\sigma)}$ / K = const отличаются одна от другой, при этом сохраняется общая зависимость: снижение параметра σ/K сопровождается рос-

том деформируемости. Наблюдается поверхность ABC, перпендикулярная плоскости $\sigma/K - \sqrt[3]{J_3(D_\sigma)}\ /\ K$, в рамках которой предельная степень деформации сдвига бесконечна: $\Lambda_{пр} = \infty$. Влияние третьего инварианта девиатора напряжений (в наших исследованиях $\sqrt[3]{J_3(D_\sigma)}\ /\ K$) неоднозначно: в одной области $\sigma / K > \sigma_0 / K$ (см. рис. 5) – сопровождается в ходе наших экспериментов ростом деформируемости, в другой области $\sigma/K < \sigma_0 / K$ – его рост сопровождается снижением деформируемости.

В ходе экспериментов не были установлены случаи, когда конкретной точке на плоскости $\sigma/K - \sqrt[3]{J_3(D_\sigma)}\ /\ K$ не соответствовало одно единственное значение $\Lambda_{пр}$. Это позволяет утверждать, что для каждого материала с его историей обработки при стабильных температурно-скоростных условиях имеется единственная поверхность пластичности $\Lambda_{пр} = \Lambda_{пр}\left[(\sigma/K), (\sqrt[3]{J_3(D_\sigma)}/K)\right]$, описывающая пластические свойства материала.

2. Условия устойчивого протекания ПКП

2.1. Определение условий устойчивого протекания ПКП без потери сцепления заготовки с инструментом

Устойчивое протекание ПКП может быть ограничено потерей сцепления заготовки с инструментом, определяемой тремя критериями.

Критерий 1. Коэффициент контактного трения

С увеличением обжатия при ПКП как элемент саморегулирования увеличивается трение на контактной поверхности, величина которого ограничена состоянием поверхности инструмента и свойствами подстуженного поверхностного слоя заготовки, а также свойствами окалины на поверхности деформируемого металла. В итоге коэффициент контактного трения μ для конкретных условий не может превышать некоторой граничной величины $\mu*$. Условие устойчивого протекания ПКП без потери сцепления, таким образом, может быть записано аналогично ПП (2) в виде

$$\mu \le \mu* . \qquad (11)$$

Проиллюстрируем это условие на примере (рис. 6). Согласно [1] параметр $\mu*$ при температуре 1273 К не может быть больше 0,6. Потеря сцепления при прокатке стали 45 при температуре 1273 К на инструменте ($\alpha = 30°$; $\beta = 5°$) наступает при $\delta = 2{,}0$ [6]. Таким образом, в данном случае $\mu* = 0{,}7$. Расхождение может быть отнесено на погрешность экспериментальных измерений и разброс величины сил контактного трения.

Критерий 2. Равенство МСВ и МСФ

Момент сил вращения (МСВ) равен $P_X(D + d) / 4$, где P_X – усилие ПКП, при расчете которого следует учитывать $\mu*$ вместо μ. В этом случае виртуально в процессе устойчивого протекания ПКП момент сил вращения больше момента сил формоизменения (МСВ > МСФ), т. к. $\mu* > \mu$. Термин «виртуально» подчеркивает, что указанное неравенство существует только в расчетах, – в реальных физических процессах по третьему закону механики всегда МСВ = МСФ. В момент потери устойчивости процесса по проскальзыванию $\mu = \mu*$ и МСВ = МСФ. При дальнейшем увеличении обжатия получим виртуальное неравенство МСВ < МСФ.

Критерий 3. Работа деформации

Впервые предложен критерий, оценивающий характер работы формоизменения при прокатке. Критерий равен производной работы деформации от проскальзывания. Увеличение обжатия сопровождается снижением производной и при достижении ею критической величины происходит потеря сцепления заготовки с инструментом.

$$K' = \frac{A_{i+1} - A_i}{A_{i+1}(\pi_{i+1} - \pi_i)} \ge \text{const} . \qquad (12)$$

Физический смысл критерия (12) заключается в следующем. В идеале по-

теря сцепления наступает тогда, когда прирост проскальзывания не приводит к приросту работы (K′ = 0). На практике вследствие, например, разброса сил трения потеря сцепления должна наступать раньше. Допустимо предположить, что для конкретной стали, конкретных масштабных факторов, конкретных температурно-скоростных условий критерий постоянен. Используя известные [3] экспериментальные данные об усилиях прокатки и радиусе качения, вычислим критерий K′. Результаты вычислений представлены на рис. 7.

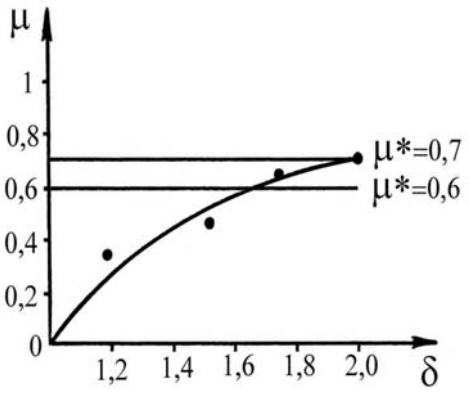


Рис. 6. Зависимость коэффициента контактного трения от обжатия при ПКП

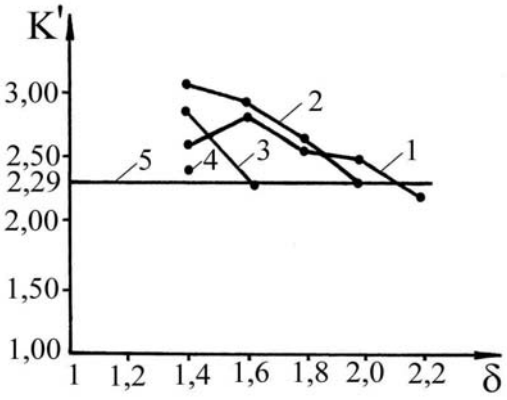


Рис. 7. Зависимости критерия K′ от обжатия:
1 – β = 3°; 2 – β = 5°; 3 – β = 7°; 4 – β = 10°; 5 – K = 2,29

Наглядно видно, что при прокатке прутка из стали 45 диаметром 20 мм при температуре 1273 K на клиньях (α = 30°; β = 3…10°) потеря сцепления наступает при K = 2,29.

2.2. Определение условия устойчивого протекания ПКП без внеконтактной деформации растяжения

Если в прокатываемом стержне осевое усилие P_Y превысит предел текучести σ_T, в нем начнется внеконтактная деформация растяжения. Математически это условие запишется [1] в виде

$$P_Y \le \frac{\pi d^2}{4}\sigma_T \text{ Н.} \qquad (13)$$

Если напряжение растяжения в стержне достигнет предела прочности σ_B, то произойдет обрыв прокатываемого стержня. Условие устойчивого протекания ПКП без обрыва стержня запишется [1] как

$$P_Y \le \frac{\pi d^2}{4}\sigma_B \text{ Н.} \qquad (14)$$

В формулах (13) и (14) следует различать, что в очаге деформации ПКП действует сопротивление деформации σ_S в прокатываемом стержне – другой очаг деформации, в котором действуют или σ_T, или σ_B, которые отличны от σ_S, т. к. в обоих очагах деформации различны относительная деформация ε, скорость деформации u, температура деформации T.

Предложено упрощенное условие устойчивого протекания процесса без внеконтактной деформации растяжения, пригодное для инженерных расчетов:

$$K'' = \sqrt{\frac{r_K \beta tg\alpha}{\pi\delta}}\left[\delta\mu + \left(\sin\alpha + \mu\frac{4r_T\delta - \delta - 1}{\delta - 1}\right)\times\right.$$
$$\left.\times\left(\frac{\delta - 1}{\sin\alpha} - \frac{\pi r_K \beta}{\cos\alpha}\right)\right] \le 0{,}25. \qquad (15)$$

Критерии К′ и К″ справедливы в следующих диапазонах ПКП: $1 < \delta < 1{,}8$; $20° < \alpha < 40°$; $3° < \beta < 12°$; $20 \le D < 40$ мм; $1173\ К < T < 1473\ К$; $0{,}2\ м/с < v < 0{,}5\ м/с$.

3. Расчет критериев устойчивого протекания технологий ПКП

Для технологии ПКП заготовки шарового пальца № 2141-2904208 определим устойчивость протекания ПКП по потери сцепления заготовки с инструментом по критерию К′ (12), используя [7] экспериментальные данные об усилиях прокатки и радиусе качения. При прокатке прутка из стали 45 диаметром 20 мм при температуре 1273 К на клиньях ($\alpha = 30°$; $\beta = 3…10°$) потеря сцепления наступает при $K' = 2{,}29$.

Рассчитанный запас устойчивости прокатки заготовки шарового пальца от потери сцепления заготовки с инструментом по длине инструмента [7] показан на рис. 8, а. Условие устойчивой прокатки $K' > 2{,}29$ выполняется на всех участках инструмента.

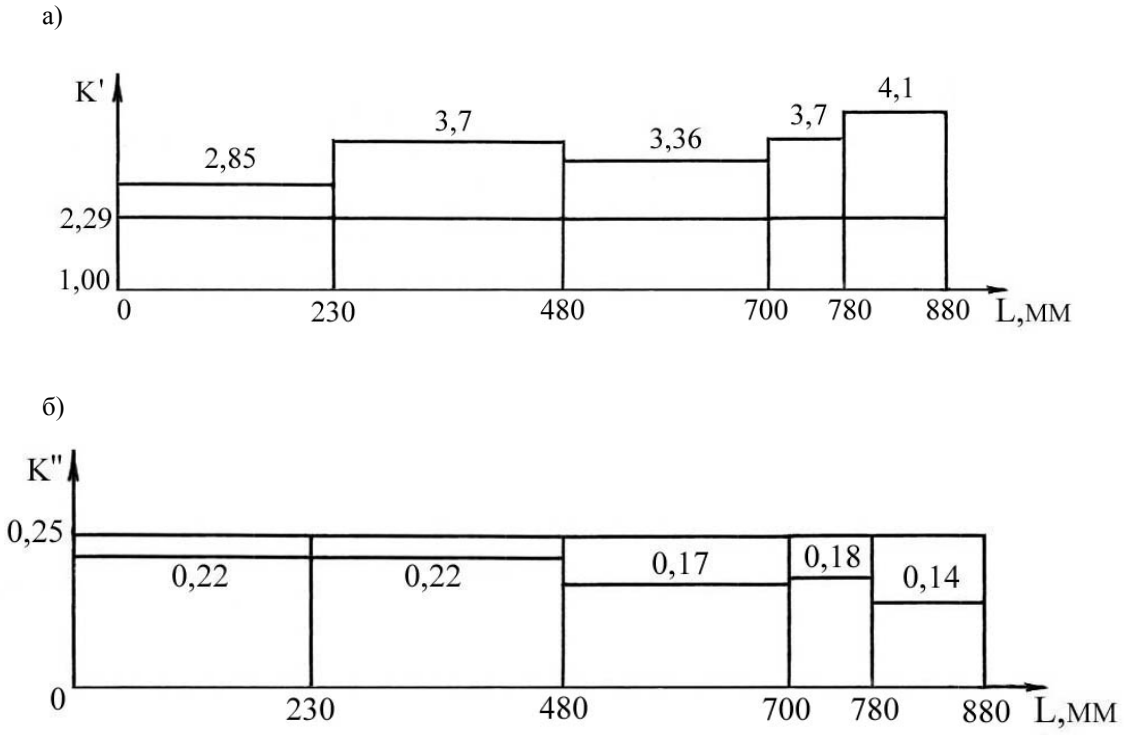


Рис. 8. Запас устойчивости ПКП заготовки шарового пальца: а – по критерию К′ от потери сцепления заготовки с инструментом; б – по критерию К″ от разрыва заготовки

Рассмотрим устойчивость протекания ПКП шарового пальца без внеконтактной деформации растяжения по критерию К″ (15). Устойчивая прокатка пальца шарового без внеконтактной деформации растяжения по критерию К″ осуществляется, если критерий К″ не превышает 0,25. Рассчитанный запас устойчивости прокатки от разрыва заготовки шарового пальца по длине инструмента показан на рис. 8, б.

Как видно из рис. 8, оба условия устойчивого протекания выполняются на всех переходах прокатки заготовки, что подтверждено практической реализацией технологии ПКП заготовки шарового пальца [7].

Выводы

1. Предложена новая формулировка ограничения ПП и ПКП в результате потери сцепления заготовки с инструментом: процесс может быть реализован до той поры, пока прирост проскальзывания сопровождается увеличением мощности прокатки.

2. Деформируемость металлов и сплавов определяется двумя независимыми параметрами напряженного состояния: первым инвариантом тензора напряжений и третьим инвариантом девиатора напряжений, связанных, в свою очередь, условием пластичности со вторым инвариантом тензора напряжения. В этой связи деформируемость графически может быть представлена в виде поверхности в координатах: степень деформации сдвига, отношение первого инварианта тензора напряжений к пластической постоянной, отношение третьего инварианта девиатора напряжений к пластической постоянной.

3. Разработан новый критерий устойчивого протекания ПКП без потери сцепления заготовки с инструментом, основанный на закономерности изменения работы формоизменения в зависимости от коэффициента проскальзывания.

4. Предложен и реализован в расчетах технологии ПКП критерий устойчивого протекания процесса без внеконтактной деформации растяжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Щукин, В. Я.** Основы поперечно-клиновой прокатки / В. Я. Щукин. – Минск : Наука и техника, 1986. – 223 с.

2. **Колмогоров, В. Л.** Напряжения, деформации, разрушение / В. Л. Колмогоров. – М. : Металлургия, 1970. – 230 с.

3. **Кожевникова, Г. В.** Развитие теории и технологии формообразования осесимметричных ступенчатых деталей поперечной прокаткой / Г. В. Кожевникова. – Минск : Белорус. наука, 2005. – 250 с.

4. **Красневский, С. М.** Разрушение металлов при пластическом деформировании / С. М. Красневский, Е. М. Макушок, В. Я. Щукин ; под ред. А. В. Степаненко. – Минск : Наука и техника, 1983. – 173 с.

5. **Исаевич, Л. А.** Нелинейность накопления повреждаемости при знакопеременном кручении / Л. А. Исаевич, Г. В. Кожевникова ; под ред. И. П. Филонова // Машиностроение : сб. науч. тр. – Минск : Технопринт, 2003. – Вып. 19. – С. 479–484.

6. **Клушин, В. А.** Совершенствование поперечно-клиновой прокатки / В. А. Клушин, Е. М. Макушок, В. Я. Щукин ; под ред. В. В. Клубовича. – Минск : Наука и техника, 1980. – 280 с.

7. **Кожевникова, Г. В.** Технологические параметры поперечно-клиновой прокатки заготовки пальца шарового / Г. В. Кожевникова // Современные технологии металлообработки : материалы междунар. науч.-техн. конф. – Минск, 2005. – С. 195–199.

Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси
Материал поступил 10.06.2008

G. V. Kozhevnikova
Criteria of cross rolling and cross-wedge rolling stable processing

Cross rolling and cross-wedge rolling processes are limited by a range of factors the main ones of which are: loss of cohesion of a blank with the tool, breaking down of axial space known from the 19th century as Mannesman's effect and out-of-contact deformation of the blank stretching. One of the factors restricting stable cross rolling processing is the cohesion loss between the tool and the workpiece. The main reason for that is friction forces exhaustion. New formulation of process restriction is suggested in the paper.

УДК 539.372

Н. Н. Курилович, канд. техн. наук, доц., Л. Ф. Котягов,
Л. И. Огородов, канд. техн. наук, доц.

ОЦЕНКА НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ В СТАЛЯХ ПРИ ЗНАКОПЕРЕМЕННОМ НАГРУЖЕНИИ

Предлагаются кинетические уравнения силового типа для оценки меры повреждений при циклических и сложных режимах нагружений в условиях линейного и сложного напряженного состояний. При построении таких уравнений постоянные и функциональные параметры определяются на основании простейших опытов, а следовательно, обладают большей гибкостью при определении меры повреждений. Уравнения достаточно хорошо согласуются с опытами, проведенными в условиях сложного напряженного состояния и сложного нагружения.

Введение

Процесс разрушения элемента материала схематически разбивается, как правило, на две основные стадии: стадию развития повреждений рассеянных (диссеминированных) по множеству микроскопических объемов и стадию роста одной или ряда трещин, приводящих к нарушению сплошности тела и в дальнейшем к его полному разрушению. В зависимости от материала, условий термомеханического нагружения и характера напряженного состояния относительная продолжительность этих стадий и их общая продолжительность могут быть различными. В условиях образования микроскопических трещин перед фронтом каждой из них продолжают развиваться и накапливаться диссеминированные повреждения, носящие определенный локальный характер, причем стадия диссеминированных повреждений как в локальном объеме, так и в других объемах, сохранивших сплошность, может включать ряд последовательно протекающих процессов. Граница между стадией магистральной трещины обычно достаточно размыта. В условиях свободных деформаций и в отсутствии острых концентраторов напряжений стадия роста магистральной трещины непродолжительна по сравнению со стадией диссеминированных повреждений, и зачастую начало развития магистральной трещины практически совпадает с полным разрушением. Этот случай разрушения характерен для элементов конструкций типа тонкостенных оболочек, труб, мембран и емкостей. В случае же стесненных деформаций, когда с появлением трещины усилия в элементе материала уменьшаются, вторая стадия может быть достаточно протяженной. Вторая стадия может быть также определяющей при условии стесненности деформаций, например, в зонах местных напряжений.

Постановка задачи исследований. Получение кинетических уравнений повреждений

Для описания процесса разрушения нужно располагать при возможности различными уравнениями повреждений, одно из которых относится к стадии рассеянных повреждений, другое – к стадии локальных повреждений. Кроме того, необходимо еще установить условие завершения первой и начала второй стадии, оканчивающейся полным разрушением тела при достижении трещинами их критических размеров. Однако в подавляющем большинстве случаев длительную прочность пока еще оценивают на основе рассмотрения либо только рассеянных, либо только стадии локальных повреждений. Феноменологическое описание стадии диссеминированных повреждений основывается на представлении о поврежденности, как об особом термомеханическом состоянии элемента сплошной среды.

Известны значительные трудности в оценке долговечности элементов конструкций, так как при их эксплуатации протекают сложные процессы длительного разрушения. К таким относят статическую усталость, возникающую в результате выдержки конструкционных элементов во времени под действием усилий, мало- и многоцикловую усталость, а также процессы поверхностных разрушений. При этом прочность элемента конструкции лимитируется предельным состоянием последней. Поэтому критерии предельного состояния в элементах конструкций могут быть различные. Такими критериями могут служить максимальные нагрузки, приводящие к разрушению, предельные остаточные деформации, время до разрушения или число циклов, возникновение трещин усталости или термоусталости, потеря устойчивости под действием силовых или тепловых нагрузок, предельный износ поверхностных слоев материала и т. д. Поэтому за критерии предельного состояния необходимо выбирать величину, характеризующую достижение предельного состояния. Имеет место значительное многообразие зависимостей, рекомендуемых для оценки механического состояния и долговечности материала. Общим является кинетический подход к явлениям деформирования и повреждений, допускающий феноменологическое описание с помощью некоторых определяющих уравнений, называемых уравнениями механических состояний и кинетическими уравнениями повреждений.

При построении уравнений состояний необходимо учитывать лишь основные факторы, влияющие на поведение материалов, причем постоянные и функциональные параметры этих уравнений для одних и тех же материалов в различных условиях эксплуатации могут быть различны.

Кинетические уравнения повреждений материалов отвечают, как правило, принципу линейного суммирования повреждений. В таких подходах процесс накопления повреждений описывается каким-либо параметром интегрально, характеризующим все факторы поврежденности без учета влияния отдельных из них на процесс накопления повреждений. С помощью уравнений повреждений могут описываться обе основные стадии длительного разрушения – стадия рассеянных повреждений и стадия развития макроскопических трещин. Постоянные и функциональные параметры в этих уравнениях определяются, как правило, на простых опытах. Эффективность предсказания долговечностей при сложных режимах нагружения таких уравнений сравнивается с экспериментальными данными.

Для проведения опытов использовано два конструкционных сплава ЭП–182 (20ХМ1Ф1ТР) и ЭИ–765 (ХН70ВМЮТ) как наиболее часто применяемые для изготовления деталей, работающих при высоких температурах. Температура испытаний для сплава ЭП–182 составляла 525 °С, для сплава ЭИ–765 – 800 °С. Образцы изготовлялись в виде тонкостенной трубки диаметром 20 мм, толщина стенки составляла 1 мм, длина рабочей части трубки – 60 мм. Истинная деформация образцов измерялась с помощью двух катетометров и определялась по известной формуле

$$\varepsilon = 2\ln\frac{d_0}{d}, \qquad (1)$$

где d_0 – диаметр образца в начале испытания; d – текущий диаметр образца в процессе деформирования.

Режимы циклического нагружения для сплава ЭП–182 показаны на рис. 1, а для сплава ЭИ–765 – на рис. 2. В случае знакопеременных режимов нагружения можно предполагать о наличии помимо статической усталости, еще и некоторой циклической усталости. Оценка меры повреждения статической усталости уравнениями силового типа предложена в [1] и имеет вид:

$$П = K_1 \frac{1}{C_0} \exp\frac{\sigma}{A_0} \cdot \theta_1, \qquad (2)$$

где K_1 – число полуциклов растяжения; θ – продолжительность полуцикла растяжения; постоянные C_0 и A_0 легко определяются по кривым длительной прочности в координатах σ, $\lg t$. Здесь *ti* – время до разрушения при напряжении σ_i. Эти опыты проводятся при постоянном растяжении.

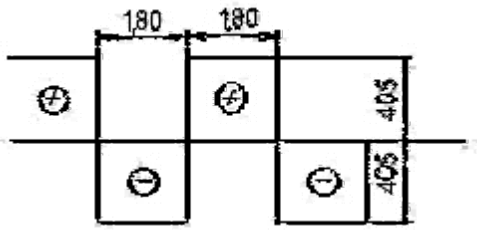
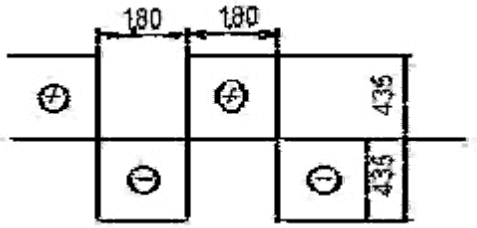
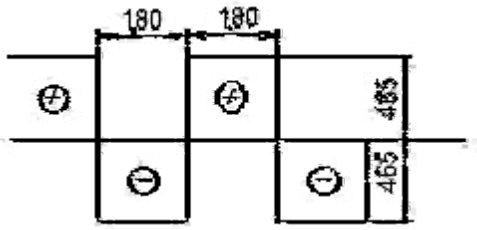
Материал	Режим нагружения	Число циклов при разрушении	$П_1$	$П_2$
ЭП–182	σ, МПа 	70	0,748	0,2516
ЭП–182	σ, МПа 	42	0,8526	0,1474
ЭП–182	σ, МПа 	24	0,925	0,075

Рис. 1. Схема режимов нагружения и значения меры повреждений для сплава ЭП–182

В момент разрушения величина меры повреждений равна единице. Сначала рассмотрим лишь влияние статической усталости. Эта поврежденность накапливается за суммарное время пребывания материала под действием растягивающих напряжений. Данную поврежденность обозначим через $П_1$. Значения этой величины даны на рис. 1 и 2, где приведены соответствующие режимы нагружения.

Будем полагать, что полная поврежденность $П$ к моменту разрушения по-прежнему равна единице. Можно предположить, что дополнительное повреждение в условиях знакопеременных режимов нагружения связано только с цик-

лической усталостью. Величины $П_2 = 1 - П_1$ также даны на рис. 1 и 2. Видно, что для материала ЭП–182 доля в общей поврежденности растет с уменьшением амплитуды симметричного цикла и с возрастанием числа циклов. Что касается материала ЭИ–765, то здесь долговечности в условии симметричного циклического нагружения оказались не меньшими, а даже несколько большими, чем в условиях нагружения по отнулевому циклу с тем же размахом. Таким образом, периодический переход к сжимающим напряжениям в данном случае не приводит к разупрочнению, а, быть может, даже к некоторому упрочнению, где $П_2 = 0$.

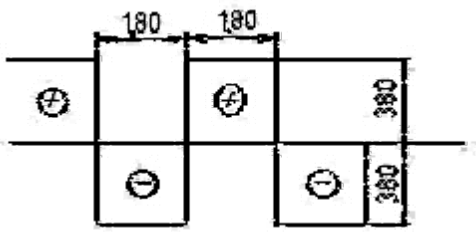
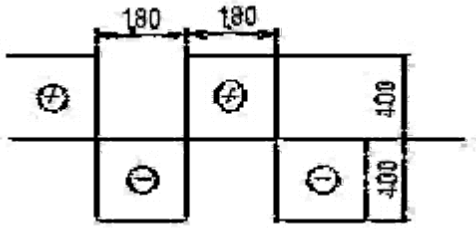
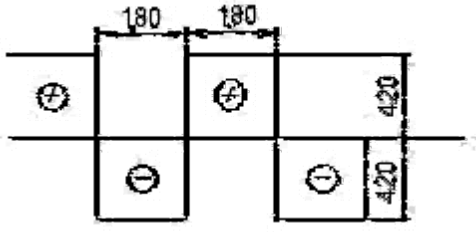
Материал	Режим нагружения	Число циклов при разрушении	$П_1$	$П_2$
ЭИ–765	σ, МПа 	44	1,071	–
ЭИ–765	σ, МПа 	27	1,140	–
ЭИ–765	σ, МПа 	18	1,152	–

Рис. 2. Схема режимов нагружения и значения меры повреждений для сплава ЭИ–765

Построим кинетическое уравнение, описывающее зависимость повреждения от амплитуды напряжений σ_a и числа циклов N. Вариант данной зависимости имеет вид:

$$\frac{d\Pi}{dN} = F(\sigma_a), \qquad (3)$$

где σ_a – амплитуда напряжений.

Наметим характер $F(\sigma_a)$. При симметричном цикле нагружения

$$\Pi_2 = 1 - \Pi_1 = F(\sigma_a) \cdot N$$

или

$$F(\sigma_a) = \frac{\Pi_2}{N}. \qquad (4)$$

Полные повреждения, складывающиеся из статических повреждений с мерой Π_1 и циклических с мерой Π_2, определятся как

$$d\Pi = \frac{1}{C_0}\exp\frac{\sigma}{A_0}d\theta + F(\sigma_a)dN. \qquad (5)$$

В случае регулярного циклического режима нагружения это уравнение можно привести к одной независимой переменной N, после чего оно интегрируется. С этой целью вычисляется статическое повреждение за один цикл:

$$\Delta\Pi_1 = \frac{1}{C_0}\int \exp\frac{\sigma}{A_0}d\theta. \qquad (6)$$

Величина Π_1 равна соответственно $\Delta\Pi_1 N$. Величина Π_2 равна в тех же условиях $F(\sigma_a)N$. Таким образом,

$$\Pi = N[\Delta\Pi_1 + F(\sigma_a)]. \qquad (7)$$

В случае регулярного ступенчатого режима нагружения, слагающегося из r блоков, предыдущая зависимость обобщается следующим образом:

$$\Pi = \sum_{k=1}^{r} [N_k \Delta\Pi_{1k} + F(\sigma_{ak})N_k], \quad (8)$$

где $\Delta\Pi_{1k}$ – приращение статических повреждений за один цикл в k-м блоке; N_k – число циклов в k-м блоке; $F(\sigma_{ak})$ – приращение циклической поврежденности за один цикл в том же блоке.

Уравнение (8) может принципиально претендовать на описание процесса повреждений и в условиях любого несимметричного знакопеременного цикла.

Установим возможность использования кинематического уравнения повреждений (2) для случая сложного напряженного состояния. В этом случае уравнение (2) может быть записано как

$$\frac{d\Pi_{ij}}{d\theta} = \sigma_{ij}(\theta); \quad \Pi_{ij} = \int_0^\theta \sigma_{ij}(\theta)d\theta, \quad (9)$$

где компоненты тензоры приведенных напряжений выражаются в виде

$$\sigma_{ij}(\theta) = \frac{3}{2}\cdot\frac{\delta_{ij}}{\sigma_i}\cdot f\left(\frac{\sigma_i}{\sigma_*}\right)\times$$

$$\times\ \varphi(\mu_s)\cdot\varphi(k_o)\cdot t_*^{-1}, \qquad (10)$$

где $\varphi(\mu_s)$ – функция, учитывающая влияние коэффициента Лоде на скорость накопления повреждений; t_* – постоянная с размерностью времени.

Как известно,

$$\mu_s = 2\frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3} - 1, \qquad (11)$$

где σ_1, σ_2, σ_3 – главные напряжения.

В [5] мера повреждений выражается в форме инварианта тензора напряжений:

$$\Pi = \pi_i + C\pi_a; \qquad (12)$$

$$\pi_i = \sqrt{\frac{2}{3}\sum \pi_{ij}^2}, \qquad (13)$$

где π_i – интенсивность повреждений; π_{ij} – компоненты девиатора; π_a – компоненты шарового тензора повреждений; C – экспериментально определяемая величина.

Опыты в условиях сложного напряженного состояния (СНС) проводились на образцах указанных материалов на растяжение-сжатие и кручение одновременно. Образцы из обоих материалов выдерживались при различных уровнях напряжений длительное время вплоть до разрушения как в условиях линейного напряженного состояния ($\mu_s = -1$), так и плоского напряженного состояния ($\mu_s = -0{,}7$, $\mu_s = -0{,}39$).

На рис. 3, а (для сплава ЭП–182) и рис. 3, б (для сплава ЭИ–765) показаны кривые длительной прочности в этих условиях.

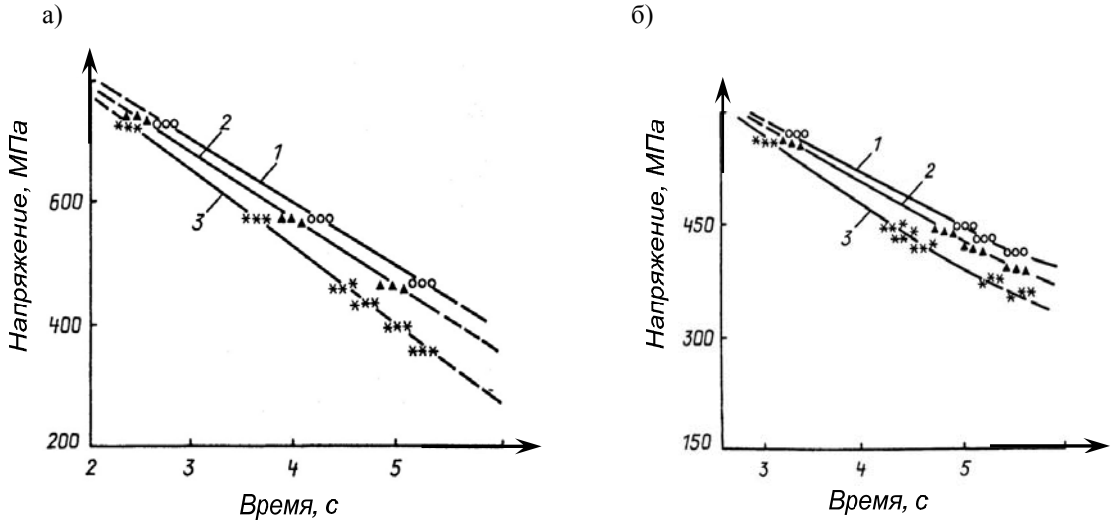


Рис. 3. Кривые длительности прочности сплавов ЭП-182 (а) и ЭИ-765 (б) при различных значениях коэффициента Лоде: 1, 2, 3 – $\mu_s = -1; -0{,}7; -0{,}39$ соответственно

Легко убедиться, что наименьшей длительностью материалы обладают при простом растяжении-сжатии. При этом для материала ЭИ–765 имеется два участка. Постоянные $C_0 = 9{,}67 \cdot 10^8$ с, $A_0 = 46{,}79$ МПа, на втором участке $C_0 = 5{,}97 \cdot 10^9$ с, $A_0 = 33{,}63$ МПа. Применительно к каждому из материалов ЭП–182 и ЭИ–765 было рассмотрено три режима нестационарной ползучести при различных видах ступенчатого нагружения до момента разрушения. Кривые аппроксимировались следующим образом. Для сплава ЭИ–765 при линейном напряженном состоянии

$$\sigma = 912 - 110{,}66 \ \lg \tau;$$

$$\sigma = 757 - 776{,}49 \lg \tau. \qquad (14)$$

Для сплава ЭП–182

$$\sigma = 968 - 107{,}80 \lg \tau. \qquad (15)$$

На основании экспериментальных данных, приведенных в [1–4], обобщим уравнение (2) на случай нестационарной ползучести в условиях одновременного действия нормального и касательного напряжений, предполагая его в дальнейшем в скалярной форме:

$$\frac{d\Pi}{d\tau} = F(\sigma_1, \sigma_0, M_s), \qquad (16)$$

где σ_i – интенсивность напряжений.

Из литературы, посвященной предельному состоянию конструкционных материалов (например, [6]), известно, что вид девиатора напряжений отражается на условиях разрушения элемента материала в меньшей степени, чем величина и знак компонентов шарового тензора напряжений. Здесь возможен случай, когда поверхности предельных

главных напряжений стягиваются при трех главных растягивающих напряжениях в точку, отстоящую на конечное расстояние от начала координат. Учитывая данное обстоятельство, мы введем в уравнение (16) параметр σ_0 шаровой части тензора напряжений и тогда пренебрегаем параметром M_s. Обобщенное уравнение повреждений имеет следующий вид:

$$\frac{d\Pi}{d\tau} = f(\sigma_i) = \frac{1}{C_0}\psi\left(\frac{\sigma_0}{\sigma_i}\right), \qquad (17)$$

где $f(\sigma_i)$ представляется известным выражением

$$f(\sigma_i) = \frac{1}{C_0}\exp\frac{\sigma_i}{A_0}. \qquad (18)$$

Условие разрушения запишется следующим образом:

$$1 = f(\sigma_i)\cdot\psi\left(\frac{\sigma_0}{\sigma_i}\right)\cdot\tau_p. \qquad (19)$$

Для определения вида функции ψ необходимо построить экспериментальный график зависимости величины $1/\tau_p f(\sigma_i)$ от величины отношений σ_0/σ_i. Экспериментальные зависимости аппроксимировались соответственно для сплавов ЭИ–765 и ЭП–182 следующими выражениями:

$$\psi\left(\frac{\sigma_0}{\sigma_i}\right) = 7{,}80\left(\frac{\sigma_0}{\sigma_i}\right)^2 + 0{,}145; \qquad (20)$$

$$\psi\left(\frac{\sigma_0}{\sigma_i}\right) = 66{,}90\left(\frac{\sigma_0}{\sigma_i}\right)^4 + 0{,}175. \qquad (21)$$

Эти выражения построены таким образом, что при линейном напряженном состоянии, когда соотношение σ_0/σ_i составляет 0,333, величина $\psi(\sigma_0/\sigma_i)$ обращается в единицу. В тех случаях, когда объем возможных опытов для построения ограничен, можно для приближенного расчета аппроксимировать функцию линейным выражением вида

$$\psi\left(\frac{\sigma_0}{\sigma_i}\right) = B\frac{\sigma_0}{\sigma_i} + K, \qquad (22)$$

определяя B и K из двух опытов. Таковыми могут быть опыт на чистый сдвиг, из которого определяется величина $\psi(0) = K$, и опыт на растяжение, при котором

$$\psi(0{,}333) = B0{,}333 + K = 1. \qquad (23)$$

Эффективность построенного кинематического уравнения проверена по экспериментальным данным в [1–4] по разрушению при одновременном растяжении и кручении трубчатого образца в условиях нестационарной ползучести.

Режимы нагружения и результаты расчетов меры повреждений в момент разрушения приведены на рис. 4 и 5.

Расчетная величина меры повреждений колеблется от 0,982 до 1,040, что свидетельствует о возможности использования уравнения (17) при различных нестационарных режимах нагружения, включая и тот случай, когда пропорциональность изменения τ и σ нарушается.

Заключение

Предложенные кинетические уравнения повреждений силового типа обладают большей гибкостью в отношении того набора опытов, по которым определяются постоянные и функциональные параметры этих уравнений. Многочисленные экспериментальные данные, отображенные в работе, подтверждают это обстоятельство.

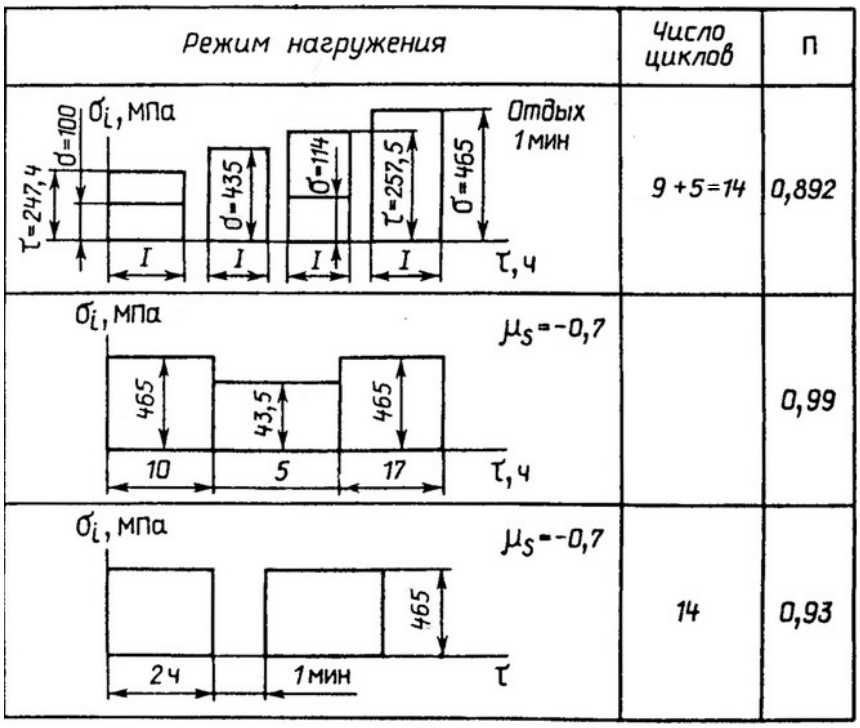


Рис. 4. Режимы нагружения и расчетные значения меры повреждений П (материал ЭП–182) для случая сложного напряженного состояния

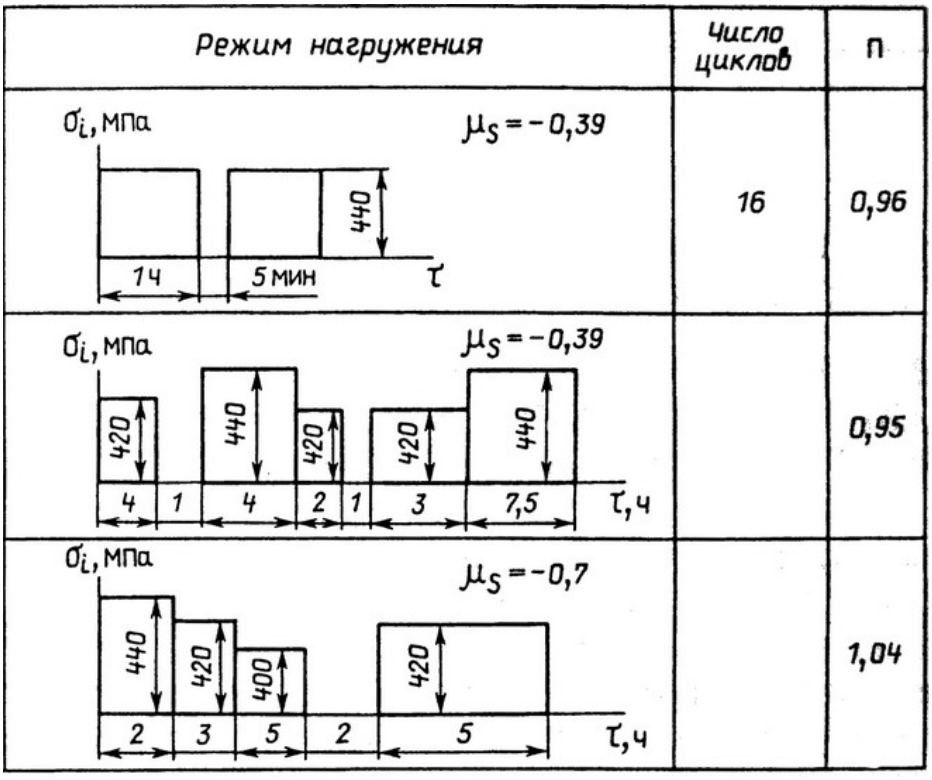


Рис. 5. Режимы нагружения и расчетные значения меры повреждений П (материал ЭИ–765) для случая сложного напряженного состояния

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Павлов, П. А.** Длительное разрушение жаропрочных сталей при нестационарном нагружении / П. А. Павлов, Н. Н. Курилович // Проблемы прочности. – 1982. – № 2. – С. 44–47.

2. **Павлов, П. А.** Основы инженерных расчетов элементов машин на усталость и длительную прочность / П. А. Павлов. – Л. : Машиностроение,1988. – 252 с.

3. **Курилович, Н. Н.** Описание ползучести жаропрочных сталей в условиях циклического режима нагружения / Н. Н. Курилович, Л. И. Огородов // Машиностроение. – 1988. – № 1. – С. 23–26.

4. **Курилович, Н. Н.** Деформирование материалов в условиях циклической ползучести / Н. Н. Курилович, Л. И. Огородов // Весці НАН Беларусі. – 1987. – № 4. – С. 19–21.

5. **Подбедря, Е. Е.** Основы математической теории термовязкоупругости / Е. Е. Подбедря. – М. : Наука, 1970. – 280 с.

6. **Писаренко, Г. С.** Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии / Г. С. Писаренко, А. А. Лебедев. – Киев : Наукова Думка,1976. – 415 с.

Могилевский государственный университет продовольствия
Вологодский государственный технический университет
Материал поступил 22.06.2008

N. N. Kurilovich, L. F. Kotyagov, L. I. Ogorodov
Evaluation of damage accumulation in steels under alternaiting loading

Rate equations for damage level evaluation at repeated and complex loadings while linear and combined stress are given in the article. To construct these equations real and functional parameters are determined on the base of simple experiments. The parameters possess a better flexibility at damage level determination. The equations are in good agreement with experiments that have been carried out in conditions of combined and stress state and complex load.

УДК 621.791.01

С. К. Павлюк, д-р техн. наук, проф., А. В. Лупачёв

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ТОКОВ ПАРЫ ЭЛЕКТРОДОВ, ПОКРЫТЫХ ТОНКИМ СЛОЕМ ЭЛЕКТРОЛИТА, И ИХ ВЛИЯНИЕ НА КОРРОЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ

Приведены результаты исследований по определению гальванических токов, возникающих между участками, прилегающими к сварному шву, полученному дуговой сваркой плавящимся электродом в защитных газах или дуговой пайкой. Установлено, что наиболее высокой коррозионной стойкостью обладают сварные соединения, выполненные проволокой на основе алюминия. В соединениях с широкими швами происходит снижение плотности гальванических токов на границе шов – основной металл и замедляются процессы массопереноса в агрессивной среде.

Введение

Использование в сварных конструкциях оцинкованных сталей повышает их долговечность за счет высокой коррозионной стойкости сталей с покрытием. Сварные и паяные соединения из таких сталей обладают высокой степенью химической, структурной, геометрической и механической неоднородностей, поэтому системы, включающие такие соединения, являются термодинамически – неустойчивыми. Коррозионные поражения могут концентрироваться на шве и в зоне термического влияния, что приводит к снижению долговечности конструкции.

При сварке оцинкованного металла по обеим сторонам шва есть участки с полностью разрушенным покрытием, а при пайке с использованием медного или алюминиевого припоя – участки с частично разрушенными [1].

Металл шва, металл зоны термического влияния и основной металл с цинковым покрытием существенно различаются по величине электродных потенциалов. В электролитах такие сложные системы, как электроположительный металл шва, металл участка с разрушенным покрытием и повышенным электродным потенциалом и цинковое покрытие с пониженным электродным потенциалом проявляют себя поразному в зависимости от ширины соответствующих зон [2].

При малой ширине участка с разрушенным покрытием (до 3 мм) действует механизм анодной защиты, а при большей ширине участка разрушения действие анодной защиты ослабляется или прекращается.

В связи с этим проведены исследования гальванических токов, возникающих между участками, прилегающими к сварным швам, которые выполнены дуговой сваркой плавящимся электродом в защитных газах или дуговой пайкой.

Исследования проведены для случаев, когда:

1) сварной стальной шов и участок основного металла с полностью разрушенным цинковым покрытием;

2) паяный шов на основе медного сплава;

3) паяный шов из сплава на основе алюминия.

Эти варианты охватывают все существующие в настоящее время технологии сварки и дуговой пайки с использованием электродного материала на основе стали, медного сплава и алюминиевого сплава. Дается предварительная оценка коррозионной стойкости таких соединений сравнением электродных потенциалов, различных участков сварных соединений, величин и плотности гальванических токов.

Методика исследований гальванических токов разнородных металлов в атмосферных условиях

Особенностью коррозии сварных и паяных соединений на сталях с метал-

лическими покрытиями в атмосферных условиях является возникновение гальванических токов на поверхности разнородных металлов, покрытых тонким слоем электролита. Таким электролитом является тонкий слой влаги, всегда присутствующий в атмосфере.

Гальванические токи возникают из-за того, что металлы основы, покрытия и шва различаются по электрохимическим потенциалам. В некоторых случаях эти токи являются полезными, например, гальванические токи медленно разрушают анодные покрытия (Zn, Cd), электрохимически защищая стальную основу.

В других случаях, когда на поверхности имеется катодное покрытие (Cu, Ni, Cr) или шов имеет больший положительный потенциал, чем основной металл, токи могут усилить коррозию основного металла [3–5].

Современные методы дуговой сварки и пайки предполагают использование электродных проволок на основе стали (Св08, Св08Г2С), меди (КМц–3–1, БрА9, БрК3), алюминия (АК–5). Рядом со швом на основе стали есть участок с поврежденным или разрушенным покрытием.

Исследуется модель, состоящая из двух разнородных электродов, лежащих в одной плоскости, приведенных в соприкосновение и покрытых тонким слоем электролита, т. е. имитируются атмосферные условия, при которых на поверхности металла всегда имеется слой атмосферной влаги.

В модели учтено, что рядом со швом на основе медного сплава есть участок с поврежденным покрытием, а рядом со швом на основе алюминия — участок с незначительными следами повреждения.

В паре Fe–Zn анодом будет цинк, а катодом – сталь; в паре Cu–Fe анодом является сталь, а катодом – медь; в паре Cu–Zn анод – цинк, а катод – медь; в паре Al–Zn анодом является алюминий, а катодом – цинк.

На рис. 1 показана расчетная модель двухэлектродной системы, иллюстрирующая принцип исследования распределения гальванических токов.

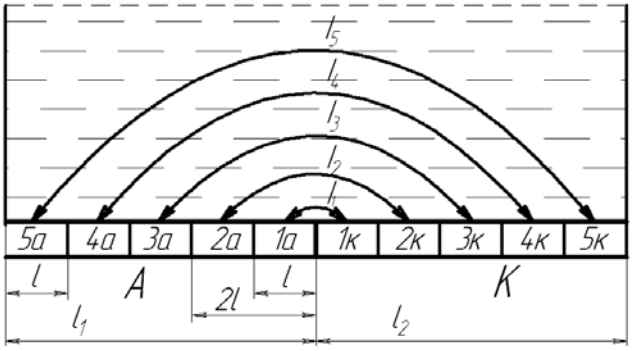


Рис. 1. Модель двухэлектродной системы для исследования распределения гальванических токов

Расчетная модель состоит из двух пластин разнородных металлов, приведенных в соприкосновение между участками 1а и 1к, покрытыми тонким слоем электролита. На поверхности пластин возникают гальванические токи, указанные стрелками (см. рис. 1). Слева располагается металл с более электроотрицательным электродным потенциалом, который является анодом. Металл, показанный справа, – катод. Для исследования гальванических токов пластины разделены на участки, которые имеют размеры много меньше их ширины.

В соединении плотность тока на поверхности определяется удаленностью

от места контакта. Сила тока между электродами определяется из выражения [3]

$$I = \frac{\varphi_K^0 - \varphi_A^0}{\beta \frac{(l_1 - l_2)\rho}{2n\delta} + \frac{n}{l_2} K_1 + \frac{n}{l_1} K_2}, \qquad (1)$$

где $\varphi^0{}_K$, $\varphi_A{}^0$ – стандартные электродные потенциалы катода и анода, В; β – коэффициент, определяемый удаленностью пары от места контакта (для первой пары электродов β = 1, для второй пары β = 3, для третьей β = 5, для четвертой β = 7 и т. д.); l_1 – длина анода, м; l_2 – длина катода, м; ρ – удельное сопротивление электролита, Ом·м; δ – толщина слоя электролита, м; K – поляризационная характеристика элемента, В/А; n – число участков.

В расчетах используются величины электродных потенциалов и коэффициентов поляризации, приведенные в табл. 1.

Табл. 1. Электродные потенциалы и коэффициенты поляризации

Показатель	Химический элемент			
	Al	Zn	Fe	Cu
φ^0, В	-1,66	-0,76	-0,43	+0,337
K, В/А	1000	0	0	1000

Примечание – Для всех условий приняты следующие значения: ρ = 10100 Ом·м; $l_К$ = 0,03 м; $l_А$ = 0,03 м; l = 0,006 м – протяженность участка, прилегающего к месту контакта и расположенного на расстоянии l_1/n; n = 5, толщина слоя электролита (влаги) δ = 10 мкм.

Длина участков повреждения покрытия и ширины шва принята различной [6]. При моделировании шва установлены следующие условия: в паре Fe–Zn: $l_К$ = 0,004 м; $l_А$ = 0,05 м; в паре Cu–Fe: $l_К$ = 0,005 м; $l_А$ = 0,004 м; в паре Cu–Zn: $l_К$ = 0,005 м; $l_А$ = 0,05 м; в паре Al–Zn: $l_К$ = 0,05 м; $l_А$ = 0,005 м.

Распределение гальванических токов в разнородных соединениях

Рассчитаны разности электродных потенциалов для различных вариантов построения технологии соединения. Эти значения представлены в табл. 2.

Табл. 2. Разности электродных потенциалов в парах разнородных металлов

Показатель	Гальваническая пара			
	Fe–Zn	Cu–Fe	Cu–Zn	Al–Zn
Разность электродных потенциалов Е, В	0,33	0,767	1,097	0,9

Из табл. 2 следует, что в случае обеспечения анодной защиты между двумя разнородными металлами Zn–Fe достаточна разность электродных потенциалов, равная 0,33 В. Большие значения электродных потенциалов будут свидетельствовать об интенсификации перехода в раствор металла с более отрицательным электродным потенциалом. В частности, в соединениях со швом на основе меди возможно интенсивное растворение железа на поврежденном при пайке участке и растворение цинка рядом с этим участком.

Использование в качестве припоя алюминиевого сплава способствует то-

му, что у границы шва на узком участке происходит лишь незначительное испарения цинкового покрытия. В результате гальванические токи возникают только между швом из алюминиевого сплава и поверхностью цинкового покрытия. Разница электродных потенциалов в этом случае относительно небольшая (0,9 В), поэтому процесс коррозии не будет интенсивный.

Гальванические токи распределяются по участкам, причем с увеличением расстояния расположения участка от зоны контакта величина гальванического тока снижается.

Расчеты, подтверждающие небольшие величины токов в соединениях, паяных припоем на основе алюминия, свидетельствуют о большей коррозионной опасности для швов, паяных сплавами на основе меди.

Значения гальванических токов между разнородными металлами с учетом расстояния от границы контакта показаны в табл. 3.

Табл. 3. Гальванические токи между разнородными металлами

Расстояние от границы контакта, мм	Гальваническая пара металлов			
	Fe–Zn	Cu–Fe	Cu–Zn	Al–Zn
	Гальванический ток I, мкА			
6	0,054	0,123	0,176	0,145
12	0,0182	0,042	0,06	0,05
18	0,011	0,0252	0,036	0,03
24	0,0078	0,018	0,026	0,021
30	0,0061	0,014	0,02	0,016

В элементах с электродами, лежащими в одной плоскости, значения гальванических токов на различных участках существенно отличаются. Практически весь ток сосредотачивается на участках, находящихся на расстоянии не более 5–6 мм от границы контакта.

Расчеты плотностей тока выполнены для пар разнородных металлов, Fe–Zn, Cu–Fe, Cu–Zn, Al–Zn, покрытых тонким слоем электролита.

Исходя из полученных значений силы тока плотность тока определяется из выражения [3]

$$i_A = \frac{I \cdot n}{l_1}; \quad i_K = \frac{I \cdot n}{l_2}, \qquad (2)$$

где I – сила тока, А; n – число участков; l_1 – длина анода, м; l_2 – длина катода, м.

На рис. 2 показано распределение плотности гальванического тока при контактах двух разнородных металлов в атмосферных условиях.

Для получения более точных и достоверных результатов исследование гальванических токов в стыке двух разнородных металлов дополнено исследованиями моделей, имитирующих сварные и паяные швы. Этот случай отличается от предыдущего тем, что учтена ограниченная протяженность отдельных участков: шва и участка повреждения покрытия.

Для сравнительного анализа проведены расчеты электрохимических процессов, протекающих на поверхности сварного и паяного соединения, покрытого тонким слоем электролита, при условии, что ширина стальной, медной и алюминиевой пластин меньше ширины пластины оцинкованной стали, что соответствует ширине сварного и паяного швов, и возможно выгорание цин-

кового покрытия на стали.

В случае сварки оцинкованного металла электродной проволокой на основе стали, цинковое покрытие повреждается и гальваническая пара возникает между стальным швом, основным металлом (сталью) без покрытия и цинковым покрытием.

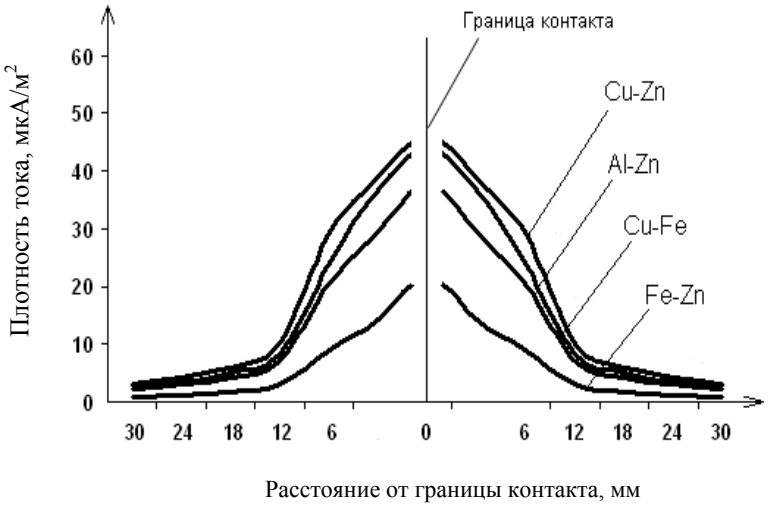


Рис. 2. Распределение плотности тока при контакте двух разнородных металлов

Если использовалась сварочная проволока на основе медного сплава и цинковое покрытие частично повреждено вблизи шва, то гальванические токи возникают между медным швом и сталью.

Если покрытие на оцинкованной стали вблизи шва сохраняется, то гальваническая пара возникает между швом и покрытием. Рассмотрен случай дуговой пайки оцинкованной стали сварочной проволокой на основе медного сплава при условии, что цинковое покрытие не выгорает.

При пайке оцинкованной стали проволокой на основе алюминиевого сплава цинковое покрытие не выгорает. Гальваническая пара возникает между швом и покрытием.

Результаты расчета гальванических токов, протекающих на поверхности шва, покрытого тонким слоем электролита, представлены в табл. 4.

Табл. 4. Гальванические токи, протекающие на поверхности шва

Пара металлов	Участок металла (рис. 1)				
	1а–1к	2а–2к	3а–3к	4а–4к	5а–5к
	Гальванический ток I, мкА				
Fe–Zn	0,0554	0,0185	0,012	0,0079	0,0062
Cu–Fe	0,4	0,206	0,14	0,1042	0,0464
Cu–Zn	0,1674	0,0621	0,038	0,0275	0,0215
Al–Zn	0,137	0,051	0,0313	0,0226	0,018

При контакте двух разнородных металлов – шва, околошовной зоны Fe и покрытия Zn, значения гальванических токов на различных участках отличаются. Наибольшие значения приходятся на участки, расположенные вблизи границы контакта разнородных металлов. Разница между значениями на ближайшем к месту контакта участке и наиболее удаленном составляет 86,28 % от максимального значения гальванического тока. На рис. 3 представлено распределение плотности тока при контакте двух разнородных металлов: шва и основного металла Fe и защитного покрытия Zn.

Распределение плотности тока при контакте Cu–Fe имеет несколько иной характер. Это связано с отличной от случая Fe–Zn шириной шва и поврежденного защитного покрытия. На рис. 4 представлено распределение плотности тока при контакте двух разнородных металлов шва Cu и основного металла Fe.

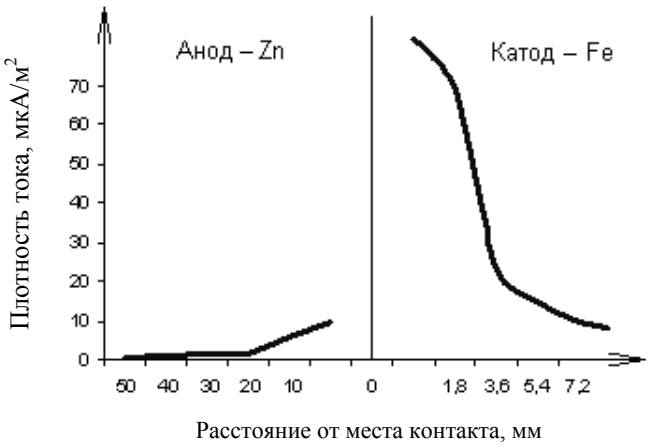


Рис. 3. Распределение плотности тока при контакте двух разнородных металлов: основного (цинка) и металла шва (железа)

Рис. 4. Распределение плотности тока при контакте двух разнородных металлов: основного металла (железа) и металла шва (меди)

Распределение плотности гальванического тока при контакте Cu–Zn имеет схожий характер с распределением плотности тока при контакте Fe–Zn. Различие лишь в абсолютных значениях плотностей токов. На рис. 5 представлено распределение плотности тока при контакте двух разнородных металлов: шва на основе медного сплава и цинкового покрытия.

Из графиков следует, что характер распределения плотности тока одинаков. Максимальные значения плотности тока приходятся на участки, непосредственно прилегающие к месту контакта электродов. Из графиков также видно, что по мере удаления от границы контакта электродов плотность тока падает.

На рис. 6 представлено распределение плотности тока при контакте двух разнородных металлов: шва на основе алюминия и цинкового покрытия.

Рис. 5. Распределение плотности тока при контакте разнородных металлов: цинкового покрытия и медного сплава

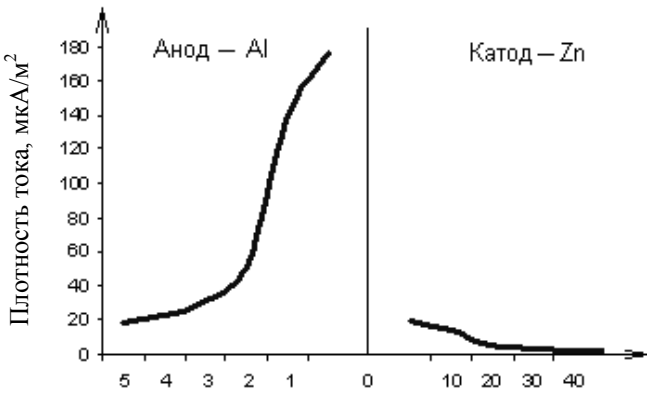


Рис. 6. Распределение плотности тока при контакте шва на основе алюминия и цинкового покрытия

Различие существует лишь в абсолютном значении токов, причем на близком расстоянии от границы контакта электродов практически весь ток сосредоточен на участках, находящихся на расстоянии 4–6 мм от границы контакта.

Таким образом, влияние разнородных контактов на коррозию анодного металла в тонких слоях электролитов сказывается в узкой зоне, не превышающей 5–7 мм. Вне этой зоны металлы подвергаются коррозии как бы в отсутствие контакта.

Обсуждение результатов

Ограниченная ширина участков самого шва и участков поврежденного покрытия не изменяет общей картины распределения гальванических токов для контакта разнородных металлов, но при этом появляются существенные особенности. Основная особенность состоит в том, что изменяются величины плотности гальванических токов, что обусловлено ограничением площадей их протекания. Так, значения плотности гальванического тока на поверхности разнородных пластин Fe–Zn на расстоянии 1 мм от границы контакта на аноде составляет 8,43 мкА/м^2, а на поверхности шва – 82 мкА/м^2.

Локальная неоднородность сварного соединения может существенно ускорить коррозионное повреждение. Ширина сварного шва является параметром, которым можно управлять в допустимых стандартами пределах за счет изменения режимов сварки и пайки. Из исследований следует, что для случая шва на основе стали или меди желательно приближать ширину шва к максимальному значению, допустимому стандартом, поскольку в таком случае происходит растекание гальванических токов по большей площади, снижая плотность тока у краев шва и защитного покрытия.

Данное положение касается швов на основе алюминия в меньшей степени, т. к. плотность гальванического тока в зоне контакта Al–Zn не велика по сравнению с плотностями токов, возникающих на поверхности пар Fe–Zn, Cu–Fe, Cu–Zn.

Низкая температура плавления алюминиевого сплава (625 ^{o}C) способствует тому, что у границы шва на узком участке происходит лишь незначительное испарение цинкового покрытия. В этом случае ожидается повышение коррозионной стойкости паяных соединений в электролитах. При контакте расплавленного алюминия со сталью возможно образование хрупких интерметаллических соединений, преимущественно Fe_3Al. Конструкция паяного соединения должна быть такой, чтобы жидкий алюминий контактировал только с цинком, например шов, расположенный на стороне, обратной отбортовке.

В случаях повреждения защитного покрытия на стали при заготовительных или других операциях желательно наносить слой цинка напылением, гальваническим или иными способами.

При экспериментальных исследованиях необходимо учитывать состав и свойства рабочей атмосферы, а также подбирать технологию сварки или пайки в соответствии с характером условий эксплуатации [6].

Заключение

Проведенные исследования дают оценку коррозионной стойкости сварных и паяных соединений, эксплуатируемых на открытом воздухе. Образующиеся несплошности в цинковом покрытии, вызванные его разрушением в процессе нагрева при сварке или пайке, интенсифицируют коррозию стального сварного шва и зоны термического влияния, поэтому низкая коррозионная стойкость ожидается у сварных соединений, выполненных покрытыми стальными электродами или сваркой в защитных газах проволокой Св–08Г2С.

Использование дуговой пайки со швом из медного сплава не только не решает задачу защиты стали от коррозии, но, возможно, усугубляет ее по причине высокой разности электродных потенциалов и больших гальванических токов в зоне термического влияния, вследствие чего процесс разрушения цинкового покрытия может ускоряться. Конечный результат зависит от поляризационных процессов, определяемых составом влажной атмосферы (сельская,

городская, промышленная, морская).

Наиболее высокой коррозионной стойкостью обладают соединения, полученные с использованием электродов и проволок на основе алюминия. Электродные потенциалы в сварных соединениях, выполненных по системе «алюминиевый сплав – цинковое покрытие» невелики, поэтому возникающие гальванические токи существенно ниже по сравнению с соединениями, выполненными электродами или проволокой на основе стали или медного сплава.

При выполнении швов с шириной по верхнему пределу стандарта происходит снижение плотности гальванических токов на границе «шов – основной металл», что приводит к замедлению процессов массопереноса в агрессивной среде.

Отсутствие точных сведений о коэффициентах поляризации позволило отразить только качественную характеристику поведения соединения разнородных металлов в агрессивных средах. Для получения количественных оценок необходимы экспериментальные исследования механизмов разрушения и коррозионной стойкости соединений на образцах в конкретных агрессивных средах.

Результаты данных исследований должны учитываться при проектировании технологических процессов сварки и пайки сталей с анодными покрытиями (Zn, Cd).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Павлюк, С. К.** Закономерности процесса повреждения и разрушения цинкового покрытия на стали при сварке плавлением и луговой пайке / С. К. Павлюк, А. В. Лупачёв, Ю. А. Цумарев // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2008. – № 2. – С. 76–84.

2. **Розенфельд, И. Л.** Атмосферная коррозия металлов / И. Л. Розенфельд. – М. : Машиностроение, 1960. – 362 с.

3. **Розенфельд, И. Л.** Коррозия и защита металлов / И. Л. Розенфельд. – М. : Металлургия, 1969. – 448 с.

4. **Акимов, Г. В.** Основы учения о коррозии и защите металлов / Г. В. Акимов. – М. : Металлургия, 1946. – 420 с.

5. **Томашов, Н. Д.** Теория коррозии и защита металлов / Н. Д. Томашов. – М. : Металлургия, 1963. – 168 с.

6. **Емелин, М. И.** Защита машин от коррозии в условиях эксплуатации / М. И. Емелин, А. А. Герасименко. – М. : Машиностроение, 1980. – 192 с.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 23.06.2008

S. K. Pavluk, A. V. Lupachev

Research of galvanic currents of electrode pairs, covered with a thin electrolyte layer and their influence on corrosion processes in welded joins

The article gives results of research on galvanic current determination appearing between areas adjoining to the welded joint at consumable-electrode arc welding in an atmosphere of shielding gas or arc soldering. It has been found out that welded joints made with wire based on aluminum have the highest corrosion resistance. In thick joints density of galvanic currents reduces in joint-base metal area and mass carrying processes slow down in corrosive medium.

УДК 621.791.3

И. В. Тарасенко, канд. техн. наук, доц., В. В. Десятник, канд. техн. наук, доц.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АКТИВНОСТИ ПАЯЛЬНЫХ ФЛЮСОВ ДЛЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПАЙКИ МЕДИ НА ЦИКЛИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В статье рассмотрены вопросы, касающиеся циклической прочности соединений, паянных низкотемпературными припоями. На примере нового состава флюса для низкотемпературной пайки меди показано, что повышение активности флюса, определяемое площадью растекания припоя ПОС 61 по образцам из М1, обеспечивает увеличение циклической прочности паяных соединений не менее чем на 10…15 %.

Циклическая прочность является важной характеристикой работоспособности паяных соединений. Все исследования, касающиеся циклической прочности паяных соединений и факторов, влияющих на нее, относятся к высокотемпературной пайке. Поведение же соединений, паянных припоями с низкой температурой плавления, при нагружении циклическими нагрузками мало освещается в технической и патентной литературе.

Для изучения влияния активности паяльных флюсов на циклическую прочность паяных соединений были проведены сравнительные испытания на циклическую прочность по полной программе и ускоренные испытания по методу Локати.

Классическим вариантом обоснования технологических решений при определении характеристик сопротивления усталости является проведение испытаний на циклическую прочность по так называемой полной программе, согласно которой минимально необходимое число образцов для получения характеристик сопротивления усталости и их достоверной статистической обработки должно быть не менее 12…16, т. е. по три–четыре образца на три–четыре уровня нагружения [1]. Это связано с большим временным объемом испытаний.

При определении условий испытаний на циклическую прочность по полной программе принципиальными являются вопросы о базе испытаний и частоте нагружения. Многочисленными испытаниями на циклическую прочность сварных соединений, проведенными в различных организациях, были получены так называемые пороговые значения, отделяющие нагружения на резонансных частотах, которые, как правило, не допускаются в практике эксплуатации, от частот нагружения, присущих сварным конструкциям. Однако для паяных соединений, в силу их податливости, связанной с низким модулем упругости припоев, такого рода данные практически отсутствуют. Кроме того, изначально не была ясна база испытаний. Обширный опыт, накопленный в области испытаний на циклическую прочность сварных образцов, показывает, что за базу испытаний принимается $2\cdot10^6…2\cdot10^7$ циклов [1, 2]. В [1] установлено, что при изменении частоты нагружения от 30 до 300 циклов в минуту наблюдается изменение долговечности в 2…2,5 раза. При дальнейшем увеличении частоты нагружения долговечность остается постоянной. Таким образом, было принято решение за базу испытаний принять $2\cdot10^6…2\cdot10^7$ циклов, а частоту нагружения – 1000 циклов в минуту при симметричном, т. е. наиболее опасном цикле нагружения.

Нами была выбрана схема нагружения: консольный изгиб с вращением, которая приведена на рис. 1, для чего были разработаны и изготовлены конструкции паяных образцов (рис. 2.) [3]. Для построения семейства кривых усталости с различной вероятностью неразрушения испытаниям подвергалось

12 «базовых» паяных образцов из меди М1, полученных с использованием припоя ПОС 61 и известного канифольно-спиртового флюса (канифоль – 30 %, этиловый спирт – остальное). Результаты испытаний приведены в табл. 1.

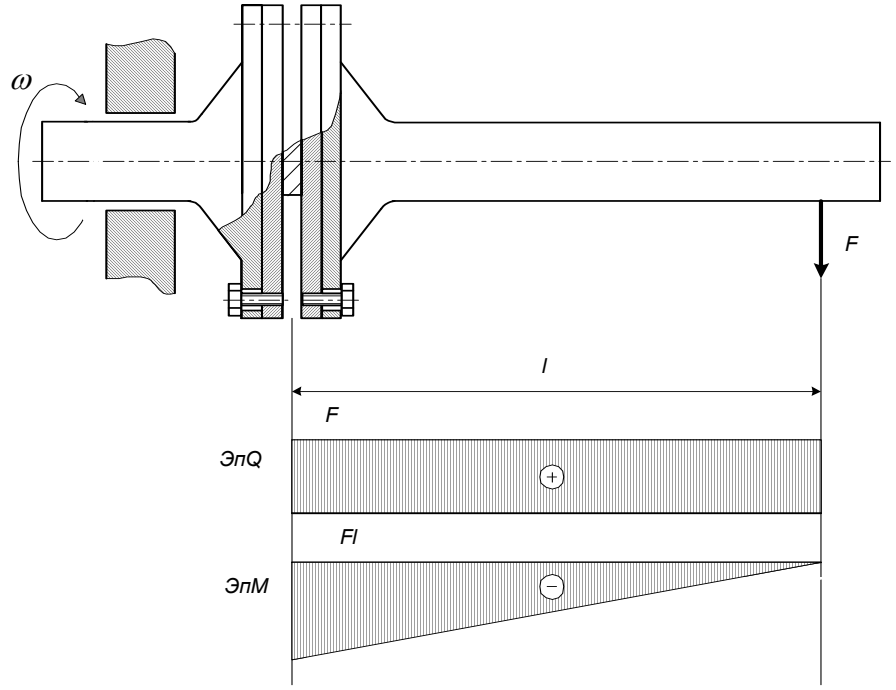


Рис. 1. Схема нагружения паяных образцов при определении циклической прочности методом изгиба с вращением

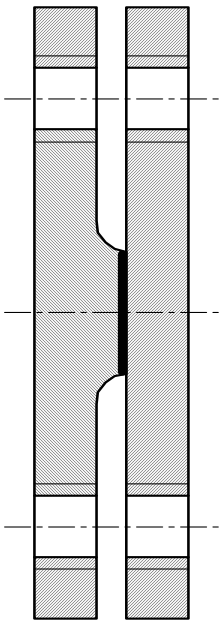


Рис. 2. Образец для определения циклической прочности

Табл. 1. Результаты испытаний «базовых» паяных образцов

Номер образца	σ_{max}, МПа	Число циклов до разрушения N_i	lgN_i	$(lgN_i)^2$	$LgN_i \cdot \sigma_{max}$	σ^2_{max}
1	19	22 000	4,34	18,83	82,46	361
2	19	26 000	4,41	19,45	83,79	361
3	19	27 500	4,43	19,62	84,17	361
4	16	54 000	4,73	22,37	75,68	256
5	16	100 000	5	25	80	256
6	16	160 000	5,2	27,04	83,2	256
7	14	170 000	5,23	27,35	73,22	196
8	14	300 000	5,47	29,92	76,58	196
9	14	350 000	5,54	30,69	77,56	196
10	12	2 100 000	6,32	39,94	75,84	141
11	11	1 000 000	6	36	66	121
12	9	2 000 000	6,3	39,69	56,7	81
$\sum_1^n$	179	6 309 500	62,97	9587,96	837,64	2782
$\frac{1}{n}\sum_1^n$	14,9	525 721	5,24	24,66	69,8	231,8

В общем виде уравнение семейства усталостных кривых с различной вероятностью неразрушения P_H имеет вид [1]:

$$\lg N = \left[\left|m_{50}\right| + K_B \cdot S_m\right] \times$$
$$\times \left(\sigma - \overline{\sigma}\right) + \left(\overline{\lg N} + K_B \cdot S_{Nr}\right), \quad (1)$$

где m_{50} – показатель наклона кривой усталости с вероятностью неразрушения P_H = 50 %; K_B – коэффициент, соответствующий различной вероятности неразрушения; S_{Nr} – условное основное отклонение lgN; S_m – условное отклонение показателя наклона усталостной кривой.

Коэффициент K_B определяют с помощью функции Лапласа и для P_H = 0,1 % K_B = 3,32; P_H = 50 % K_B = 0; P_H = 99,9 % K_B = -3,32.

Условное основное отклонение lgN и основное отклонение показателя наклона определяются по формулам [2]:

$$S_{Nr} = S_{lg\,N} \cdot \sqrt{1 - r^2}\,; \quad (2)$$

$$S_m = \frac{S_{lgN}}{S_\sigma} \cdot \sqrt{\frac{1-r^2}{n}}\,, \quad (3)$$

где S_{lgN} – среднеквадратичное отклонение lgN; r – коэффициент корреляции; S_σ – среднеквадратичное отклонение σ_{max}; n – число испытанных образцов.

Коэффициент корреляции r вычисляется по формуле

$$r = \left|a\right| \cdot \sqrt{\frac{n \cdot \sum_1^n \left(\lg N_i\right)^2 - \left(\sum_1^n \lg N_i\right)^2}{n \cdot \sum_1^n \left(\sigma_{max\,i}\right)^2 - \left(\sum_1^n \sigma_{max\,i}\right)^2}}. \quad (4)$$

Среднеквадратичное отклонение σ_{max} определяется из выражения

$$S_{\sigma\max} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\cdot\left[\sum_1^n\left(\sigma_{\max i}\right)^2 \cdot \frac{\left(\sum_1^n \sigma_{\max i}\right)^2}{n}\right]}. \quad (5)$$

Обработка результатов по методу наименьших квадратов дает возможность получить уравнение усталостной кривой с вероятностью неразрушения P_H = 50 % в виде

$$\sigma = \sigma_0 + a \cdot \lg N. \quad (6)$$

При этом предполагается, что если все значения σ и N измерены с одинаковой точностью, то σ_0 и a определяются из условия, что сумма квадратов отклонений измеренных значений, от вычисленных по формуле (6), будет минимальной. Определенные на основании этого условия коэффициенты имеют вид:

$$a = \frac{\sum_1^n\left(\lg N_i \cdot \sigma_{\max i}\right) - \overline{\lg N_i}\cdot\sum_1^n \sigma_{\max i}}{\sum_1^n\left(\lg N_i\right)^2 - \overline{\lg N_i}\cdot\sum_1^n \lg N_i}; \quad (7)$$

$$\sigma_0 = \left[\frac{1}{n}\cdot\left(\sum_1^n \sigma_{\max i}\right)\cdot\left[\sum_1^n\left(\lg N_i\right)^2\right] - \right.$$

$$\left. -\frac{1}{n}\cdot\left(\sum_1^n \lg N_i\right)\cdot\left(\sum_1^n \lg N_i \cdot \sigma_{\max i}\right)\right] /$$

$$/\left[\sum_1^n\left(\lg N_i\right)^2 - \overline{\lg N_i}\cdot\sum_1^n \lg N_i\right]. \quad (8)$$

Показатель наклона усталостной кривой при вероятности неразрушения P_H = 50 % определяется по формуле

$$m_{50} = r \cdot \frac{S_N}{S_\sigma}. \quad (9)$$

После обработки результатов испытаний уравнения семейства кривых при различной вероятности неразрушения запишутся в виде

$$\text{P}_\text{н} = 50\ \% - \lg N = 8{,}65 - 0{,}408\sigma_{max};$$

$$\text{P}_\text{н} = 0{,}1\ \% - \lg N = 7{,}38 - 0{,}25\sigma_{max};$$

$$\text{P}_\text{н} = 99{,}9\ \% - \lg N = 6{,}46 + 0{,}126\sigma_{max}. \quad (10)$$

Кривые, соответствующие уравнениям (10), приведены на рис. 3, согласно которым предел выносливости паяных образцов, полученных с применением «базовой технологии», составил 9 МПа.

По методике ускоренных испытаний (методу Локати) определяли циклическую прочность трех паяных образцов из меди М1, полученных с применением разработанного нами нового состава флюса: канифоль – 30 %, кубовый остаток производства ДМТ – 16 %, этиловый спирт – остальное и припоя ПОС 61. Кубовый остаток производства диметилтерефталата является более сильным активатором флюсообразования, чем другие известные добавки (гидразин, анилин соянокислый и др). Активность предложенного и известных составов флюсов определяли по разработанной нами методике определения площади растекания дозированной навески припоя ПОС 61 объемом 64 мм ^{3} по поверхности образцов из меди М3 [4] (табл. 2). Указанная методика оценки активности паяльных флюсов заключается в определении масс увеличенного изображения образца и капли припоя и отличается простотой реализации и высокой точностью результатов (погрешность измерений составляет не более 0,5 мм ^{2}, что соответствует ГОСТ 20485–75 *Пайка. Методы заполнения зазора припоем*).

Метод Локати обеспечивает достаточно высокую точность при определении пределов выносливости при небольшом объеме испытаний [4]. Он основан на гипотезе линейного суммирования относительных долговечностей Пальмгрена-Майнера, согласно которой разрушение образца наступает, если сумма относительных долговечностей, получаемых образцом или деталью на

различных ступенях нагружения, достигает определенной величины a, т. е.

$$\sum (n_i / N_i) = a. \qquad (11)$$

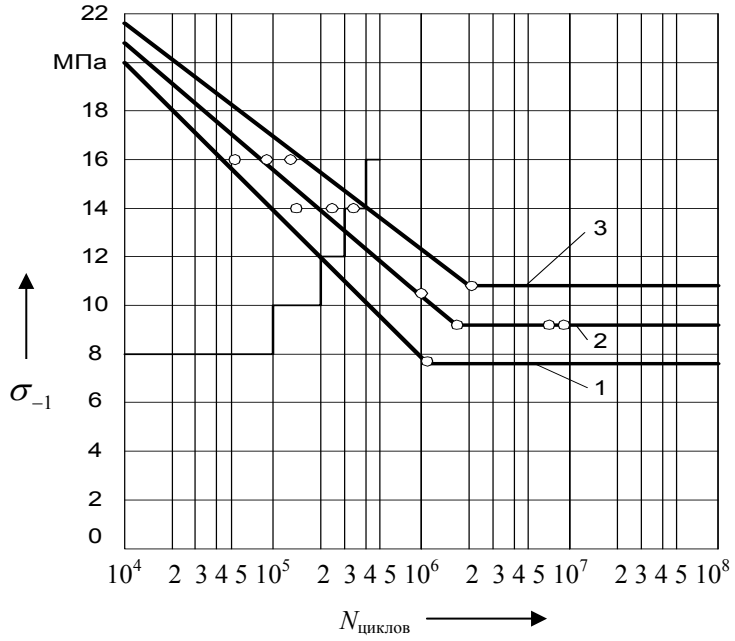


Рис. 3. Семейство кривых для определения предела выносливости при разной вероятности неразрушения: 1 – $P_н$ = 99,9 %; 2 – $P_н$ = 50 %; 3 – $P_н$ = 0,1 %

Табл. 2. Площадь растекания припоя ПОС 61 по образцам из меди М1

Номер состава	Компонент	Содержание компонентов, вес. %	Площадь растекания припоя, мм^2
1 (предложенный состав)	Канифоль Кубовый остаток производства ДМТ Этиловый спирт	30 16 Остальное	436
2 (известный состав)	Канифоль Этиловый спирт	30 Остальное	255
3 (известный состав)	Канифоль Гидразин Этиловый спирт	30 5 Остальное	328

Для ускоренной оценки пределов выносливости испытывают при ступенчатом увеличении нагрузки не менее трех образцов и определяют суммы относительных долговечностей для семейства кривых усталости, соответствующих различным вероятностям неразрушения: 95; 50 и 5 %. По трем значениям сумм относительных долговечностей a_1, a_2 и a_3 и соответствующим значениям σ_1, σ_2, σ_3 строятся графики в координатах $a - \sigma_R$, из которых методом графической интерполяции определяется значение предела выносливости σ_R, соответствующее $a_э$ = 1. Найденные таким образом значения σ для партии образцов усредняются, определяя при этом среднее значение предела выносливости.

В процессе нагружения должна выдерживаться постоянной скорость ступенчатого роста напряжений:

$$\alpha = \frac{\Delta\sigma}{n_i}, \qquad (12)$$

где $\Delta\sigma$ – перепад по напряжению между двумя соседними ступенями нагружения; n_i – число циклов на каждой ступени нагружения.

Скорость роста напряжений существенным образом сказывается на результатах испытаний. По рекомендации [3] α принимают равной $20\cdot10^{-5}$ МПа/цикл. Однако для соединений с высоким уровнем концентрации напряжений ее рекомендуют уменьшать. Так как образцы для определения циклической прочности паяных соединений имеют высокий уровень концентрации напряжений по границам соединения, скорость нагружения была принята равной $1\cdot10^{-5}$ МПа/цикл.

На рис. 4 представлены интерполяционные кривые для определения предела выносливости исследуемых образцов по методу Локати, который составил 10,5 МПа.

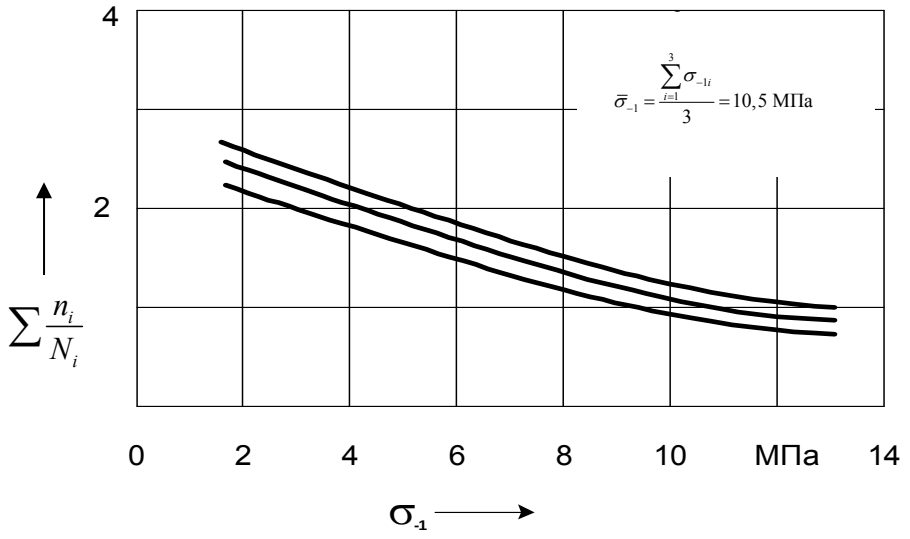


Рис. 4. Интерполяционные кривые для определения предела выносливости паяных соединений

Анализ результатов экспериментальных исследований показал, что при увеличении активности флюса для низкотемпературной пайки меди предел выносливости паяных соединений увеличился с 9 до 10,5 МПа.

Выводы

1. Активность флюсов для низкотемпературной пайки является одним из важных факторов, влияющих на циклическую прочность паяных соединений.

2. При увеличении активности флюса для низкотемпературной пайки меди, что определяется увеличением площади растекания припоя в 1,7 раза, предел выносливости паяного соединения увеличивается не менее чем на 10…15 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Школьник, Л. М.** Методика усталостных испытаний : справочник / Л. М. Школьник. – М. : Металлургия, 1978. – 301 с. : ил.

2. **Десятник, В. В.** Разработка способа магнитно-импульсной обработки соединений, выполняемых контактной точечной сваркой, для повышения их усталостной прочности : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.06 : защищена 10.05.80 : утв. 20.01.81 / Десятник Валерий Владимирович. – Могилев, 1985. – 211 с. – Библиогр. : с. 200–208.

3. **Тарасенко, И. В.** Повышение работоспособности паяных соединений регулированием поля остаточных напряжений и применением новых технологических материалов : дис. …

канд. техн. наук : 05.03.06 : защищена 05.12.03 : утв. 05.03.04 / Тарасенко Ирина Владимировна. – Могилев, 2003. – 139 с. – Библиогр. : с. 110–120.

4. **Данилко, Б. М.** Ускоренное определение предела выносливости сварных соединений / Б. М. Данилко, В. И. Дьяченко, Л. Н. Ларина // Автоматическая сварка. – 1972. – № 2. – С. 22.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 04.06.2008

I. V. Tarasenko, V. V. Desyatnik
Research of influence of soldering flux activity for low temperature copper soldering on cyclic strength of soldered joints

Questions connected with cyclic strength of low temperature soldered joints are considered in the article. It has been shown on the example of new flux composition for low temperature copper soldering that flux activity increasing which is determined by ПОС61 soldering spreading area on М1 samples ensures 10…15 % increasing of soldered joint cyclic strength.

УДК 621.791.3

Ю. А. Цумарев, канд. техн. наук, доц., Т. С. Латун, В. К. Шелег, д-р техн. наук, проф.

ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАТОРА КАПРОЛ НА СВОЙСТВА КАНИФОЛЬНЫХ ФЛЮСОВ

В статье рассмотрена проблема повышения активности канифоли в паяльных флюсах. Предложено в качестве активатора использовать кубовый продукт установки периодической дистилляции капролактама, который (капрол). Проведены испытания предложенного активатора, которые показали, что он улучшает паяемость меди оловянно-свинцовым припоем, позволяет создавать композиционные припои на основе сплава олово-свинец, что обеспечивает повышение характеристик работоспособности паяных соединений.

Пайка широко применяется в современной промышленности. Она относится к перспективным технологическим процессам. Однако для расширения объемов ее применения необходимо повышать характеристики работоспособности паяных соединений. Это особенно относится к низкотемпературной пайке, которая характеризуется меньшими значениями характеристик работоспособности, чем высокотемпературная.

Анализ литературных источников показывает, что на работоспособность паяных соединений большое влияние оказывают как внутренние дефекты паяных швов, так и дефекты, выходящие наружу. Например, в [1] приведены данные, которые показывают, что предел прочности паяных соединений монотонно снижается с увеличением общей площади, занимаемой дефектами. При этом наличие дефектов, выходящих на поверхность, вызывает более резкое снижение прочности [1]. Здесь же указывается и на заметное снижение циклической прочности паяных соединений при наличии в них непропаев. По данным [2] наиболее эффективным способом устранения непропаев является повышение активности применяемого паяльного флюса. Все эти данные позволяют сделать вывод о том, что активность флюса оказывает значительное влияние не только на статическую прочность паяных соединений, но и на их способность сопротивляться воздействию циклически изменяющихся нагрузок.

В современной промышленности широко используется капиллярная пайка с использованием канифольных флюсов. Для повышения активности канифоли в [3] было предложено использовать кубовый остаток производства диметитерефталата (ДМТ). При этом активирующее действие данного компонента объясняется наличием в кубовом остатке производства ДМТ значительного количества химически активных веществ, в частности, органических кислот и их эфиров в количестве, превышающем 60 %. Однако в настоящее время на Могилевском ПО «Химволокно», которое является производителем диметилтерефталата, проведены мероприятия, направленные на повышение эффективности работы предприятия. Это привело к полной остановке практически всех производств по выпуску ДМТ и существенной модернизации единственного действующего производства данного продукта. Поэтому в настоящее время отсутствуют ресурсы кубовых остатков производства ДМТ, имеющих химический состав, соответствующий данным [3]. Таким образом, весьма актуальными являются исследования, направленные на разработку составов канифольных флюсов, обеспечивающих высокую их активность при небольшой стоимости.

Ввиду остановки производства ДМТ на Могилевском ПО «Химволокно», нами был произведен поиск других продуктов, в основу которых положено

наличие в них органических кислот. В качестве перспективного продукта для использования в процессе низкотемпературной пайки нами был предложен кубовый продукт установки периодической дистилляции капролактама, который вырабатывается Гродненским ПО «Азот» и поставляется под названием капрол. По данным предприятия-изготовителя образующийся в процессе дистилляции капролактама кубовый продукт дистилляции капролактама (капрол) состоит из ε-аминокапроновой кислоты и тяжелокипящих примесей. Каждый из указанных компонентов может выполнять важные полезные функции в составах флюсов на основе канифоли. Компонент, обеспечивающий активность, – ε-аминокапроновая кислота. Высококипящие соединения могут способствовать расширению температурного интервала активности путем предотвращения обугливания канифоли.

Требования к качеству кубового продукта дистилляции капролактама (капрола) регламентируются техническими условиями ТУ 113–03–05–12–85 *Модификатор капрол (отход производства капролактама)* с изменениями от 01.04.99 г. В соответствии с ними массовая доля капролактама и ε-аминокапроновой кислоты составляет в продукте марки В 80…95 %. Другие параметры химического состава техническими условиями ТУ 113–03–05–12–85 не нормируются. Данные по химическому составу показывают, что капрол имеет все свойства, которые необходимы для активирования канифоли. Поэтому нами была произведена всесторонняя экспериментальная проверка возможности использования этого продукта в составах канифольных флюсов. Первые результаты экспериментов показали, что капрол физически хорошо совместим с канифолью и другими типовыми компонентами канифольных флюсов. При сплавлении с канифолью он образует однородную массу в виде пасты, которая хорошо растворяется в этиловом спирте и других растворителях канифоли. Результаты сравнительных испытаний на растекание дозированной навески сплава Вуда объемом 64 мм ^{3} по поверхности образцов из меди М1 представлены в табл. 1. Как следует из этих данных, капрол даже при содержании 5 % по массе значительно повышает флюсующую активность канифоли при низких температурах пайки. Высота капли уменьшилась с 1,63 до 1,22 мм. Соответственно площадь, занимаемая каплей, увеличилась с 76 до 104 мм^2, а краевой угол смачивания уменьшился с 36,7 до 24 град. С увеличением концентрации кубового продукта дистилляции капролактама до 10 % его влияние на флюсующую активность возросло еще больше. Высота капли уменьшилась до 1,02 мм, а краевой угол Θ – до 18,4 град.

Сравнение с другими активаторами, вводимыми в состав канифоли, – гидразином солянокислым и анилином солянокислым – показало более высокие результаты капрола в сравнении с типичными компонентами канифольных флюсов. Таким образом, установлено, что капрол обладает ярко выраженным активирующим действием в композиции с канифолью.

Для определения технологических свойств капрола в составах флюсов на основе канифоли были проведены эксперименты по исследованию влияния концентрации капрола на растекание припоев системы Pb–Sn, в частности, припоя ПОС 61. Полученные результаты приведены в виде графиков на рис. 1. Из графика следует, что увеличение содержания капрола до концентрации 30 % способствует повышению активности канифольного флюса, а при увеличении концентрации сверх 60 % активность резко снижается. При этом имеется такой интервал изменения концентрации, в котором площадь растекания сравнительно мало зависит от содержания капрола.

По полученным данным этот интервал концентраций находится в пределах от 10 до 50 % по массе. Его можно рекомендовать для выбора основы состава канифольного флюса.

Табл. 1. Влияние различных добавок на активность канифоли

Активатор и его концентрация, % по массе	Высота капли, мм	Площадь смачивания, мм^2	Краевой угол смачивания, град
1 Чистая канифоль	1,63	76	36,7
2 Гидразин солянокислый, 5 %	1,41	89	29,75
3 Анилин солянокислый, 5 %	1,32	96	26,7
4 Куб. продукт (КПД), 5 %	1,22	104	24
5 Куб. продукт (КПД), 10 %	1,02	124	18,4

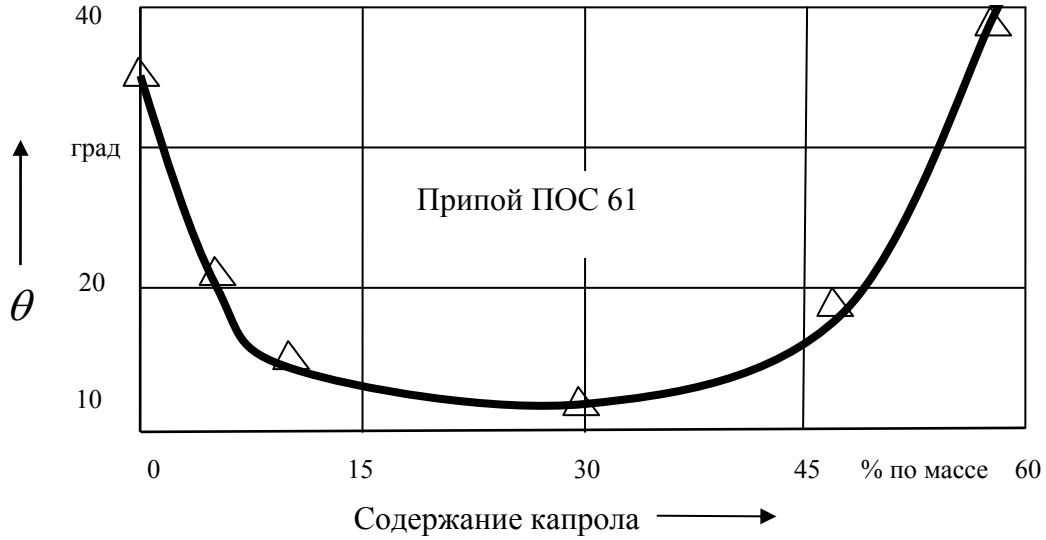


Рис. 1. Влияние концентрации капрола на величину краевого угла при растекании припоя

В практике пайки большую роль играют процессы заполнения зазоров расплавленным припоем. Поэтому для получения более полных данных о технологических свойствах флюсов, содержащих капрол, были проведены исследования заполнения горизонтальных зазоров. Результаты исследований приведены на рис. 2. При исследовании заполнения горизонтального зазора в качестве информационного параметра использовалась длина затекания L в Т-образном соединении пластин (рис. 3). Было установлено, что концентрации капрола в пределах 10…50 % по массе соответствует и хорошее заполнение зазора расплавленным припоем, т. к. длина затекания *L* возросла в 2…2,2 раза по сравнению с флюсом, не содержащим этого модификатора.

Дальнейшее экспериментальное исследование технологических свойств показало, что флюсы с капролом обеспечивают более широкий интервал активности за счет уменьшения обугливания канифоли при температурах выше 300 ^{o}C, легко растворяются в этиловом спирте, а их остатки оказывают слабое коррозионное воздействие на готовое изделие и легко удаляются после пайки.

Важным свойством капрола, полезным при использовании его в качестве флюсующей добавки, является пастообразная консистенция смеси этого продукта с канифолью. Такая консистенция способствует более быстрому растворению флюсующих ингредиентов

в спирте и улучшает условия для изготовления композиционных припоев.

На основании проведенных исследований был разработан ряд новых канифольных флюсов, содержащих капрол. Химический состав некоторых из них приведен в табл. 2.

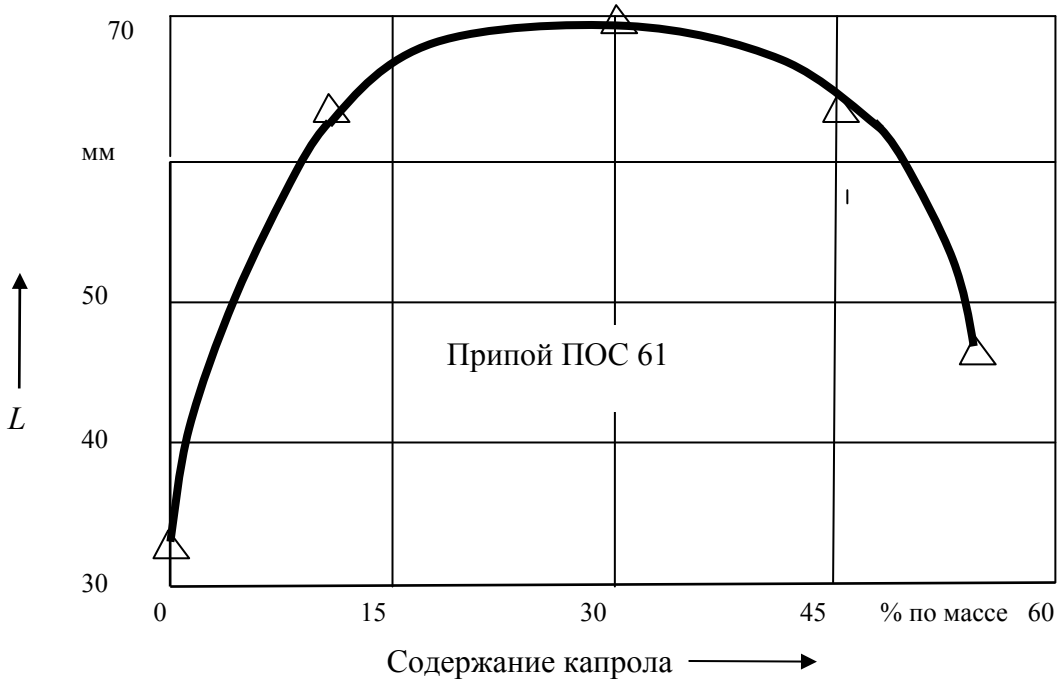


Рис. 2. Зависимость длины затекания припоя от содержания капрола в канифольном флюсе

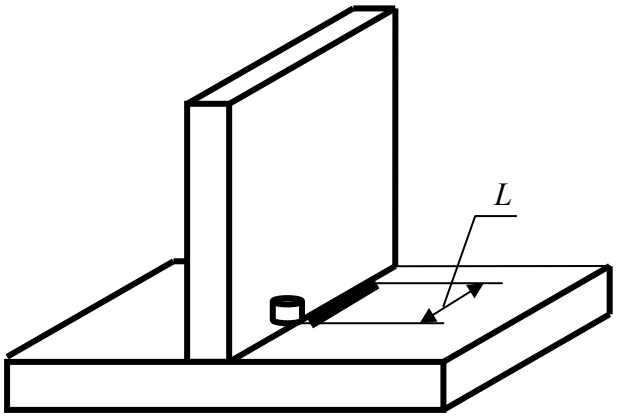


Рис. 3. Схема проведения испытаний на затекание припоя в горизонтальный зазор Т-образного соединения

В Республике Беларусь основными потребителями канифольных флюсов являются предприятия, выпускающие радиоэлектронную аппаратуру (ПО «Горизонт», ПО «Витязь», АО «Зенит»). Канифольные флюсы здесь чаще всего используют в виде чистой канифоли, в виде специальных прутков припоя, заполненных

внутри канифолью, а также в виде спиртового раствора канифоли. В последнем случае флюс содержит 30 % канифоли, остальное – спирт. Использование флюсов в виде спиртового раствора облегчает их нанесение на паяемую поверхность и дозирование, что в производственных потоках имеет большое значение, особенно в массовом производстве.

Табл. 2. Химический состав паяльных флюсов с капролом

Номер состава	Компонент	Содержание компонентов, вес. %
1	Канифоль Кубовый остаток колонны дистилляции капролактама (КПД)	65 35
2	Канифоль КПД Этиловый спирт	20 10 Остальное

Технологический процесс пайки с использованием флюса, содержащего капрол, прошел производственные испытания, а затем был внедрен на Могилевском заводе полимерных труб для пайки медных проводов системы оперативного дистанционного контроля предварительно изолированных труб.

Проведенный нами сравнительный анализ стоимости флюса показал, что при использовании кубового остатка имеет место снижение стоимости флюса на 35 %.

Как было показано выше, применение низкотемпературных оловянно-свинцовых припоев в различных отраслях промышленности ограничено из-за низких прочностных характеристик спаев. Одним из перспективных направлений повышения прочностных свойств паяных соединений является разработка композиционных припоев [4–6]. В таких припоях легкоплавкая матрица обеспечивает смачивание, монолитность и герметичность шва, а более тугоплавкий наполнитель – соответствующее повышение стойкости к различным видам нагрузки. Часто в такие композиции вводят и флюс, что обеспечивает значительное удобство при промышленном применении припоя. Поэтому нами было проведено экспериментальное исследование возможности использования капрола в виде модификатора по ТУ 113–03–05–12–85 в композиционном припое, состоящем из порошкообразного припоя ПОС 40, медного порошка марки ПМС-н (ГОСТ 4960–75) и флюса в виде смеси канифоли с капролом. Для экспериментальной оценки технологических свойств такой композиции нами были использованы статистические методы обработки экспериментальных данных, в частности, метод многофакторного эксперимента.

В данном исследовании для успешного решения поставленной задачи математическая модель должна отражать связь между содержанием ингредиентов, с одной стороны, и способностью припоя к смачиванию и заполнению паяльного зазора, с другой стороны. Поэтому в качестве факторов эксперимента были выбраны следующие параметры:

– содержание капрола во флюсе X_1;

– содержание наполнителя (медного порошка ПМС-н) X_2;

– содержание флюса в композиции X_3.

Указанные факторы удовлетворяют требованиям управляемости и однозначности, а также могут быть определены операционально, что позволяет произвести факторное планирование эксперимента и построить математическую модель процесса. Ввиду того, что для физической интерпретации математической модели необходима информация об эффектах взаимодействия факторов, при

определении коэффициентов уравнения регрессии был реализован полный факторный эксперимент, условия проведения которого представлены в табл. 3.

Табл. 3. Условия проведения многофакторного эксперимента

Фактор	Нижний уровень		Верхний уровень	
	Натуральное значение фактора	Кодированное значение фактора	Натуральное значение фактора	Кодированное значение фактора
Содержание капрола X_1	5 %	-1	30 %	+1
Содержание меди X_2	5 %	-1	20 %	+1
Содержание флюса X_3	4 %	-1	6 %	+1

Для количественной оценки технологичности нами в качестве функции отклика было принято отношение высоты капли к ее диаметру: $\psi = h/d$. Применение этого параметра было обосновано и предложено нами в [7, 8]. Такой выбор функции отклика обусловлен тем, что при проведении исследований любые изменения концентрации флюса (фактор X_3) приведут к изменению объема припоя, содержащегося в испытываемой навеске. Поэтому такие параметры, как радиус капли r, площадь смачивания S, высота капли h будут изменяться вместе с изменением объема припоя, что повлияет на точность оценки результатов. Использование параметра ψ, как это было показано в [7], исключает погрешность, связанную с изменением объема растекающегося припоя.

На основании проведенных экспериментов было получено усеченное уравнение регрессии, позволяющее оценить степень влияния концентрации каждого компонента на характер растекания, в виде

$$Y = 0{,}082 - 0{,}061X_1 + \\ + 0{,}027X_2 + 0{,}014X_1X_2. \qquad (1)$$

Проверка по критерию Фишера показала адекватность полученной математической модели (расчетное значение критерия Фишера – 2,78, табличное – 6,4). Из выражения (1) следует, что содержание флюса в рассмотренных пределах не оказывает существенного влияния на смачивание припоем паяемой поверхности. Можно также заметить, что более сильное влияние на процесс растекания оказывает содержание капрола.

Для физической интерпретации математической модели важна информация о взаимодействии факторов. В данной математической модели на процесс смачивания и растекания значительное влияние оказывает взаимодействие факторов X_1 и X_2. Это означает, что влияние капрола зависит от того, как велико содержание наполнителя в исследуемой композиции. При малом содержании наполнителя припой растекается практически так же, как обычная жидкость, поэтому влияние капрола проявляется таким же образом, как и при испытании обычного оловянно-свинцового припоя. При содержании медного порошка выше 20 % жидкость становится вязкой и плохо растекается даже с высокоактивным флюсом.

На втором этапе содержание флюса было принято постоянным в количестве 5 % и проведено исследование флюсующей активности системы с двумя переменными (X_1 и X_2). Результаты исследования показали, что при увеличении содержания наполнителя параметр ψ вначале остается практически постоянным. Начиная с концентрации наполнителя в 10 %, вплоть до 20 % параметр ψ постепенно возрастает (рис. 4). При увели-

чении его сверх значения 20 % было отмечено резкое ухудшение растекания, которое обусловлено значительным ростом вязкости припоя, находящегося в твердожидком состоянии. Таким образом, было установлено, что оптимальное содержание медного порошка не должно превышать 20 % .

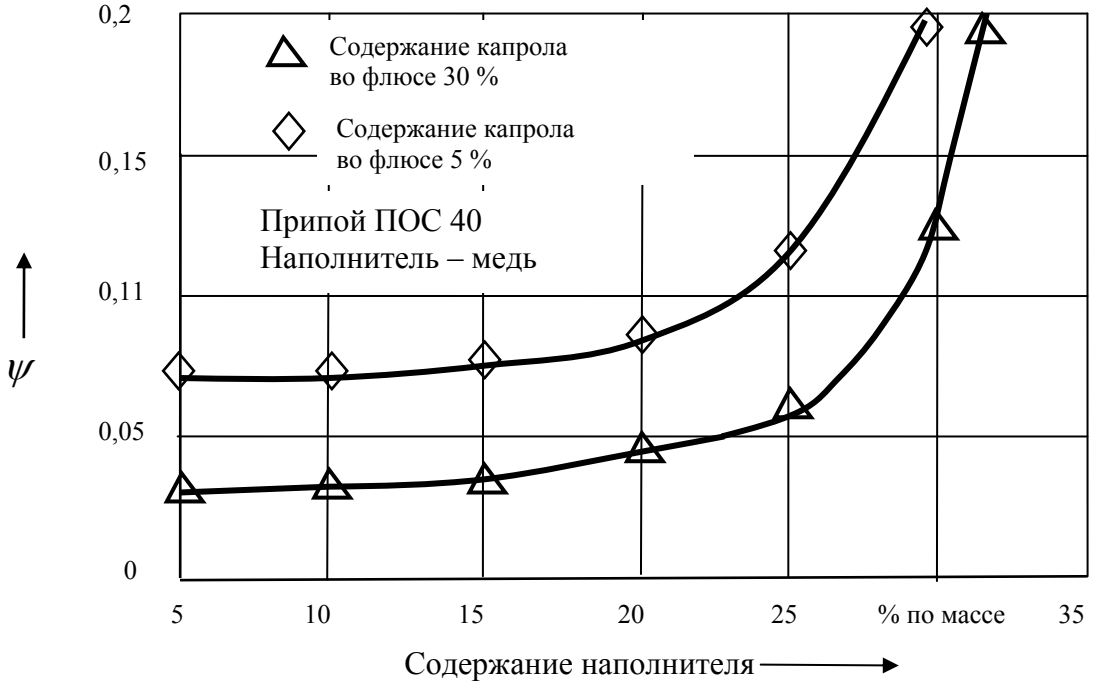


Рис. 4. Влияние содержания наполнителя и капрола на смачивание паяемого материала припоем

В данной работе механические испытания проводились с целью получения сравнительных данных по работоспособности разработанных технологических материалов. Механические свойства паяных соединений определяли при растяжении их на машине МР–0,5–1 со скоростью нагружения 18…20 мм/мин. Результаты приведены в табл. 4. Температура нагрева составляла 200…250 ^{o}C. Количество флюса во всех опытах составляло 5 % по массе. Состав флюса – 50 % по массе канифоль и 50 % капрол. Для получения сравнительных данных проводилась пайка и испытание аналогичных образцов, для которых в качестве флюса использовалась чистая канифоль, не содержащая модификатора капрол. В числителе – данные для чистой канифоли, в знаменателе – для канифоли, модифицированной капролом. Анализ приведенных в табл. 4 данных показывает, что при одновременном введении медного порошка в количестве 15 % по массе и 2,5 % капрола предел прочности паяного соединения повышается с 80 до 128 МПа, т. е. на 60 %. Ударная вязкость при этом также возрастает с 0,34 до 0,87 МДж/м^2 (в 2,56 раза). Таким образом, по результатам механических испытаний можно рекомендовать композиционный припой, состоящий из порошков припоя ПОС 40 (80 %), меди (15 %) и флюса в виде смеси канифоли с капролом (5 %) для широкого практического применения. При этом, благодаря наличию меди, можно ожидать заметного снижения электрического сопротивления материала припоя и паяного шва и успешно применять данный композиционный припой в соединениях электроустановок.

Результаты испытаний на статическое растяжение показали, что замена припоя ПОС 40 композиционным при одинаковом типе паяного соединения

повышает прочность и обеспечивает равнопрочность с основным металлом. Например, нахлесточное соединение без скоса кромок при пайке припоем ПОС 40 обеспечивает предел прочности 42,3 МПа, а с композиционным припоем его предел прочности увеличился до 61,1 МПа и разрушение произошло по основному металлу. Показатель прочности увеличился в 1,44 раза.

Табл. 4. Влияние наполнителя и состава флюса на механические характеристики паяных стыковых соединений

Номер опыта	Содержание компонентов, % по массе		Ударная вязкость, МДж/м^2	$\sigma_в$, МПа
	ПОС 40	ПМС-н		
1	95	0	0,34/0,39	80/98
2	90	5	0,37/0,44	85/95
3	85	10	0,43/0,51	95/110
4	80	15	0,6/0,87	114/128
5	75	20	0,46/0,71	100/119
6	70	25	0,22/0,34	60/77
7	65	30	0,1/0,19	20/33

Аналогичные испытания были проведены для паяных соединений различных типов при длительном их нагружении. Скорость установившейся ползучести за счет применения композиционного припоя уменьшилась на 73,8 %. По нашему мнению, возможной причиной такого повышения длительной прочности является насыщение припоя ПОС 40 медью.

Для паяных соединений ввиду их значительной химической неоднородности важным аспектом работоспособности является коррозионная стойкость. Химическая неоднородность приводит к тому, что паяное соединение становится бинарной, сильно поляризованной системой, где паяный шов и основной металл являются электродами [9]. Чтобы оценить влияние изменений, внесенных нами в технологию изготовления паяных соединений, были проведены сравнительные испытания на коррозионную стойкость. В качестве коррозионной среды использовали 3-процентный раствор NaCl (полное погружение образцов), а коррозионную стойкость оценивали по снижению прочности на срез после испытаний в течение трех месяцев в указанной среде. Результаты показали, что снижение прочности в результате коррозионных испытаний для соединений, паянных припоем ПОС 40 составило 38 %. В аналогичных соединениях, паянных композиционным припоем с 15-процентным содержанием медного порошка, снижение прочности составило 8 %.

Более высокая коррозионная стойкость соединений, паянных композиционным припоем, который содержит порошок меди, полностью соответствует представлениям о коррозионных процессах в паяных соединениях, изложенных в [10]. В главном выводе этой работы говорится, что основной путь повышения коррозионно-механической прочности паяных соединений заключается в понижении неустойчивости термодинамической системы за счет насыщения металла шва компонентами основного металла. Введение в припой порошка основного металла обеспечивает улучшение коррозионно-механических свойств паяных соединений.

Еще одним важным показателем работоспособности изделий является способность сопротивляться воздейст-

вию нагрузки, циклически изменяющейся во времени. В целом, паяные соединения имеют более высокую циклическую прочность, чем сварные. Однако, чтобы оценить степень влияния усовершенствований, разработанных нами, были проведены сравнительные испытания на циклическое нагружение. Для проведения испытаний нами были предложены конструкции образцов, способные реализовать схему нагружения при совместном действии изгиба с кручением. Такая схема нагружения давала возможность учесть касательные напряжения, а значит проводить испытания в условиях, более характерных для паяных соединений, которые чаще работают именно на срез по касательным напряжениям. Чтобы уменьшить расход дорогой меди на изготовление образца, его конструкция была усовершенствована путем введения вставок из паяемого материала (меди). Готовые паяные соединения испытывали на циклическую прочность методом изгиба с вращением на машине УКИ-10М с использованием метода Локати.

Величина предела выносливости испытываемых образцов, паянных припоем ПОС 40, составила 8,6 МПа. Величина предела выносливости образцов, паянных композиционным припоем с капролом при таких же условиях пайки, составила 11,4 МПа, т. е. в 1,3 раза больше.

Таким образом, исследование работоспособности паяных соединений показало, что разработанные нами рекомендации по активированию канифоли капролом обеспечивают повышение всех основных прочностных характеристик – статической, циклической и длительной прочности. Одновременно повышается стабильность показателей прочности при воздействии коррозионно-активной среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по пайке / Под ред. И. Е. Петрунина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1984. – С. 298–301.

2. **Хряпин, В. Е.** Справочник паяльщика / В. Е. Хряпин. – М. : Машиностроение, 1981. – С. 303–304.

3. **Тарасенко, И. В.** Новый флюс для низкотемпературной пайки меди / И. В. Тарасенко, Е. Ю. Латыпова // Сварочные технологии и оборудование. – 2005. – № 4. – С. 28–30.

4. **Чекунов, И. П.** Композиционные порошкообразные припои для пайки стали / И. П. Чекунов, В. М. Лякин // Сварочное производство. – 1990. – № 1. – С. 23–24.

5. **Груздев, Б. Л.** Использование порошкового припоя для вакуумной пайки арматуры гибких металлорукавов / Б. Л. Груздев, В. Г. Думанский, Л. С. Цыбина // Сварочное производство. – 1990. – № 2. – С. 7–8.

6. **Маркова, Ю. И.** Способы экономии припоев в паяльном производстве / Ю. И. Маркова, Н. Б. Певзнер // Сварочное производство. – 2002. – № 2. – С. 33–40.

7. **Латыпова, Е. Ю.** Анализ критериев оценки смачивающей способности материалов при испытаниях на паяемость / Е. Ю. Латыпова, Ю. А. Цумарев // Сварочное производство. – 2007. – № 2. – С. 11–13.

8. Способ определения краевого угла смачивания / В. К. Шелег [и др.]. – Решение о выдаче патента по заявке № а 20041110, МПК G 01 N 13/00 с приоритетом от 30.11.04.

9. **Жиликов, В. П.** Коррозионная стойкость припоев ВПр 13 и ВПр 17 / В. П. Жиликов, В. В. Новиков, В. В. Наймушина // Сварочное производство. – 1982. – № 5. – С. 22–23.

10. **Стеклов, О. И.** Коррозионно-механическая прочность паяных соединений углеродистых сталей / О. И. Стеклов, Л. Н. Лапшин // Сварочное производство. – 1978. – № 2. – С. 26–28.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 17.04.2008

Y. A. Tsumarev, T. S. Latun, V. K. Sheleg
Influence of the kaprol modifier on the rosin flux characteristics

The problem of rosin activity increasing in soldering flux is considered in the article. It has been suggested to use bottoms product of periodic distillation installation of kaprolactam as an activator. The suggested activator has been tested. The tests have showed that it improves pewter solder of copper and allows creating composition solders based on pewter which increases functionality characteristics of soldered joints.

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

УДК 535.31, 535.24; 535.6; 621.372

Л. И. Сотская, канд. физ.-мат. наук

РАСЧЕТ ПРОПУСКАНИЯ МИКРОСТРУКТУРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН С ПАЛЛАДИЕВЫМ ПОКРЫТИЕМ В АТМОСФЕРЕ ВОДОРОДА

Развит строгий метод интегральных уравнений для расчета мод микроструктурных оптических волокон (МОВ) с поглощающими покрытиями конечной толщины. На его основе исследовано влияние толщины палладиевого покрытия и внутренней структуры волокна на чувствительность пропускания МОВ к примеси водорода в атмосфере.

Сегодня интенсивно исследуются микроструктурные оптические волокна, волноведущие области которых образованы наборами микроскопических воздушных каналов в диэлектрической среде (оболочке волокна). Хорошо известно, что все моды таких волокон вытекают из волноводного канала [1, 2]. В результате они могут эффективно взаимодействовать с покрытием волокна, которое служит для придания механической прочности волокну и фильтрации мод оболочки, а в некоторых случаях может использоваться как чувствительный элемент оптического сенсора [3, 4]. В данной работе исследованы некоторые эффекты, связанные с таким взаимодействием. Основное внимание уделено вопросу максимизации чувствительности пропускания МОВ с палладиевым покрытием к концентрации водорода в атмосфере.

Свойства вытекающих мод МОВ анализировались в [1, 2, 5–8]. Однако использованные при этом методы расчета не позволяли исследовать практически важный вопрос о влиянии толщины покрытия волокна на модовые характеристики. В настоящей работе это ограничение устранено путем обобщения строгого метода интегральных уравнений [5, 6].

Поперечное сечение рассматриваемых волокон представлено на рис. 1. Оно содержит n круговых включений в круговой оболочке радиуса A. Радиус и диэлектрическая проницаемость l-го включения равны a_l и ε_l соответственно. Проницаемость оболочки равна ε_s. В области $A<\rho<B$ находится покрытие волокна. Оно имеет проницаемость ε_c. Волокно окружено однородной средой с проницаемостью ε_a. Величины ε_l $(l=1,2,...,n)$, ε_c и ε_a предполагаются комплексными.

Для расчета модовых характеристик МОВ с покрытиями конечной толщины воспользуемся интегральными уравнениями относительно поперечных компонент магнитного поля [6]. Эти уравнения формулируются в областях включений и в области $\rho>A$ (см. рис. 1), а в остальном пространстве они являются прямыми квадратурными формулами [6]. Искомые функции представим в виде

$$H_j=\sum_{\nu=-\infty}^{\infty}C_{j\nu}^{(l)}J_\nu(\chi_l\rho_l)\exp(i\nu\varphi_l),\quad (l=1,2,...,n); \tag{1}$$

$$H_j=\sum_{\nu=-\infty}^{\infty}[F_{j\nu}J_\nu(\chi_c\rho)+ G_{j\nu}H_\nu^{(2)}(\chi_c\rho)]\exp(i\nu\varphi_l),\quad (A<\rho<B); \tag{2}$$

$$H_j=\sum_{\nu=-\infty}^{\infty}D_{j\nu}H_\nu^{(2)}(\chi_a\rho)\exp(i\nu\varphi_l),\quad (\rho>B). \tag{3}$$

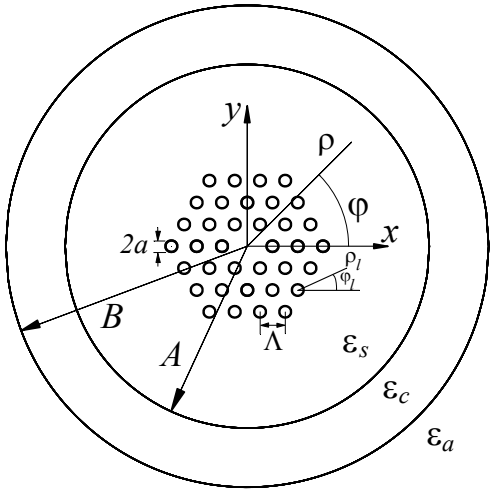


Рис. 1. Поперечное сечение микроструктурного оптического волокна с покрытием

Здесь $j = x, y$; $J_\nu(z)$ и $H_\nu^{(2)}(z)$ – цилиндрические функции; ρ_l и φ_l – локальные полярные координаты l-го включения; ρ и φ – глобальные полярные координаты (см. рис. 1); $C_{j\nu}^{(l)}, F_{j\nu}, G_{j\nu}, D_{j\nu}$ – неизвестные коэффициенты; $\chi_l = \sqrt{k_0^2\varepsilon_l - \beta^2}$, $\chi_c = \sqrt{k_0^2\varepsilon_c - \beta^2}$, $\chi_a = \sqrt{k_0^2\varepsilon_a - \beta^2}$; k_0 – волновое число вакуума, $k_0 = 2\pi\lambda_0^{-1}$; β – постоянная распространения моды.

Подстановка разложений (1)–(3) в интегральные уравнения [6] и последующее применение теоремы Грина и теоремы сложения цилиндрических функций Графа (подробно подобные выкладки описаны в [6]) позволяют выразить коэффициенты $F_{j\nu}$ и $G_{j\nu}$ через $D_{j\nu}$ и получить бесконечную однородную алгебраическую систему относительно комбинаций $C_{x\nu}^{(l)} \pm iC_{y\nu}^{(l)}$ $(l = 1, 2, \ldots, n)$ и $D_{x\nu} \pm iD_{y\nu}$. Если в рядах (1)–(3) удержать только слагаемые с $|\nu| \le m$, что эквивалентно решению интегральных уравнений методом квадратур, то алгебраическая система приобретает размерность $M \times M$, где $M = 2(n+1)(2m+1)$. Значение комплексного параметра β, соответствующее порядку редукции m, находится из условия равенства нулю определителя этой системы. Последующее построение полей мод не вызывает затруднений [5–7].

Предположим, что выполнено условие $\mathrm{Re}(k_0^2\varepsilon_a - \beta^2) < 0$. Данное неравенство означает, что поле любой моды МОВ экспоненциально убывает при удалении от волокна. В результате затухание моды будет определяться поглощением излучения в средах [5]. В дальнейшем будем считать, что существенное поглощение имеет место только в оболочке волокна. В этом случае, как свидетельствуют расчеты, коэффициенты затухания высших мод МОВ более чем на два порядка превосходят коэффициент затухания его основной моды. Это объясняется более сильным взаимодействием высших мод с поглощающим покрытием, поскольку поле основной моды сосредоточено главным образом в пределах внутреннего кольца включений, а поля высших мод – между включениями и покрытием [9]. Данная особенность позволяет считать исследуемые МОВ квазиодномодовыми и судить об их пропускании по коэффициенту затухания основной моды $\mathrm{Im}\,\beta$.

Обратимся к МОВ с палладиевым покрытием, которые могут использо-

ваться в качестве чувствительного элемента датчика примеси водорода в атмосфере [9]. Воспользуемся моделью [10], в которой зависимость диэлектрической проницаемости палладия от концентрации водорода C дается формулой $\varepsilon_c(C) = f(C)\,\varepsilon_c(0)$, где $f(C)$ – некоторая вещественная нелинейная функция, не зависящая от параметров МОВ. Тогда нетрудно показать, что при оптимальном выборе длины отрезка волокна с палладиевым покрытием L из условия $2L\,\mathrm{Im}\,\beta = 1$, где β – постоянная распространения основной моды, относительное приращение интенсивности света на выходе волокна $\Delta I\, I^{-1}$, соответствующее приращению концентрации ΔC, составит $\Delta I\, I^{-1} = -\eta \Delta C(\partial f / \partial C)$. Здесь $\eta = [\mathrm{Im}(\varepsilon_c \partial\beta / \partial\varepsilon_c)(\mathrm{Im}\,\beta)^{-1}]_{C=0}$ – коэффициент, связывающий чувствительность датчика с геометрией сечения МОВ.

Рис. 2 позволяет судить о возможностях максимизации $|\eta|$ за счет выбора параметров МОВ. При расчетах использованы значения $N_c = 2$; $\varepsilon_c(0) = -14,4 - i14,6$; $\lambda_0 = 0,62$ мкм; $a = K \cdot 1,43$ мкм; $\Lambda = K \cdot 8,54$ мкм; $A = K \cdot 61,5$ мкм. Множитель $K < 1$ учитывает изменение размеров МОВ при его локальной перетяжке (изготовлении тейпера [11]) в предположении сохранения подобия поперечного сечения волокна. Указанные значения соответствуют микроструктурным волокнам с большой площадью пятна моды, технология изготовления которых разработана в Мексиканском центре оптических исследований (Леон, Мексика) [7].

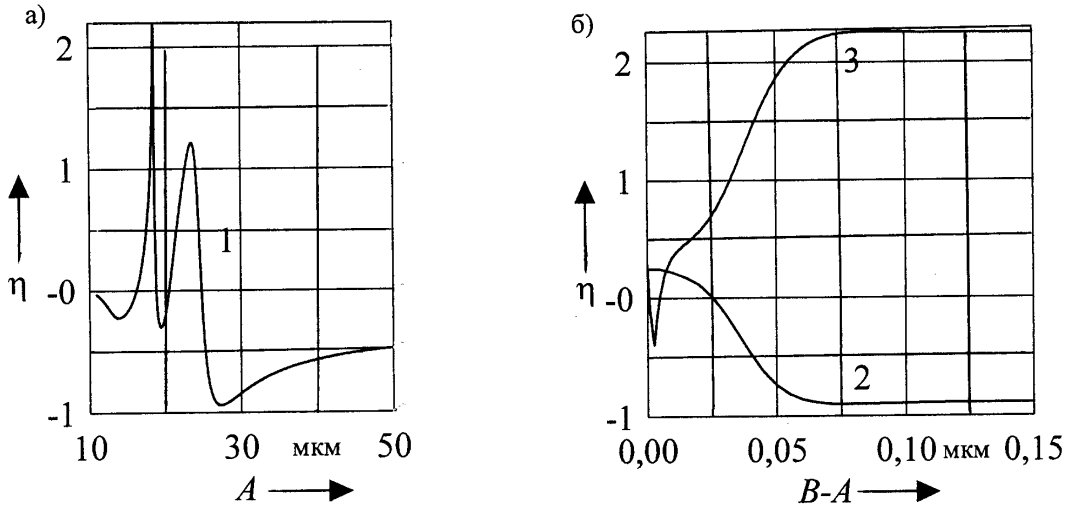


Рис. 2. Зависимости коэффициента чувствительности η от радиуса оболочки МОВ (а) и от толщины палладиевого покрытия (б): 1 – зависимость $\eta(A)$ при $B - A = 0,2$ мкм; 2 и 3 – зависимости $\eta(B - A)$ при значениях $A = 18,58$ мкм и $A = 27,18$ мкм, соответствующих абсолютным минимуму и максимуму зависимости 1

Зависимость $\eta(A)$ на рис. 2 построена в представляющем практический интерес диапазоне $0,2 \le K \le 1,0$. Она соответствует случаю $B - A \to \infty$, т. к. пленка палладия толщиной $0,2$ мкм не прозрачна. Эта зависимость, в отличие от аналогичных зависимостей для стандартных одномодовых волокон с палладиевым покрытием [10], является немонотонной. Ее вид объясняется вытеканием основной моды МОВ из волноводного канала, что приводит к возникновению стоячих волн между включениями и покрытием. Кривые 2 и 3 (см. рис. 2)

иллюстрируют связь коэффициента η с толщиной покрытия для экстремальных точек зависимости $\eta(A)$. Слабо выраженные максимумы $|\eta|$ наблюдаются при $B - A = 0{,}080$ мкм и $B - A = 0{,}087$ мкм для кривых 2 и 3 соответственно, а при $B - A \to 0$ коэффициент η обращается в нуль. Представленные результаты позволяют заключить, что известные датчики с палладиевыми покрытиями толщиной несколько нанометров [9, 10] обладают сравнительно низкой чувствительностью, которая может быть повышена более чем на порядок за счет оптимизации структуры МОВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Multipole method for microstructured optical fibers. I. Formulation / T. P. White [etc.] // J. Opt. Soc. Am. B. – 2002. – Vol. 19, № 10. – P. 2322–2330.

2. Multipole method for microstructured optical fibers. II. Implemntation and results / B. T. Kuhlmey [etc.] // J. Opt. Soc. Am. B. – 2002. – Vol. 19, № 10. – P. 2331–2340.

3. **Окоси, Т.** Волоконно-оптические датчики / Т. Окоси. – Л. : Энергоатомиздат, 1990. – С. 43–46.

4.Fringe generation with non-uniformly coated long-pariod fiber gratings / I. Del Villar [etc.] // Opt. Express. – 2007. – Vol. 15, № 15. – P. 9326–9340.

5.**Sotsky, A. B.** Modes of capillary optical fibers / A. B. Sotsky, L. I. Sotskaya // Opt. Commun. – 2004. – Vol. 230, № 1–3. – P. 57–69.

6. **Сотский, А. Б.** Метод интегральных уравнений в теории микроструктурных оптических волокон / А. Б. Сотский, Л. И. Сотская // ЖТФ. – 2004. – Т. 74, вып. 2. – С. 32–40.

7. Large mode area holey fibers with a few air channels in cladding: modeling and experimental investigation of the modal properties / V. P. Minkovich [etc.] // J. Opt. Soc. Am. B. – 2004. – Vol. 21, № 6. – P. 1161–1169.

8. Comparison of different methods for rigorous modeling of photonic crystal fibers / M. Szpulak [etc.] // Opt. Express. – 2006. – Vol. 14, № 12. – P. 4699–5714.

9. Modeling of holey feber tapers with selective transmission for sensor applications / V. P. Minkovich [etc.] // J. Lightwave Technol. – 2006. – Vol. 24, № 11. – P. 4319–4328.

10. Microstructured optical fiber coated with thin films for gas and chemical sensing / V. P. Minkovich [etc.] // Opt. Express. – 2006. – Vol. 14, № 18. – P. 8413–8418.

11. In-line highly sensitive hydrogen sensor based on palladium-coated single-mode tapered fibers / J. Villatoro [etc.] // IEEE Sensors Journal. – 2003. – Vol. 3, № 4. – P. 533–537.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 08.05.2008

L. I. Sotskaya
Calculation of the transmittance of microstructured optical fibers with palladium cover in hydrogen atmosphere

The rigorous method of integral equations for calculation the modal properties of microstructured optical fibers with absorbing covers of finite thickness has been developed. The influence of palladium cover thickness and the microstructured fiber inner structure on the sensitivity of the fiber transmittance to hydrogen concentration in atmosphere has been investigated.

СТРОИТЕЛЬСТВО. АРХИТЕКТУРА

УДК 621.828.6

Е. И. Берестов, д-р техн. наук, проф., Р. И. Кутынко

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЗАНИЯ ГРУНТА

Приведено описание экспериментальных установок для исследования резания грунта. Рассмотрены особенности резания вертикальных массивов грунтов и приведены зависимости для расчета геометрических и силовых параметров резания вертикальных стенок.

Введение

Резание является одним из наиболее распространенных видов разработки грунта. По такому принципу работают многие виды землеройных машин. К ним относятся: фрезерные, щелерезные машины, траншеекопатели со скребковыми рабочими органами, рабочие органы машин для подземной разработки полезных ископаемых, многие виды сельскохозяйственной техники и т. д. Резание является составной частью рабочих процессов таких распространенных машин, как скреперы, автогрейдеры, бульдозеры, экскаваторы.

Несмотря на длительную историю развития землеройной техники, на современном этапе продолжается совершенствование их рабочего оборудования с целью снижения энергоемкости самого процесса разработки грунтов, соответственно повышаются требования и к совершенствованию теории их рабочих процессов. В первую очередь, это обусловлено относительно высокими затратами энергии на этот вид работ при отсутствии тенденций к их снижению. Поэтому необходимость дальнейшего изучения процесса резания грунта с целью создания экономичных рабочих органов является важным и актуальным направлением исследований в этой области.

В условиях интенсивного развития вычислительной техники, позволяющей осуществлять сложные вычисления, о которых еще не так давно можно было только мечтать, экспериментальные исследования не утратили своей важности. Только с их помощью можно всесторонне рассмотреть характер разрушения грунта, получить необходимые численные значения исследуемых параметров, подтвердить или опровергнуть результаты теоретических исследований и сами теоретические положения.

Экспериментальные исследования

Экспериментальные исследования проводились в грунтовом канале кафедры «Строительные, дорожные, подъемно-транспортные машины и оборудование» и на установке Ю. А. Ветрова.

Грунтовый канал состоит из ванны с песком, тензометрической тележки, на которой устанавливается исследуемый рабочий орган, тяговой станции и измерительной тензометрической аппаратуры. Основным элементом грунтового канала является тензометрическая тележка, общий вид которой изображен на рис. 1.

Тензометрическая тележка имеет основную 1 и тензометрическую 2 рамы. На тензометрической раме 2 устанавливается модель исследуемого рабочего органа 3. Основная рама 1 имеет колеса 4 и перемещается по направляющим 5. Электродвигатель 6 и редук-

тор 7 служат для установки тензометрической рамы 2 на требуемую высоту. Тензометрическая рама 2 установлена на тензобалочках 8 и 9, расположенных в передней и задней частях основной рамы. При помощи этих тензобалочек замеряется нормальная составляющая сопротивления резанию. Касательная составляющая замеряется при помощи тензобалочки 10.

Экспериментальная установка является универсальной, так как с ее помощью можно исследовать все виды резания грунта. Это достигается за счет установки рабочего органа на специальную стойку, на которой наклеены тензодатчики 11 для замера боковой составляющей сопротивления резанию.

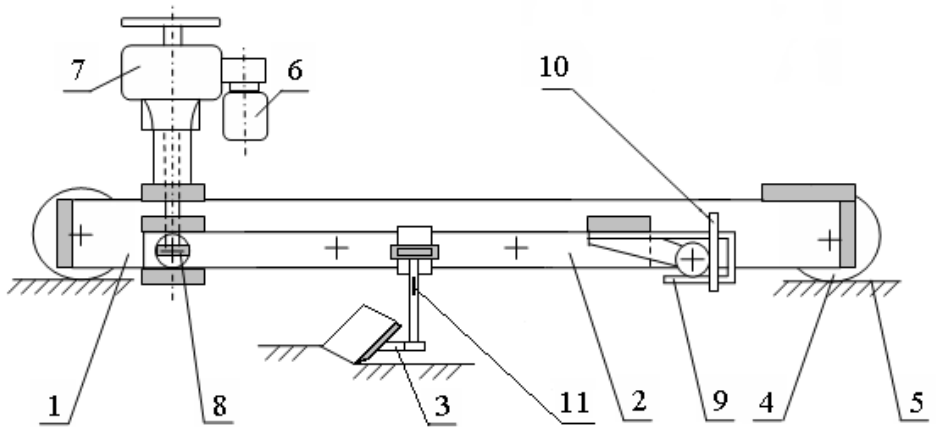


Рис. 1. Тензометрическая тележка

Установка позволяет записывать на осциллограмму следующие параметры процесса резания:

– касательную составляющую сопротивления резанию;

– нормальную составляющую сопротивления резанию;

– боковую составляющую сопротивления резанию;

– отметки времени в миллисекундах.

Для изучения физической природы сдвигов и фиксации с помощью видеокамеры процесса разрушения грунта проводились дополнительные исследования на установке Ю. А. Ветрова, у которой одна из боковых стенок была выполнена из стекла. Такие визуальные исследования позволяют в полной мере увидеть картину разрушения грунта, наглядно изучить особенности взаимодействие ножа с грунтом и характер перемещения грунта по ножу при различных видах резания.

При проведении эксперимента процесс резания грунта фиксировался на видео- и фотокамеру, что позволило в дальнейшем более детально изучить механизмы разрушения грунта.

Определение геометрических и силовых характеристик процесса резания вертикальных стенок

Одним из наименее изученных видов является резание вертикальных стенок в забое, хотя такой вид резания встречается при работе многих типов машин. Он имеет свои особенности, которые необходимо учитывать при проектировании рабочих органов, работающих по такому принципу.

Главной отличительной особенностью этого вида резания является то, что отделяемый от массива грунт выносится из зоны разрушения под действием собственного веса и практически не участвует в процессе резания. Следовательно, вес грунта не будет оказывать влияния и на возникающее сопротивление резанию. Такое заключение справедливо только в том случае, если режущий элемент расположен достаточно высоко над подошвой забоя. Если же режущий элемент расположен в достаточной близости от подошвы забоя, то при расчете сопротивления резанию также следует учесть влияние осыпавшегося грунта. Поскольку такое расположение режущих элементов характерно для некоторых типов рабочих органов, этот тип резания следует исследовать с замером дополнительных величин, характеризующих размеры грунта в перемещаемой призме волочения и боковых валиках, остающихся в забое после прохождения ножа.

Другой отличительной особенностью такого вида резания является влияние веса грунта, расположенного в верхних слоях разрабатываемого массива, на резание нижележащего слоя грунта. Поскольку нижележащие слои грунта испытывают дополнительное давление со стороны вышележащих слоев, повышается их устойчивость, что приводит к увеличению угла сдвига. Это хорошо заметно на рис. 2, а, где стрелками обозначена площадка скольжения, выходящая на вертикальную стенку забоя.

а) б)

Рис. 2. Разрушение грунта при резании вертикального массива грунта

Для определения сопротивления резанию необходимо знать геометрические параметры призмы волочения. Получить расчетные зависимости, позволяющие определить параметры призмы волочения и боковых валиков, можно на основе экспериментальных данных и из следующих рассуждений.

При установившемся процессе такого вида резания срезаемый грунт осыпается на подошву забоя и располагается перед ножом в виде треугольной призмы волочения (рис. 3), перпендикулярной поверхности ножа и наклоненной к горизонту под углом естественного откоса φ. Призма волочения смеща-

ется ножом в сторону от забоя, формируя после ножа боковые валики. Такое смещение будет происходить при выполнении условия

$$90 - \alpha > \omega,$$

где α – угол резания; ω – угол внешнего трения грунта.

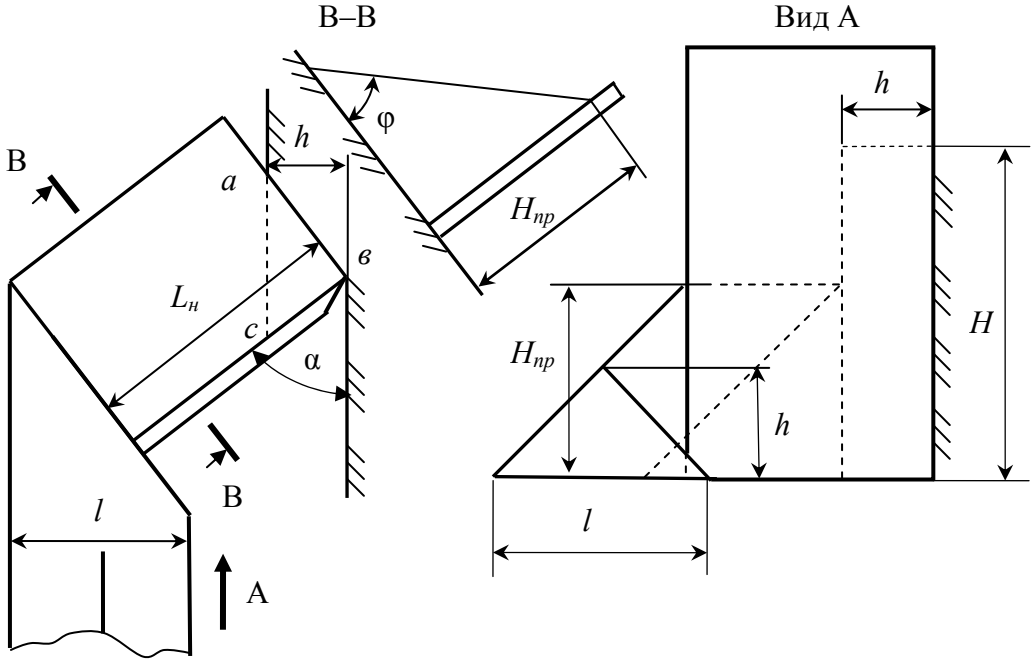


Рис. 3. Расчетная схема резания при движении режущего элемента по подошве забоя

При этом частица грунта переместится по всей длине ножа $L_н$ тогда, когда нож пройдет путь L, связанный с длиной ножа зависимостью

$$L \cdot \cos\alpha = L_н,$$

что видно из треугольника *авс*.

В этом случае нож срежет объем грунта

$$V = L \cdot H \cdot h,$$

где H – высота срезаемого слоя; h – толщина срезаемой стружки.

Объем призмы волочения

$$V_{пр} = \frac{L_н \cdot H_{пр}^2}{2 \cdot \mathrm{tg}\,\varphi},$$

где $H_{пр}$ – искомая высота призмы волочения.

Ее величину можно найти из соотношения объемов срезаемого грунта и грунта, находящегося в призме волочения:

$$V \cdot k_р = V_{пр},$$

где $k_р$ – коэффициент разрыхления.

Тогда окончательно будем иметь

$$H_{пр} = \sqrt{\frac{2 \cdot H \cdot h \cdot k_р \cdot \mathrm{tg}\,\varphi}{\cos\alpha}}.$$

Таким образом, определены все геометрические размеры призмы грунта, перемещаемой ножом.

Размеры боковых валиков можно найти из аналогичных рассуждений. Поскольку площади поперечного сечения призмы волочения и боковых валиков равны, то из уравнения

$$\frac{H_{пр}^2}{2 \cdot \mathrm{tg}\,\varphi} = \frac{h^2}{\mathrm{tg}\,\varphi}$$

можно определить высоту боковых валиков

$$h = 0,707 \cdot H_{пр}.$$

Длина боковых валиков будет равна

$$l = \frac{2 \cdot h}{\mathrm{tg}\,\varphi}.$$

Известные геометрические размеры призмы волочения и боковых валиков позволяют перейти к расчету силовых параметров, характеризующих резание вертикальных массивов грунта при перемещении ножа по подошве забоя [5].

Рассмотрим силы, действующие при резании вертикальной стенки.

При резании вертикальной стенки угол сдвига увеличивается с увеличением глубины (см. рис. 2, б). Это связано с увеличением давления верхнего слоя грунта, что приводит к повышению устойчивости грунта. При малой глубине резания этот эффект является слабовыраженным и не вносит существенной погрешности при расчете. В связи с этим будем считать угол сдвига постоянным по всей глубине.

Рассмотрим силы, действующие на вырезаемый объем грунта в горизонтальной плоскости *XOY* (рис. 4): $E_{\max}$ – реакция со стороны неразрешенного массива, отклоненная от нормали под углом внутреннего трения грунта ρ; $R_{\max}$ – реакция со стороны ножа, отклоненная от нормали под углом внешнего трения ω; C_{OB} – сила сцепления грунта.

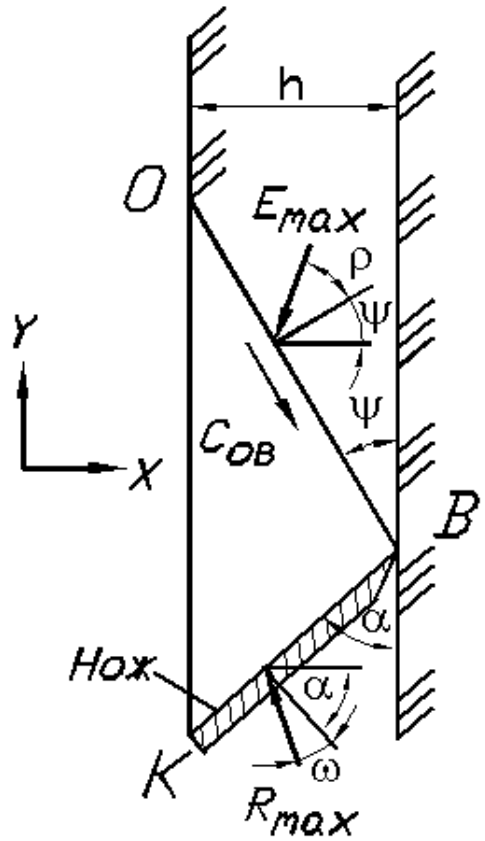


Рис. 4. Расчетная схема для определения угла сдвига

Спроецировав действующие силы на оси X и Y, получим уравнения:

$$\begin{cases} \sum X = -R_{\max} \cdot \sin(\alpha+\omega) - \\ -E_{\max} \cdot \cos(\psi+\rho) + C_{OB\max} \cdot \sin\psi = 0; \\ \sum Y = R_{\max} \cdot \sin(\alpha+\omega) - \\ -E_{\max} \cdot \sin(\psi+\rho) - C_{OB\max} \cdot \cos\psi = 0. \end{cases}$$

Выразив из системы неизвестные $E_{\max}$ и $R_{\max}$, получим уравнения:

$$E_{\max} = \frac{1}{\sin(\alpha+\omega+\psi+\rho)} \times$$
$$\times\left[-C_{OB\max} \cdot \cos(\alpha+\omega+\psi)\right];$$
$$R_{\max} = \frac{1}{\sin(\alpha+\omega)} \times$$
$$\times\left[E_{\max} \cdot \sin(\psi+\rho) + C_{OB\max} \cdot \cos\psi\right].$$

Переменные $E_{\max}$ и $R_{\max}$ зависят от угла скольжения ψ на данном этапе неизвестного. Угол сдвига ψ можно определить, зная приведенное давление на площадку скольжения q по методике из [3]. Приведенное давление q зависит от действительного давления на площадку сдвига q' и давления связности H. В общем виде формулу для определения q' можно записать как

$$q_{\max} = \frac{E_{\max}}{S_{пл}} + \frac{c}{\sin\rho},$$

где $S_{пл}$ – площадь площадки скольжения, м^2; c – сцепление грунта, Па; ρ – угол внутреннего трения грунта.

При выполнении условия

$$q \geq H \cdot \frac{\cos\rho}{1-\sin\rho}$$

существуют решения с сингулярной точкой, для которых расчетный угол сдвига определится по формуле

$$\psi_p = \frac{\pi}{4} - \frac{\rho}{2} - \frac{c \cdot \mathrm{tg}\,\rho}{2} \cdot \ln A,$$

где

$$A = \frac{q}{p} \cdot \frac{1-\sin\rho}{\cos\rho}.$$

Если условие не выполняется, то существуют разрывные решения, для которых

$$\psi_p = \frac{3\pi}{4} - \frac{\rho}{2} - \Delta p,$$

где Δp – угол, рассчитываемый по углу отклонения δ_p приведенного давления на площадке разрыва:

$$\Delta p = \arcsin\frac{\sin\delta_p}{\sin\rho}.$$

При этом

$$\delta_p = -\arccos\left[\frac{\cos\rho}{2} \cdot \frac{(1+A)}{\sqrt{A}}\right].$$

Уравнения позволяют найти величину угла сдвига при известном приведенном давлении, действующем на площадку в грунте в момент сдвига.

Определим силу, действующую в направлении движения ножа:

$$F_1 = R \cdot \sin(\omega+\alpha).$$

Приведенный выше расчет позволяет определить геометрические и силовые параметры процесса резания вертикального массива, когда верхняя грань ножа находится на поверхности, а высота ножа достаточно мала, чтобы принять угол сдвига постоянным по всей высоте ножа.

Чтобы получить зависимость угла резания от глубины, следует поделить нож по высоте на некоторое количество участков, достаточно малых по высоте. На каждом из участков условно принимаем угол сдвига постоянным. Влияние вышележащих слоев на нижние учитываем следующим образом. Давление на площадку сдвига увеличиваем на величину

$$Q = \gamma \cdot g \cdot h \cdot \xi,$$

где γ – объемная плотность грунта; g – гравитационная постоянная, g = 9,81 м/с^2;

h – сумма высот всех вышележащих участков; ξ – коэффициент бокового давления.

Повышение давления на площадке сдвига приведет к уменьшению угла сдвига, что подтверждается экспериментальными исследованиями (см. рис. 2, б).

Далее рассмотрим силы, действующие на призму волочения (рис. 5).

На призму действуют силы: $E_{пр}$ – реакция со стороны неразрушенного массива, отклоненная от нормали под углом внутреннего трения ρ; $R_{пр}$ – реакция со стороны ножа, отклоненная от нормали под углом внешнего трения ω; T – сила трения призмы о подошву забоя.

Силу трения определим по формуле

$$T = G_{пр} \cdot \operatorname{tg} \rho = V_{пр} \cdot \gamma \cdot \operatorname{tg} \rho.$$

Для определения двух оставшихся сил спроецируем все силы, действующие на призму, на оси координат X и Y:

$$\begin{cases} \sum X = T \cdot \sin\psi - R_{пр} \cdot \cos(\omega + \alpha) - \\ - E_{пр} \cdot \cos(\rho + \psi) = 0; \\ \sum Y = -T \cdot \cos\psi + R_{пр} \cdot \sin(\omega + \alpha) - \\ - E_{пр} \cdot \sin(\rho + \psi) = 0. \end{cases}$$

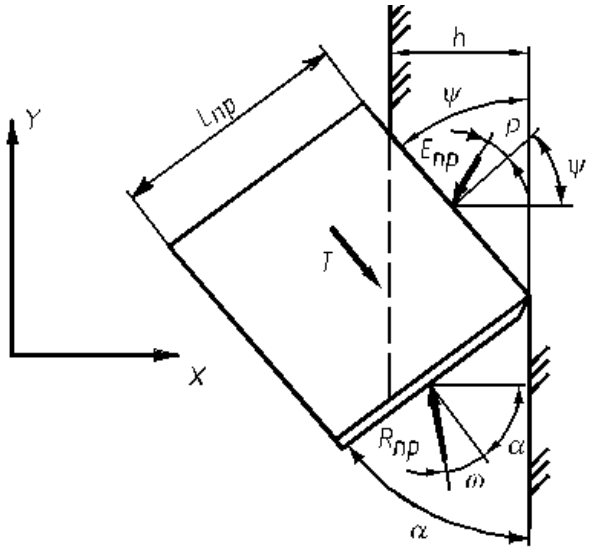


Рис. 5. Расчетная схема для определения сил, действующих на призму волочения

Выразим из системы неизвестные $R_{пр}$ и $E_{пр}$:

$$R_{пр} = \frac{T \cdot \cos(\omega + \alpha - \psi)}{\sin(\omega + \alpha + \rho + \psi)};$$

$$E_{пр} = \frac{-T \cdot \cos(\omega + \alpha + \psi)}{\sin(\omega + \alpha + \rho + \psi)}.$$

Сила, действующая на нож в направлении движения ножа:

$$F_2 = R_{пр} \cdot \sin(\omega + \alpha).$$

Суммарное усилие сопротивления резанию:

$$F = F_1 + F_2 = (R + R_{пр}) \cdot \sin(\omega + \alpha).$$

Теоретические исследования

Произведем расчет резания грунта по предложенной методике.

Исходные данные:

– высота ножа H = 70 мм;

– ширина ножа B = 30 мм;

– углы резания α = 25, 35, 45, 55°;

Характеристики грунта:

– угол внутреннего трения ρ = 28°;

– угол внешнего трения ω = 26°;

– плотность грунта $\rho_{гр} = 1{,}8$ т/м^3.

– сцепление грунта $C = 50$ кПа.

В результате расчетов получили зависимости, представленные на рис. 6 и 7.

Из графиков (см. рис. 6) видно, что угол сдвига увеличивается с увеличением глубины. Это подтверждает сделанное ранее предположение о влиянии веса верхних слоев грунта на нижние. Также можно заметить, что с увеличением угла резания угол сдвига уменьшается, что хорошо согласуется с существующими теориями резания грунта.

На рис. 7 приведена зависимость сопротивления резанию от угла резания, из которой видно, что наименьшее значение сопротивления резанию достигается при значении угла резания $\alpha = 45°$.

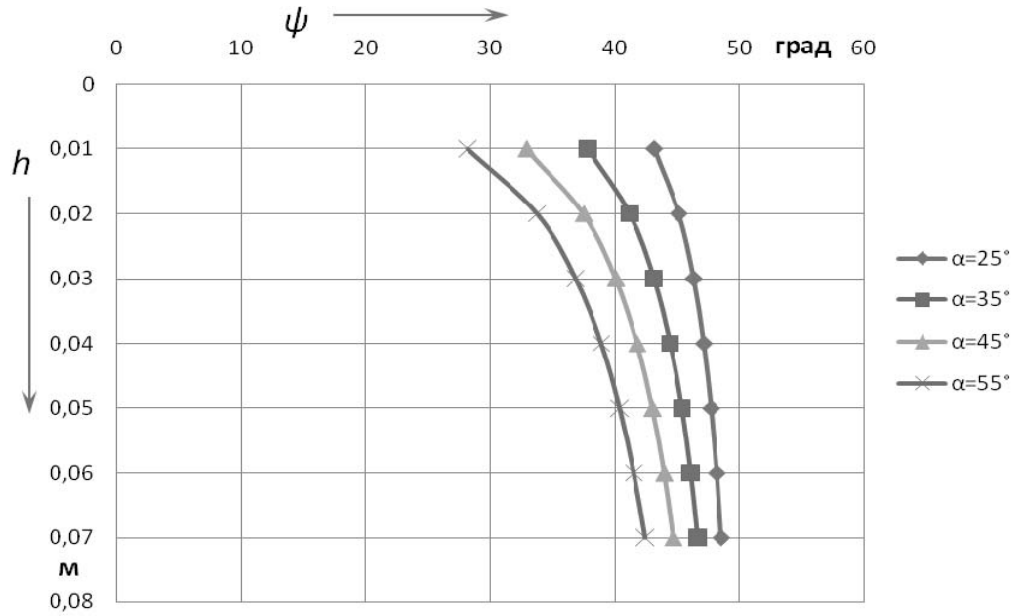


Рис. 6. Зависимость угла сдвига ψ от глубины h

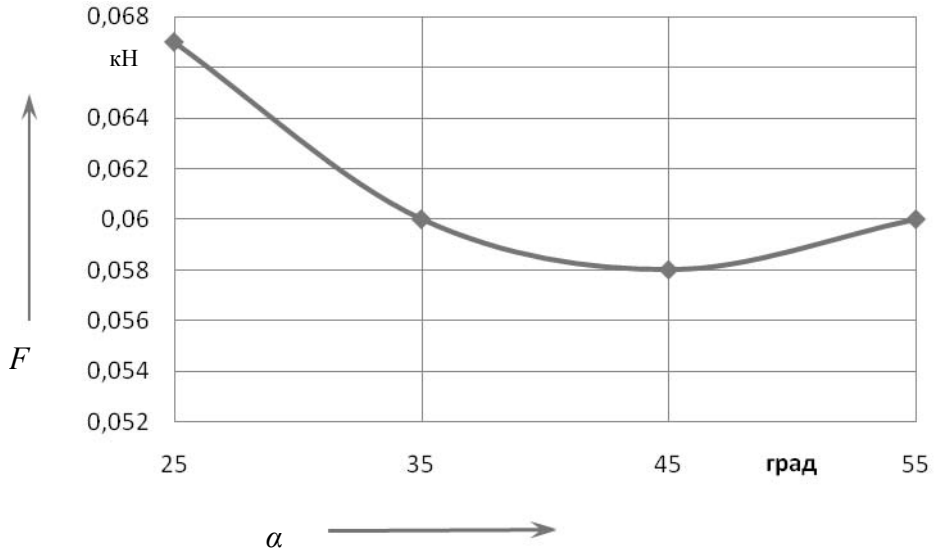


Рис. 7. Зависимость сопротивления F от угла резания α

Заключение

Проведенные исследования позволили выяснить физическую картину разрушения грунта при резании вертикального массива, получить зависимости для определения численных значений силовых и геометрических параметров и создать базу для разработки методики расчета резания вертикальных стенок в грунте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Зеленин, А. Н.** Лабораторный практикум по резанию грунтов / А. Н. Зеленин, Г. Н. Карасев, Л. В. Красильников. – М. : Высш. шк., 1969. – 312 с.

2. **Ветров, Ю. А.** Резание грунтов землеройными машинами / Ю. А. Ветров. – М. : Машиностроение, 1971. – 360 с.

3. **Берестов, Е. И.** Разрушение грунта плоским клином / Е. И. Берестов // Интерстроймех–2002 : тез. докл. междунар. конф. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2002. – С. 41–47.

4. **Берестов, Е. И.** Аналитическая модель косого резания грунта / Е. И. Берестов, А. П. Стригоцкая // Строительные и дорожные машины. – 2003. – № 4. – С. 42–46.

5. **Берестов, Е. И.** Современные проблемы и методы расчета сопротивления грунта резанию (обзор) / Е. И. Берестов, А. П. Смоляр // Изв. Нац. акад. наук Беларуси. – 2005. – № 3. – С. 44–49.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 10.04.2008

E. I. Berestov, R. I. Kutynko
Experimental investination of cutting the soil

The paper presents the description of experimental plants for soil cutting research. The peculiarities of vertical massif cutting of soil are considered and dependences for force and geometric parameters calculation are given in the paper.

УДК 624.011/.014

А. А. Васильев, канд. техн. наук

КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ В ВОЗДУШНЫХ СРЕДАХ

Приведены результаты изучения методами pH- и карбометрии коррозионного поведения основных типов железобетонных конструкций (ЖБК) в контакте с атмосферой для различных сроков и условий эксплуатации. На их основе разработан комплексный метод оценки и прогнозирования технического состояния ЖБК, эксплуатирующихся в различных воздушных средах. Предлагаемый метод является новым дополнительным неразрушающим методом обследования длительно эксплуатируемых в различных воздушных средах железобетонных конструкций.

Введение

Основную долю конструкций зданий и сооружений, эксплуатируемых в настоящее время, составляют ЖБК различных типов. В процессе их эксплуатации возникают различного рода повреждения. Значительная часть повреждений обусловлена изменением во времени свойств материалов, снижающим их качественные и эксплуатационные характеристики и долговечность зданий и сооружений в целом. Поскольку большинство ЖБК эксплуатируются в различных атмосферных условиях, одной из основных причин появления и развития их коррозионных повреждений является карбонизация. Развиваясь во времени, она вызывает нейтрализацию бетона, т. е. потерю им защитных свойств по отношению к арматуре, что в соответствующих условиях способствует развитию процессов коррозии стальной арматуры различной интенсивности. Развитие коррозионных процессов в арматуре обусловлено, в первую очередь, пористой структурой бетона и, как следствие, его проницаемостью. И лишь значительная толщина защитного слоя и щелочная среда самого бетона обеспечивают ему наличие защитных свойств по отношению к арматуре. Однако эти два фактора имеют различную динамику во времени. Так, если толщина защитного слоя остается неизменной на протяжении всего срока эксплуатации конструкций, то химические свойства цементного камня бетона постоянно изменяются, приводя к постепенному снижению щелочности от поверхности в глубь конструкции. Таким образом, процесс коррозионного разрушения бетона конструкции начинается с ее поверхности. В первую очередь, теряет свои эксплуатационные свойства бетон защитного слоя. Изменение его структуры происходит без видимых повреждений, вследствие чего коррозия арматуры начинается внутри бетона. Образующиеся продукты коррозии стали занимают в 2–2,5 раза больший объем, чем слой прокорродировавшего металла, и вызывают развитие растягивающих напряжений в бетоне, превышающих его прочность, в результате чего образуются трещины в защитном слое, ориентированные вдоль корродирующих стержней. Образование таких трещин облегчает доступ агрессивных агентов к арматуре и ускоряет ее коррозию. В дальнейшем развитие коррозии арматуры приводит к отслаиванию и разрушению защитного слоя, нарушению сцепления арматуры с бетоном и потере несущей способности конструкции (при практически сохранившемся бетоне в более глубоких слоях) и созданию аварийной ситуации [1, 2].

В настоящее время оценку и прогнозирование карбонизации осуществ-

ляют по изменению толщины нейтрализованного слоя бетона. Ее определяют с помощью 0,1 % спиртового раствора фенолфталеина (индикаторным тестом). При этом считается, что бетон в неокрашенной зоне нейтрализован и потерял свои защитные свойства по отношению к арматуре, а в окрашенной – находится в удовлетворительном состоянии. В соответствии с [1, 2] карбонизация развивается линейно с поверхности в глубь конструкции, при этом реакция карбонизации происходит в узкой (около 1 мм) зоне. Процесс карбонизации рассматривается как конечный во времени и по глубине.

Многолетние авторские исследования ЖБК по глубине [3–6] полностью опровергают такие представления. Они показывают, что карбонизация бетона продолжается все время эксплуатации конструкций. Она развивается с поверхностных слоев в глубь бетона конструкций не фронтально, а по экспоненциальной зависимости (степень карбонизации бетона максимальна в поверхностных слоях). При этом значения толщины слоя бетона, в которой он потерял защитные свойства по отношению к арматуре, определенные индикаторным тестом и физико-химическим методом (методами pH- и карбометрии), отличаются до нескольких раз, а коррозионные процессы различной интенсивности в арматуре присутствуют в зоне, в которой по индикаторному тесту бетон сохраняет свои защитные свойства по отношению к арматуре. Кроме того, в лабораторных условиях выявлено, что на границе перехода неокрашенной зоны бетона в окрашенную pH≈10 [7], а в соответствии с исследованиями [8] коррозия арматуры возможна при pH ≤ 11,8.

Индикаторный метод не позволяет количественно оценивать показатель pH в зоне расположения арматуры, детально судить об его изменении в нейтрализованной зоне и за ее пределами и, как следствие, – о состоянии защитных свойств бетона по отношению к арматуре. Таким образом, его применение в лабораторных и полевых условиях для оценки карбонизации бетона не дает возможности объективно и достоверно оценивать и прогнозировать состояние защитных свойств бетона по отношению к арматуре.

Приведенное выше свидетельствует об актуальности изучения процессов карбонизации и создания на основе исследований изменений физико-химических характеристик бетона, происходящих при карбонизации бетона, способов и методов диагностики и прогнозирования технического состояния ЖБК.

Основная часть

В основу исследований положено использование методов pH- и карбометрии, поскольку показатель pH (водородный показатель поровой влаги цементного камня) является основной количественной характеристикой перерождения цементного камня в карбонаты под воздействием внешней среды и универсальной характеристикой состояния бетона и его защитных свойств по отношению к арматуре, а показатель КС (карбонатная составляющая) характеризует процентное содержание карбонатов в бетоне и позволяет оценить их влияние на изменение показателя pH.

Целью исследований явилось изучение распределения показателей pH и КС по сечению конструкций в зависимости от сроков и условий эксплуатации; разработка критериев оценки технического состояния ЖБК, эксплуатируемых в различных воздушных средах, на основе использования методов pH- и карбометрии; прогнозирование изменения показателей pH и КС защитного слоя бетона во времени в зависимости от условий эксплуатации конструкций; разработка методик оценки и прогнозирования технического состояния ЖБК, эксплуатируемых в различных воздушных средах.

Объектами исследования служили железобетонные конструкции различных типов (колонны, балки (прогоны, фермы), плиты типа ПР), эксплуатиро-

вавшиеся длительные сроки в различных воздушных средах. Исследования проводились как в лабораторных условиях (на образцах, отобранных из эксплуатируемых конструкций), так и в натурных условиях на реально эксплуатируемых ЖБК. Для анализа отбирались образцы бетона на глубине 10–25 мм, что соответствует зоне расположения арматуры, а также образцы в виде порошка, получаемые выбуриванием по сечению конструкций. Показатель pH определялся по методике [9]. Показатель КС – объемно-газовым методом [10]. Статистическую обработку экспериментальных данных производили при помощи табличного процессора Excel и пакета статистического анализа данных Statgraphics [11].

В результате обследования многочисленных железобетонных конструкций, эксплуатировавшихся в различных воздушных средах, при оценке состояния арматуры были выявлены разные степени ее коррозионных повреждений. Полученные результаты систематизированы с целью сопоставления коррозионного состояния стальной арматуры с физико-химическими параметрами защитного слоя бетона. Для оценки состояния арматуры, выявляемой после вскрытия защитного слоя бетона, предложена соответствующая балльная система, приведенная в табл. 1.

Табл. 1. Оценка состояния стальной арматуры ЖБК

Степень коррозии арматуры (балл)	Внешний признак коррозии арматуры
I	Чистая поверхность
II	Сплошная коррозия до 50 % поверхности стержня
III	Сплошная коррозия более 50 % поверхности стержня
IV	Пластинчатая коррозия малой степени интенсивности (уменьшение площади сечения на величину до 20 %)
V	Пластинчатая коррозия средней степени интенсивности (уменьшение площади сечения стержня на величину более 20 %)

Для оценки зависимости коррозионного состояния арматуры от физико-химических показателей бетона защитного слоя определяли показатели pH и КС бетона, находящегося в зоне расположения арматуры. Путем статистической обработки полученных результатов (исследовались по 40 проб бетона для каждой степени коррозии) получены области распределения показателей pH и КС с доверительной вероятностью 0,95 для различных степеней коррозии арматуры (рис. 1).

Результаты исследований показывают, что стальная арматура железобетонных конструкций не корродирует при показателе щелочности поровой жидкости pH $\geq$ 11,8. Снижение же показателя pH менее граничного значения (pH = 11,8) вызывает коррозию арматуры различной степени интенсивности. Также степень коррозии стали возрастает с увеличением карбонатной составляющей.

Из ЖБК, эксплуатирующихся в различных воздушных средах, наибольший интерес представляют конструкции, эксплуатируемые в условиях открытого воздуха и условиях помещений сельскохозяйственного назначения, поскольку их условия эксплуатации значительно отличаются от условий эксплуатации жилых и общественных зданий и сооружений.

Результаты обследования различных типов конструкций с использованием методов pH- и карбометрии и оценкой состояния арматуры позволили на-

значить количественные критерии качественной оценки технического состояния ЖБК для условий эксплуатации класса XC3 [12] (в соответствии с [13]) по физико-химическим показателям цементно-песчаной фракции бетона защитного слоя и степени коррозии арматуры.

Обследование большого числа зданий сельскохозяйственных комплексов показало, что условия эксплуатации в них значительно отличаются от классов, предлагаемых в [13]. Поэтому для оценки технического состояния конструкций, эксплуатируемых в условиях сельскохозяйственных помещений, для [13] предложен класс по условиям эксплуатации XC5 (70 % < RH ≤ 90 %, концентрация CO_2 0,2–0,3 %).

Критерии оценки технического состояния ЖБК по показателям pH и КС защитного слоя бетона и степени коррозии арматуры для условий эксплуатации класса XC5 представлены в табл. 2.

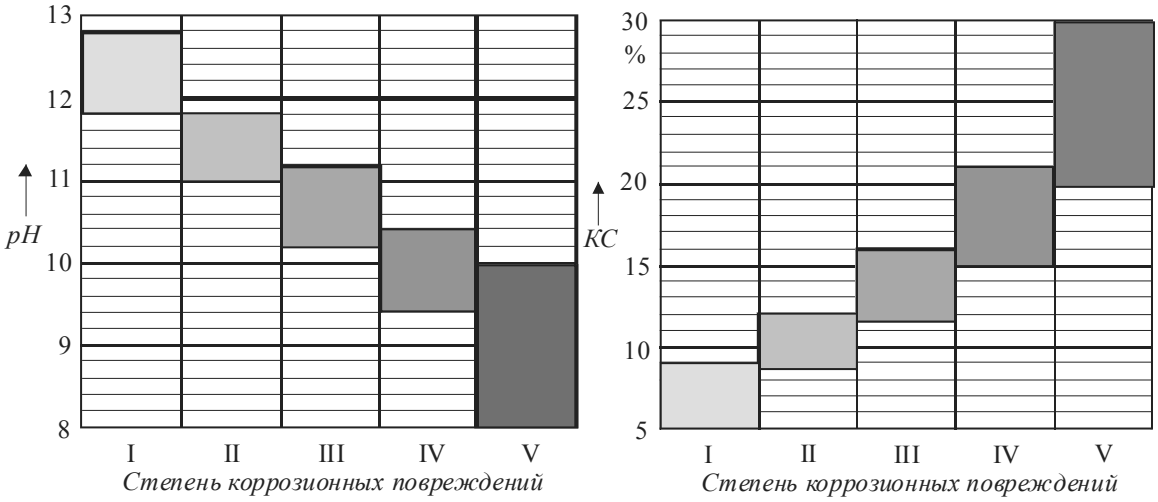


Рис. 1. Взаимосвязь степени коррозии арматуры с показателями pH и КС

Табл. 2. Критерии оценки технического состояния ЖБК для класса по условиям эксплуатации XC5

pH	КС, %	Состояние бетона и арматуры Техническое состояние железобетонной конструкции (в соответствии с СНБ 1.04.01–04)	Категория восстановления
1	2	3	4
12,5–11,8	<5	Бетон сохраняет защитные свойства по отношению к арматуре, арматура в пассивном состоянии. Состояние бетона, арматуры хорошее. Техническое состояние ЖБК хорошее	I
12,5–11,8	5–7	Происходит плавное снижение показателя pH, свидетельствующее о нейтрализации бетона и начале падения его защитных свойств по отношению к арматуре. Бетон сохраняет защитные свойства по отношению к арматуре. Арматура находится в пассивном состоянии. Состояние бетона, арматуры удовлетворительное. Техническое состояние ЖБК удовлетворительное	I
12,5–11,8	6–9	Происходит плавное изменение показателя pH. Его значения приближаются к границе, после которой бетон полностью нейтрализуется и теряет свои защитные свойства по отношению к арматуре, что вызывает	

Окончание табл. 2

1	2	3	4
		возможность развития коррозии во влажной среде либо условиях переменной влажности. Бетон сохраняет защитные свойства по отношению к арматуре. Арматура находится в пассивном состоянии. Состояние бетона, арматуры удовлетворительное. Техническое состояние ЖБК удовлетворительное	I
11,8–11,3	8–18	Происходит плавное изменение показателя pH. Его значения приближаются к границе, после которой начинается резкое снижение, свидетельствующее о полной потере бетоном защитных свойств по отношению к арматуре, что приводит к развитию коррозионных процессов в арматуре при длительных сроках эксплуатации. Степень II коррозии арматуры при сроке эксплуатации конструкции более 25 лет. Состояние бетона, арматуры удовлетворительное. Техническое состояние ЖБК удовлетворительное	II
11,3–10,9	9–18	Развитие деградационных процессов в бетоне и арматуре. Степень II коррозии арматуры при сроке эксплуатации конструкции до 10 лет. Состояние бетона, арматуры удовлетворительное. Техническое состояние ЖБК удовлетворительное	II
		Степень III коррозии арматуры при сроке эксплуатации конструкции более 15 лет. Состояние бетона удовлетворительное. Состояние арматуры не вполне удовлетворительное. Техническое состояние ЖБК удовлетворительное	III
10,9–10,5	9–20	Ускорение деградационных процессов в бетоне и арматуре. Степень III коррозии арматуры при сроке эксплуатации конструкции до 20 лет. Состояние бетона, арматуры не вполне удовлетворительное. Техническое состояние ЖБК не вполне удовлетворительное. Образование волосяных трещин в местах расположения рабочей и конструктивной арматуры	III
		Степень IV коррозии арматуры при сроке эксплуатации конструкции более 25 лет. Состояние бетона не вполне удовлетворительное. Состояние арматуры неудовлетворительное. Техническое состояние ЖБК не вполне удовлетворительное	IV
10,5–10,3	13–20	Ускорение деградационных процессов в бетоне и арматуре. Образование трещин в местах расположения рабочей и конструктивной арматуры. Раскрытие трещин в местах недостаточной толщины защитного слоя. Отслаивание защитного слоя бетона в местах его недостаточной толщины. Степень IV коррозии арматуры. Состояние бетона, арматуры неудовлетворительное. Техническое состояние ЖБК неудовлетворительное	IV
10,3–9,5	13–25	Деградация бетона повышенной интенсивности. Ускорение коррозионных процессов в арматуре. Раскрытие трещин в местах расположения рабочей и конструктивной арматуры. Отслаивание и разрушение защитного слоя бетона. Степень IV коррозии арматуры при сроке эксплуатации конструкции до 10 лет. Состояние бетона, арматуры неудовлетворительное. Техническое состояние ЖБК неудовлетворительное. Степень V коррозии арматуры при сроке эксплуатации конструкции более 15 лет. Состояние бетона, арматуры неудовлетворительное. Техническое состояние ЖБК неудовлетворительное	V
<9,5	16–29	Полная деградация бетона. Потеря сцепления цементного камня с заполнителем. Отслаивание и разрушение защитного слоя бетона. Интенсивные коррозионные процессы в арматуре. Степень V коррозии арматуры. Состояние бетона и арматуры неудовлетворительное. Техническое состояние ЖБК предаварийное	V
<10	2–9	Нарушен рецептурный состав (недостаток вяжущего и избыток заполнителей). Техническое состояние конструкций оценивается по результатам детального обследования	–

Разработанные критерии соответствуют только тяжелым бетонам, обеспечивающим пассивное состояние стальной арматуры, начиная с момента изготовления ЖБК.

В зависимости от выявленных дефектов и повреждений в ЖБК необходимо проведение комплекса работ по восстановлению их целостности и несущей способности. Разработанные критерии оценки технического состояния ЖБК позволяют в зависимости от определенного технического состояния конструкций назначить категории по их восстановлению, которые приведены в табл. 2.

Ориентировочный состав работ по восстановлению ЖБК в соответствии с категорией восстановления в зависимости технического состояния обследованной конструкции приведен в табл. 3.

Табл. 3. Мероприятия по восстановлению конструкций

Категория восстановления	Мероприятие по восстановлению конструкций
I	Специальных мероприятий по восстановлению либо усилению конструкций не требуется
II	Применение способов вторичной защиты бетона (оштукатуривание, побелка, окрашивание и т. д.)
III	Гидроизоляция поверхности бетона составами проникающего действия для ослабления воздействия агрессивности среды и снижения интенсивности коррозионных процессов в бетоне и арматуре
IV	Ревизия защитного слоя бетона с удалением поврежденных и отслоившихся фрагментов. Расшивка и заделка трещин ремонтными составами. Зачистка оголенной арматуры и покрытие ее антикоррозионным составом. Восстановление защитного слоя бетона ремонтными составами. Обработка поверхности бетона составами проникающего действия для ослабления воздействия агрессивности среды и снижения интенсивности коррозионных процессов в бетоне и арматуре
V	Ревизия защитного слоя бетона с удалением поврежденных и отслоившихся фрагментов. Расшивка и заделка трещин ремонтными составами. Зачистка оголенной арматуры и покрытие ее антикоррозионным составом. Восстановление защитного слоя бетона ремонтными составами. Обработка поверхности бетона составами проникающего действия для ослабления воздействия агрессивности среды и снижения интенсивности коррозионных процессов в бетоне и арматуре. Усиление элемента (необходимость усиления и степень усиления элемента определяются расчетом)

В каждом конкретном случае состав работ может изменяться (дополняться) в зависимости от результатов детального обследования железобетонных элементов (конструкций).

Критерии оценки технического состояния ЖБК в совокупности с мероприятиями по восстановлению конструкций значительно расширяют возможности обследования ЖБК с целью более объективной оценки их технического состояния и разработки рекомендаций по дальнейшей безопасной эксплуатации конструкций.

Предложенные критерии позволяют более объективно оценить техническое состояние ЖБК на момент обследования, но не позволяют прогнозировать его изменение во времени.

Полученные ранее экспериментальные результаты показывают, что показатель pH поровой влаги цементного камня довольно точно отражает физико-химические процессы, происходящие в бетоне, начиная уже с момента его изготовления [3]. Для бетонов воздушного твердения взаимодействие CO_2 воздуха с $Ca(OH)_2$, сразу после изготовления, не оказывает заметного влияния на показатель pH, т. к. в них pH $\geq$ 12,5.

При термической обработке изделий из бетона величина pH поверхностных слоев несколько снижается, составляя 12,0–12,5, при содержании карбонатов в тех же количествах, как и при воздушном твердении. Это свидетельствует о том, что на начальной стадии эксплуатации ЖБК возрастание концентрации карбонатов не оказывает существенного влияния на показатель pH бетонов, изготовленных на портландцементах. К тому же в свежеизготовленных изделиях значительный промежуток времени показатель pH либо не меняет своего значения, либо изменяется очень незначительно. Это обусловлено достаточно высокой буферной емкостью бетона, под которой понимается содержание CaO в единице всего объема. На всех типах конструкций наблюдается временной период (от 2 до 10 лет), когда увеличение концентрации карбонатов не вызывает быстрого изменения показателя pH. Его можно назвать периодом неопределенности, но в то же время зоной устойчивого состояния бетона [4, 5]. В условиях эксплуатации ЖБК, вследствие малой концентрации CO_2 в воздухе, процесс накопления карбонатов идет медленно. Проследить это можно, если оценивать зависимость *pH–КС* с учетом фактора времени.

Исследовали конструкции со сроками эксплуатации до семидесяти лет. По результатам обследования ЖБК различных зданий и сооружений построены регрессионные модели зависимостей $\sqrt{t}$ *–pH (КС)* в защитном слое бетона для основных типов ЖБК, эксплуатирующихся в различных условиях. В качестве примера на рис. 2 и 3 приведены зависимости $\sqrt{t}$ *–pH* и $\sqrt{t}$ *–КС* для колонн, эксплуатирующихся в условиях открытого воздуха. Пунктирной линией показан 95 % доверительный интервал для средних значений зависимых величин pH (КС).

Полученные регрессионные зависимости показывают, что с увеличением возраста эксплуатации конструкций показатель pH поровой влаги цементного камня линейно снижается, а содержание карбонатов растет, что подтверждает наличие квадратичной параболической зависимости развития во времени карбонизационных процессов в поверхностных слоях бетона.

Для оценки изменения показателей pH и КС построены суммарные зависимости $\sqrt{t}$ *–pH* и $\sqrt{t}$ *–КС* основных типов ЖБК для различных условий эксплуатации. В качестве примера на рис. 4 приведены зависимости $\sqrt{t}$ *–pH* и $\sqrt{t}$ *–КС* для исследованных типов ЖБК, эксплуатирующихся в атмосферных условиях.

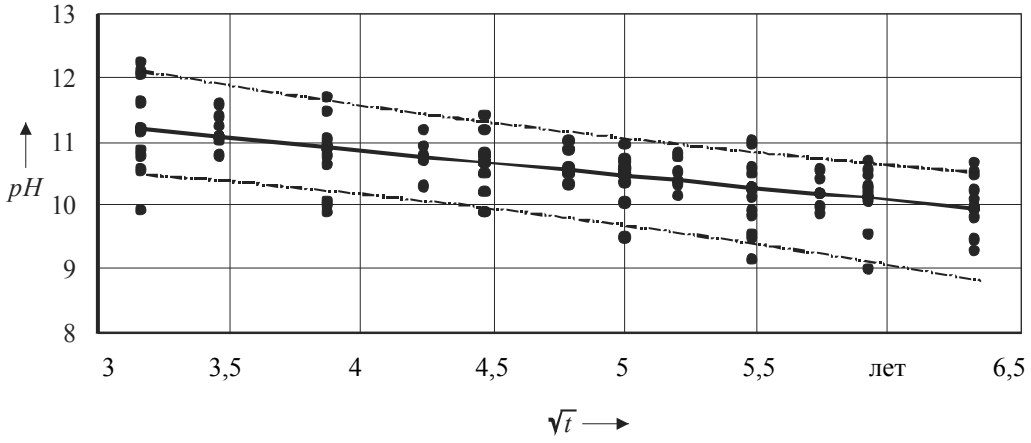


Рис. 2. Зависимость $\sqrt{t}$ *–pH* для колонн (атмосферные условия)

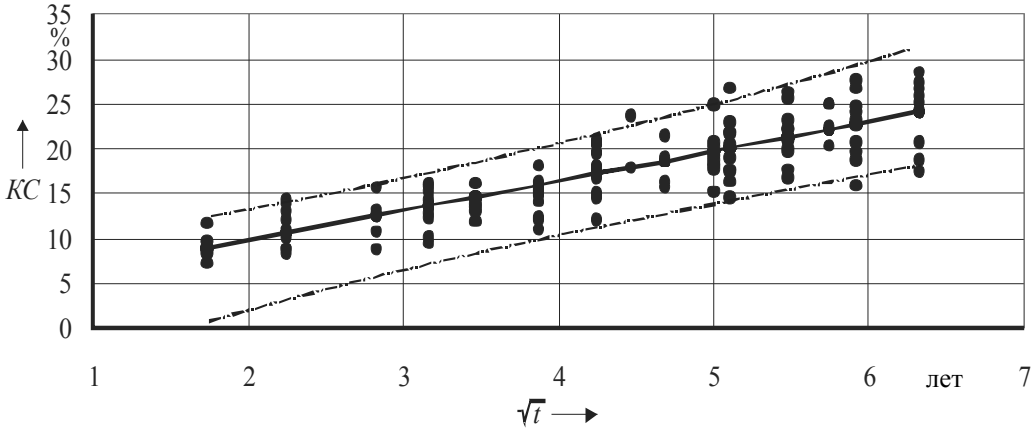


Рис. 3. Зависимость $\sqrt{t}$ –*КС* для колонн (атмосферные условия)

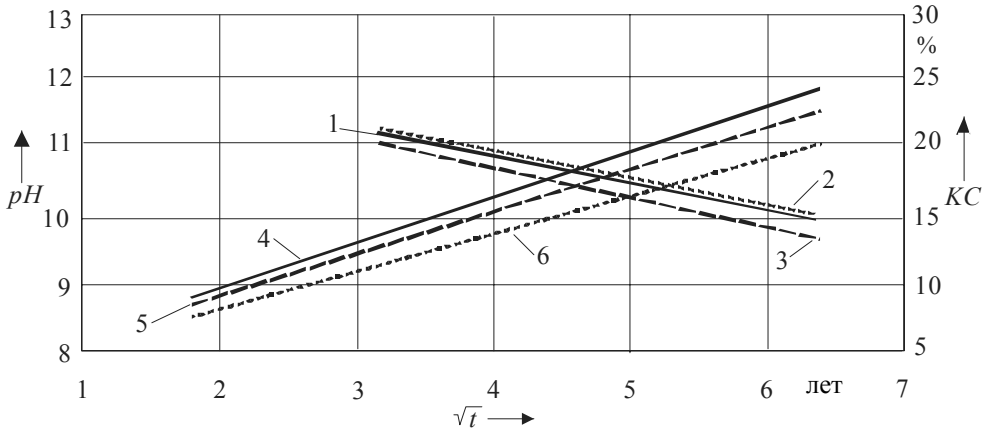


Рис. 4. Зависимости $\sqrt{t}$ –*pH* и $\sqrt{t}$ –*КС* для атмосферных условий: $\sqrt{t}$ –*pH*: 1 – колонны; 2 – ригели (прогоны); 3 – плиты ребристые; $\sqrt{t}$ –*КС*: 4 – колонны; 5 – ригели (прогоны); 6 – плиты ребристые

Приведенные зависимости для различных конструкций при одних и тех же условиях эксплуатации незначительно отличаются углами наклона. Это позволило путем суммирования значений для отдельных конструкций получить средние значения изменения во времени показателей pH и КС для различных атмосферных сред.

При обработке полученных зависимостей $\sqrt{t}$ –*pH* и $\sqrt{t}$ –*КС* для реальных железобетонных конструкций (эксплуатируемых длительные промежутки времени (до 40 лет)) методами регрессионного и корреляционного анализов выведены аналитические выражения, позволяющие прогнозировать изменение карбонатной составляющей и щелочности поровой жидкости во времени свежеизготовленных конструкций для различных условий эксплуатации [14]:

– для атмосферных условий

$$\text{pH} = 12{,}33 - 0{,}39\sqrt{t}\,; \qquad (1)$$

$$\text{КС} = 2{,}66 + 3{,}13\sqrt{t}\,; \qquad (2)$$

– для условий общественных зданий

$$\text{pH} = 12{,}10 - 0{,}28\sqrt{t}\,; \qquad (3)$$

$$\text{КС} = 2{,}04 + 2{,}77\sqrt{t}\,; \qquad (4)$$

– для условий помещений сельскохозяйственных комплексов

$$\text{pH} = 12{,}33 - 0{,}55\sqrt{t}\,; \qquad (5)$$

$$\text{КС} = 2{,}18 + 3{,}52\sqrt{t}\,, \qquad (6)$$

где t – величина прогнозного периода, лет.

На основании зависимостей (1)–(6) получены выражения для прогнозирования изменения показателей pH и КС защитного слоя бетона длительно эксплуатируемых железобетонных конструкций по полученным на момент обследования значениям показателей щелочности поровой жидкости и карбонатной составляющей для различных условий эксплуатации:

– атмосферных

$$\text{pH}_{\text{прог}} = \text{pH}_{\text{о}} - 0{,}39\,(\sqrt{t_{\text{прог}}} - \sqrt{t_{\text{э}}})\,; \quad (7)$$

$$\text{КС}_{\text{прог}} = \text{КС}_{\text{о}} + 3{,}13\,(\sqrt{t_{\text{прог}}} - \sqrt{t_{\text{э}}})\,; \quad (8)$$

– общественных зданий

$$\text{pH}_{\text{прог}} = \text{pH}_{\text{о}} - 0{,}28\,(\sqrt{t_{\text{прог}}} - \sqrt{t_{\text{э}}})\,; \quad (9)$$

$$\text{КС}_{\text{прог}} = \text{КС}_{\text{о}} + 2{,}77\,(\sqrt{t_{\text{прог}}} - \sqrt{t_{\text{э}}})\,; \quad (10)$$

– помещений сельскохозяйственных комплексов

$$\text{pH}_{\text{прог}} = \text{pH}_{\text{о}} - 0{,}55\,(\sqrt{t_{\text{прог}}} - \sqrt{t_{\text{э}}})\,; \quad (11)$$

$$\text{КС}_{\text{прог}} = \text{КС}_{\text{о}} + 3{,}52\,(\sqrt{t_{\text{прог}}} - \sqrt{t_{\text{э}}})\,, \quad (12)$$

где $\text{pH}_{\text{прог}}$ – прогнозное значение щелочности поровой жидкости; $\text{КС}_{\text{прог}}$ – прогнозное значение карбонатной составляющей, %; $\text{pH}_{\text{о}}$ – фактическое значение щелочности поровой жидкости, полученное при обследовании конструкции; $\text{КС}_{\text{о}}$ – фактическое значение карбонатной составляющей, полученное при обследовании конструкции, %; $t_{\text{прог}}$ – величина прогнозного периода с учетом возраста конструкции на момент обследования, лет; $t_{\text{э}}$ – возраст конструкции на момент обследования, лет.

Применение зависимостей (1)–(12) в совокупности с разработанными «Критериями оценки технического состояния ЖБК» дает возможность прогнозировать изменение во времени технического состояния конструкций.

Параллельно выполнялись исследования изменения физико-химических характеристик бетона по сечению ЖБК. Примеры распределения показателей pH и КС по сечению колонн, эксплуатируемых в различных атмосферных условиях, приведены на рис. 5 и 6.

Данные исследования позволили более объективно оценить развитие карбонизационных процессов в реальных условиях эксплуатации. Их результаты показывают, что в реально эксплуатируемых конструкциях имеет место снижение по сечению конструкций (к поверхности) показателя pH с возрастанием концентрации карбонатов. Скорость процессов зависит от состава бетона, возраста конструкций и, прежде всего, от условий эксплуатации. По результатам исследований предложены:

– понятие предельной величины карбонизации (ПВК), показывающей предельное содержание карбонатов в бетоне в массовых процентах при условии, что весь CaO цемента полностью перейдет в $CaCO_3$, определяемой как по кривой изменения карбонатной составляющей, так и по известному составу компонентов бетона;

– понятие степени карбонизации (СК) – процента гидроокиси кальция и гидратированных клинкерных материалов, перешедших в карбонаты на разной глубине бетона;

– методика определения начального содержания цемента в бетоне [15].

Параллельно выполнялось сравнение определения толщин карбонизированного бетона индикаторным методом и pH-метрией. Оно показало, что результаты, полученные индикаторным методом, отличаются от результатов pH-метрии до 5 раз (в сторону уменьшения).

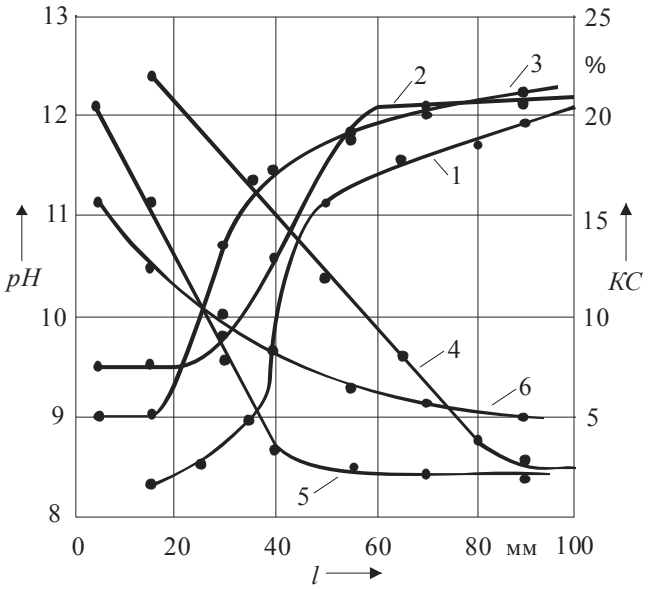


Рис. 5. Экспериментальные зависимости *l*–pH и *l*–КС для колонн, эксплуатируемых одинаковое время в различных условиях: 1 – *l–pH*; 4 – *l–KC* – для колонны после 40 лет эксплуатации в условиях общественного здания; 2 – *l–pH*; 5 – *l–KC* – для колонны после 40 лет эксплуатации в атмосферных условиях; 3 – *l–pH*; 6 – *l–KC* – для колонн после 40 лет эксплуатации в помещении коровника

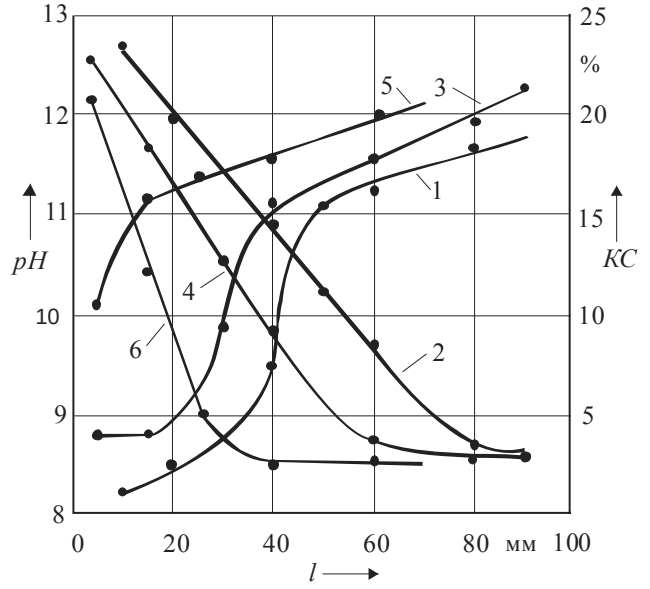


Рис. 6. Экспериментальные зависимости *l–pH* и *l–KC* для колонн, эксплуатируемых различные промежутки времени в условиях открытого воздуха: 1 – *l–pH*; 2 – *l–KC* – после 40 лет; 3 – *l–pH*; 4 – *l– K*C – после 30 лет; 5 – *l*–pH; 6 – *l–KC* – после 20 лет

Исследования железобетонных конструкций по глубине показали, что для атмосферных условий степень карбонизации на границе с pH = 10 изменяется в пределах 45–55 %, на границе с pH = 11,8 – в пределах 12–28 %. Для условий общественных помещений – в пределах 25–40 и 10–20 % соответственно. Для условий

сельскохозяйственных помещений – в пределах 45–85 и 20–50 % соответственно.

На основании вышеприведенного (приняв средние значения полученных пределов степени карбонизации), получены зависимости, увязывающие толщину слоя бетона с pH = 10 (определенную фенолфталеиновой пробой) с толщиной слоя с pH = 11,8 (граничное значение зоны, в которой может развиваться коррозия по термодинамическим расчетам):

– для атмосферных условий

$$x_{к} = 1{,}60 x_{ф}; \qquad (13)$$

– для условий общественных помещений

$$x_{к} = 1{,}25 x_{ф}; \qquad (14)$$

– для условий сельскохозяйственных помещений

$$x_{к} = 1{,}85 x_{ф}, \qquad (15)$$

где $x_{к}$ – толщина карбонизированного слоя с граничным значением pH = 11,8; $x_{ф}$ – толщина карбонизированного слоя, определенная индикаторным методом с граничным значением pH = 10.

Выводы

На основании результатов многолетних лабораторных и натурных исследований изменения физико-химических свойств бетона при карбонизации бетонных и железобетонных конструкций как в поверхностных слоях, так и по глубине, разработан комплексный метод оценки и прогнозирования технического состояния железобетонных конструкций, эксплуатирующихся длительные сроки в различных воздушных средах [15, 16], включающий в себя методики:

– оценки состояния защитных свойств по отношению к арматуре бетона защитного слоя, состояния стальной арматуры и технического состояния конструкции в целом;

– прогнозирования технического состояния как новых, так и длительно эксплуатируемых ЖБК;

– оценки состояния защитных свойств бетона по отношению к арматуре по сечению ЖБК, стальной арматуры и технического состояния конструкций в целом;

– оценки состояния защитных свойств бетона по отношению к арматуре ЖБК в полевых условиях.

Предлагаемый комплексный метод является дополнительным неразрушающим методом обследования железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в различных воздушных средах.

Он позволяет:

– в лабораторных условиях:

а) оценивать состояние защитного слоя по сечению конструкций и стальной арматуры;

б) прогнозировать состояние защитных свойств по отношению к арматуре бетона защитного слоя;

в) на основании полученных результатов по «Критериям оценки технического состояния железобетонных конструкций» оценивать и прогнозировать техническое состояние ЖБК;

– в полевых условиях:

а) оценивать состояние защитных свойств бетона по отношению к арматуре в зоне ее расположения и состояние стальной арматуры.

Комплексный метод оценки и прогнозирования технического состояния железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в различных атмосферных условиях, позволяет не только оценивать и прогнозировать их техническое состояние, но и выбирать, в зависимости от результатов обследования, способы и методы восстановления конструкций. Он реализуется проектными, строительными и эксплуатационными организациями при разработке проектов и реконструкции зданий и сооружений для оценки и прогнозирования во времени технического состояния железобетонных конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Алексеев, С. Н.** Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде / С. Н. Алексеев, Н. К. Розенталь. – М. : Стройиздат, 1976. – 205 с.

2. Долговечность железобетона в агрессивных средах / С. Н. Алексеев [и др.]. – М. : Стройиздат, 1990. – 320 с.

3. **Васильев, А. А.** Исследование карбонизации железобетонных конструкций с момента их изготовления / А. А. Васильев // Материалы, технологии, инструменты. – 2004. – Т. 9, № 4. – С. 30–33.

4. **Васильев, А. А.** Опыт использования pH- и карбометрии для оценки состояния длительно эксплуатируемых железобетонных конструкций / А. А. Васильев // Межведомств. науч.-техн. сб. науч. работ (строительство). – Киев, 2005. – Т. 2. – С. 110–117.

5. **Васильев, А. А.** Оценка изменения состояния железобетонных конструкций при длительном контакте с атмосферой / А. А. Васильев // Материалы, технологии, инструменты. – 2005. – Т. 10, № 2. – С. 39–42.

6. **Васильев, А. А.** Об оценке карбонизации железобетонных конструкций // Вестн. БелГУТа : Наука и транспорт. – 2005. – № 1. – С. 37–41.

7. **Кудрявцев, И. А.** Исследование карбонизации железобетонных конструкций с длительным сроком эксплуатации / И. А. Кудрявцев, В. П. Богданов // Материалы, технологии, инструменты. – 2000. – Т. 5, № 3. – С. 97–100.

8 **Бабушкин, В. И.** Физико-химические процессы коррозии бетона и железобетона / В. И. Бабушкин. – М. : Стройиздат, 1968. – 187 с.

9. **Пятницкий, А. К.** Количественный анализ / А. К. Пятницкий, А. К. Бабко. – М. : Высш. шк., 1968. – 438 с.

10. **Курбатова, И. И.** Современные методы химического анализа строительных материалов / И. И. Курбатова.– М. : Стройиздат, 1972. – 161 с.

11. **Герасимович, А. И.** Математическая статистика : учеб. пособие / А. И. Герасимович. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск : Выш. шк., 1983. – 279 с.

12. **Васильев, А. А.** Критерии оценки технического состояния железобетонных конструкций, эксплуатирующихся длительные сроки в различных воздушных средах / А. А. Васильев // Материалы, технологии, инструменты. – 2007. – Т. 12, № 1. – С. 33–39.

13. **СНБ 5.03.01–02**. Бетонные и железобетонные конструкции. – Минск : Стройтехнорм, 2003. – 139 с.

14. **Васильев, А. А.** Оценка и прогнозирование состояния железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в различных воздушных средах, на основе методов pH- и карбометрии / А. А. Васильев // Строительная наука и техника. – 2006. – № 4 (7). – С. 81–88.

15. Неразрушающие методы оценки и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в воздушных средах : практ. пособие / Т. М. Пецольд [и др.] ; под. ред. А. А. Васильева. – Гомель : БелГУТ, 2007. – 146 с.

16. **Васильев, А. А.** Дополнительный способ оценки технического состояния железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в воздушной среде / А. А. Васильев // Проблемы современного бетона и железобетона : материалы междунар. симп. – Минск, 2007. – С. 113–129.

Белорусский государственный университет транспорта
Материал поступил 22.05.2008

A. A. Vasilyev

Complex method of evaluation and forecasting of technical state of ferroconcrete constructions exploited in different air environments

In the article we offer the results of investigation by the methods of pH- and carbometry of corrosion behavior of ferroconcrete constructions (FCC) of main types in the contact with atmosphere for different exploitation terms and conditions. On their basis a complex method of evaluation and forecasting of technical state of FCC exploited in different air environment has been developed. The offered method is a new nondestructive method of examination of ferroconcrete constructions exploited for a long term in different air environments.

ОХРАНА ТРУДА. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 681.324:354(478)+504.062

И. В. Войтов, д-р техн. наук, проф., М. А. Гатих, д-р техн. наук, проф., Л. С. Лис, канд. техн. наук, В. А. Рыбак, канд. техн. наук

НАУЧНО-ИННОВАЦИОННЫЕ ПРИНЦИПЫ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ АДМИНИСТРАТИВНЫХ ТЕРРИТОРИЙ БЕЛАРУСИ

Предложены новые научно обоснованные инновационные принципы геоэкологического районирования административных территорий Беларуси по степени экологической напряжённости, в основу которых положены взаимоувязанные природно-экологические, природно-ландшафтные и природно-ресурсные факторы с техногенными нагрузками, выражаемыми в виде хозяйственной освоенности территорий.

Одним из наиболее важных направлений комплексной оценки экологического состояния территорий различного уровня иерархии (ареалы, выделы, районы, области, республика), включая природно-хозяйственные и природно-территориальные комплексы, является разработка в рамках НИР методов и средств геоэкологического районирования территорий по степени экологической напряженности.

Необходимость выполнения указанных работ диктуется, в основном, рядом социально-экологических проблем развития народного хозяйства и использования для этих целей природных ресурсов и сред. Известно, что природные ландшафты в результате хозяйственной деятельности в ряде регионов Беларуси подверглись существенной антропогенной трансформации, в результате чего сформировались природно-хозяйственные и природно-территориальные комплексы с рядом экологических проблем. Поэтому изучение в таких системах взаимодействия природы и хозяйства, прежде всего методом районирования, представляет большой научный и практический интерес.

Геоэкологическое районирование территорий – одно из направлений исследования экологических проблем, выраженных в виде ранжирования территорий по степени экологической напряженности, экологического риска или бедствия. Его цель – выявление территориальной дифференциации и интеграции отдельных территорий со специфическим взаимодействием природных и социально-экологических факторов. Такое районирование определяется как интегральное. Оно базируется на анализе и обобщении экологических проблем и их территориальных сочетаний – ситуаций разной степени остроты (напряженности). При этом степень остроты рассматривается с точки зрения условий проживания и состояния здоровья населения, сохранности природно-ресурсного потенциала, а также устойчивости структуры и функционирования ландшафтов, их эстетической целостности.

Важность этой проблемы досконально осознана, изучена и нашла конкретную реализацию в Российской Федерации. Так, по заданию Минприроды РФ были организованы в МГУ на географическом факультете и в Институте

географии РАН большие группы сотрудников, которые в рамках ГНТП «Экология России» выполнили научные исследования и экологическое районирование по степени экологической напряженности всей территории России [1–9]. В основу методологии районирования положена комплексная информационно-аналитическая (математическая) оценка различного уровня иерархии территорий, геосистемный анализ ситуации с вариантами ландшафтных и других карт, с ареалами экологических ситуаций с четырьмя категориями остроты: очень острые (катастрофические и кризисные), острые (критические), умеренно острые (напряженные и конфликтные) и условно удовлетворительные. По степени экологической напряженности H_i предложено разделение территорий на природно-ландшафтные регионы с учетом их хозяйственной освоенности и выявленных в их пределах экологических ситуаций разной остроты. В результате на территории России было выделено 56 экологических районов, для которых характерно относительное единство природных условий и типов антропогенного воздействия, а также определённое сочетание (соотношение) экологических ситуаций.

Уровень экологической напряжённости H_i для каждого из выделенных районов России, оцениваемый в баллах, с различным рангом экологической напряжённости представлен в табл. 1 [1, 2].

Табл. 1. Балльная оценка экологической напряженности для территории России с однородной экологической ситуацией

Экологическая ситуация	Экологическая напряженность, усл. ед.
Очень острая	10
Острая	5
Умеренно острая	3
Условно удовлетворительная	1

При индивидуальной оценке экологической напряженности H_i i-го экологического района используется следующая формула [2]:

$$H_i = (10S_{1i} + 5S_{2i} + 3S_{3i} + 1S_{4i})/100, \quad (1)$$

где S_{1i} – доля площадей очень острых экологических ситуаций в процентах от общей площади i-го района; S_{2i} – доля площадей острых экологических ситуаций в процентах от общей площади i-го района; S_{3i} – доля площади умеренно острых экологических ситуаций в процентах от общей площади i-го района; S_{4i} – доля площади условно удовлетворительных экологических ситуаций в процентах от общей площади i-го района.

В [4] предложен метод экологического районирования территорий по степени экологической напряжённости, определения ранга экологических проблем и ареалов острых экологических ситуаций. В его основу положен матричный системный анализ, базирующийся на математической статистике. В табл. 2 представлена основная расчётная матрица. Она имеет принципиальное значение для определения остроты экологических ситуаций. Каждая экологическая ситуация (проблема) обозначается буквенным индексом по градации степени (интенсивности) проявления: 1 – слабая, 2 – средняя, 3 – сильная. Кроме того, буквенные индексы ранжированы по последствиям и по степени значимости (весу) для уровня остроты данной ситуации.

Как следует из [1–9] и табл. 2, ос-

новными показателями анализа, оценок и районирования административных территорий (АТ) по уровню остроты отдельных проблем рассматриваются социальные (здоровье человека), истощение и утрата естественных ресурсов, нарушение генетической целостности ландшафта. В качестве естественных природных ресурсов анализируются атмосферный воздух, водные и земельные ресурсы.

Табл. 2. Матричный метод геоэкологического районирования территорий

Уровень остроты экологической ситуации	Группа проблем, определяемых по показателям, опасным для здоровья человека (A, B, C, ...)		Группа проблем, определяемых по показателям истощения и утраты естественных ресурсов (L, M, N, ...)		Группа проблем, определяемых по показателям нарушения генетической целостности ландшафта (X, Y, Z, ...)		Уровень остроты отдельных проблем
	Степень проявления проблемы	Проблемы (A, B, C,...) и степень проявления (индексы 1, 2, 3)	Степень проявления проблемы	Проблемы (L, M, N,...) и степень проявления (индексы 1, 2, 3)	Степень проявления проблемы	Проблемы (X, Y, Z, ...) и степень проявления (индексы 1, 2, 3)	
Очень острая	Сильная	A^3, B^3, C^3, ...	Сильная	L^3, M^3, N^3, ...	Сильная	X^3, Y^3, Z^3, ...	Катастрофический Кризисный
Острая	Средняя	A^2, B^2, C^2, ...	Средняя	L^2, M^2, N^2, ...	Средняя	X^2, Y^2, Z^2, …	Критический
Умеренно острая	Слабая	A^1, B^1, C^1, ...	Слабая	L^1,M^1,N^1, ...	Слабая	X^1, Y^1, Z^1, ...	Напряжённый Конфликтный

Указанные показатели безусловно важны, однако их недостаточно, по мнению авторов, для полноценного геоэкологического районирования территорий. Необходимо учитывать техногенные нагрузки на территории, их природно-ресурсный потенциал, включая биологические ресурсы, экологическое состояние отдельных природных компонентов окружающей среды (ОС), оцениваемое с использованием весовых коэффициентов и др.

Учитывая современное нормативно-законодательное и методологическое обеспечение рационального природопользования и охраны ОС в Республике Беларусь [10–15], представляется целесообразным выполнять геоэкологическое районирование территории по следующим взаимоувязанным направлениям.

1. Оценка состояния природно-экологического потенциала и его структурных характеристик на АТ.

2. Оценка хозяйственной освоенности и техногенных нагрузок на природно-территориальные комплексы (ПТК) АТ.

3. Оценка экологического состояния основных природных компонентов ОС: водных объектов, атмосферного воздуха, почвенного покрова и биологических ресурсов.

4. Ранговые оценки экологического состояния ПТК АТ.

5. Ранговые оценки экологических условий проживания населения на АТ.

Как следует из [14, 15], систему комплексной оценки экологического состояния природно-территориальных единиц составляют два комплексных показателя: индекс природно-экологического потенциала $И_{ПЭП}$ и индекс хозяйственной освоенности $И_{ХО}$ – основное звено, а также два производных показателя структурной организации: коэффициент экологической раздробленности $К_{РАЗ}$ и мера экологической сопряженности $m_{ЭС}$ – дополнительное звено.

Комплексная характеристика природно-экологического потенциала (ПЭП) состоит из индекса ПЭП $И_{ПЭП}$ и параметра самовосстановления-очищения [14, 15]:

$$И_{ПЭП} = [\sum_{i=1}^{n_1} F_{охр(i)} \cdot K_{1(i)} + \sum_{i=1}^{n_2} F_{лес(i)} \cdot K_{2(i)} + \sum_{i=1}^{n_3} F_{бол(i)} \cdot K_{3(i)} + \sum_{i=1}^{n_4} F_{вод(i)} \cdot K_{4(i)} + \sum_{i=1}^{n_5} F_{(с+п)} \cdot K_{5(i)}] / F_{общ}, \quad (1)$$

где $F_{охр}$, $F_{лес}$, $F_{бол}$, $F_{вод}$, $F_{(с+п)}$ – площади отдельных *i*-х участков охраняемых территорий, лесных массивов, болотных комплексов, поверхностных водных объектов, естественных сенокосов и пастбищ на оцениваемой территории соответственно; $K_{1\ldots5(i)}$ – коэффициенты экологической значимости для каждого из отдельных участков перечисленных природных компонентов.

Коэффициент экологической значимости (степени нарушенности) отдельных участков по каждому природному массиву рассчитывается по балльной системе на основании осреднения по частным баллам используемых характеристик этих участков (см. дальше) и выражается в относительном виде:

$$K_{1\ldots5} = \sum_{i=1}^{n} Б_i / 5n, \quad (2)$$

где $Б_i$ – частные баллы оцениваемого участка (например, лесной массив по возрастному составу, породному составу, главной лесосеке и т. д.); n – число учитываемых характеристик.

Таким образом, индекс ПЭП $И_{ПЭП}$ представляет собой долю суммы всех природных образований с учетом их степени нарушенности (трансформации) в общей площади оцениваемой территории.

Параметр самовосстановления-самоочищения, определяемый характеристиками более общего значения – феномена устойчивости территориальных комплексов, – рассматривается нами далее.

Для оценки негативных результатов отмеченных воздействий на оцениваемую территорию введен индекс хозяйственной освоенности $И_{ХО}$, выражающий долю суммарной загрязненной территории в общей площади $F_{общ}$ [14, 15]:

$$И_{ХО} = [(F_{загр}^{пр} + F_{загр}^{с/х} + F_{загр}^{тр} + F_{загр}^{дем} + F_{нар}) \cdot K_{сам}] / F_{общ}, \quad (3)$$

где $F_{загр}^{пр}$, $F_{загр}^{с/х}$, $F_{загр}^{тр}$, $F_{загр}^{дем}$ – площади земель, загрязненных от воздействия промышленности, сельскохозяйственного производства, транспорта и демографического давления соответственно; $F_{нар}$ – площади, отнесенные к категории загрязненных земель, нарушенных добычей полезных ископаемых, стройматериалов, торфяной продукции; $K_{сам}$ – коэффициент самовосстановления-самоочищения.

Обобщенный показатель воздействия промышленных производств $П_{пр}$ представим в виде [14, 15]:

$$П_{пр} = P_{IV} + 1{,}4P_{III} + 3{,}3P_{II} + 7P_{I} + 0{,}3(Q_{IV} + 1{,}3Q_{III} + 3{,}0Q_{II} + 8Q_{I}), \quad (4)$$

где P_{IV}, P_{III}, … – суммарное количество выбросов промышленных производств по группам токсичности; Q_{IV}, Q_{III}, … – суммарное количество стоков (категория недостаточно очищенных вод) по группам токсичности.

Широкая интенсификация сельскохозяйственного производства, предпринимаемая в прошедшие годы, масштабная мелиорация и широкая химизация наравне с положительными результатами привели в ряде регионов республики к нарушению экологического равновесия в природе, к резкому проявлению негативных процессов [16].

Загрязнение сельскохозяйственных и других угодий происходит вследствие несовершенства физических, химических и механических свойств минеральных удобрений, а также нарушения обоснованных технологий и сроков их внесения. Немаловажное значение при этом имеют условия хранения минеральных удобрений в хозяйствах и

величина потерь их на пути к полю. Очень опасны для окружающей среды высокие дозы использования минеральных удобрений, особенно азотных.

Расчет в итоге производим [14, 15] по формуле

$$F_{заг}^{с/х} = \left(F_{паш} + F_{ку}\right) \cdot K^{с/х}, \qquad (5)$$

где $F_{паш}$, $F_{ку}$ – площадь пахотных и естественных кормовых угодий на оцениваемой территории; $K^{с/х}$ – коэффициент уровня нагрузки, определяемой по приведенному баллу $Б_{пр}$ как среднеарифметическое или средневзвешенное:

$$Б_{пр} = \Sigma(Б_{уд} + Б_{ях} + Б_{эр} + Б_{жив})/4, \qquad (6)$$

где $Б_{уд}$, $Б_{ях}$, $Б_{эр}$, $Б_{жив}$ – баллы по минеральным удобрениям, ядохимикатам, доли эродируемых (эрозионно опасных) земель, животноводству соответственно.

Следовательно,

$$K^{с/х} = \frac{Б_{пр}}{5}. \qquad (7)$$

Проведенный анализ расчетных показателей сельскохозяйственной нагрузки по расширенному набору административных районов республики позволил получить упрощенное уравнение регрессии для коэффициента этой нагрузки [14, 15]:

$$K^{с/х} = 0{,}0176 \cdot P_{уд} + 1{,}12 \cdot P_{ях} + \\ + 0{,}0438 \cdot N_{жив} + 0{,}0344 \cdot F_{эр}, \qquad (8)$$

где $P_{уд}$, $P_{ях}$ – количество внесенных веществ, кг/га; $N_{жив}$ – численность животных, тыс. усл. голов; $F_{эр}$ – площадь эродированных земель, процент от общей площади сельхозугодий.

Транспортная нагрузка характеризуется обобщенным показателем – интенсивностью движения транспорта. В качестве определяющих загрязняющих веществ в выбросах транспорта выбраны самые опасные: соединения свинца и бенз(а)пирен. На основании [17–19] нами получена зависимость ширины полосы загрязнения B от интенсивности движения $И$:

$$B = 0{,}126 \cdot И \cdot 10^{-3} \ . \qquad (9)$$

Условия распространения загрязняющих веществ вдоль дорог (второй этап) определяется количественно-качественными показателями, а их учет целесообразно произвести путем балльной оценки.

Основываясь на [17–19] и используя смысловую логику, построена балльная шкала оценки важнейших из этих факторов (табл. 3), а их учет произведем путем корректировки расчетной ширины загрязненной полосы конкретных участков дорог по коэффициенту:

$$K_{кор} = \frac{75 + 5Б_{пр}}{100}, \qquad (10)$$

где $Б_{пр}$ – средневзвешенный балл учитываемой дороги, рассчитанной по отдельным ее участкам, различающимся по топометеорологическим факторам. Корректировка загрязненной территории производится из условия 25-процентной вероятности.

Табл. 3. Балльные оценки топографических и метеорологических факторов местности

Параметры	Балл оценки
Наличие лесозащитной полосы	1–2
Скорость ветра, м/с: 0–5 5–20	 2 3–4
Характер местности: – холмистый – равнинный	 4 5

Следовательно, загрязненную территорию вдоль транспортных сетей можно рассчитать следующим образом:

$$F_{загр}^{тр} = \sum_{i=1}^{n} L_i \cdot B_i, \qquad (11)$$

где L_i – отдельные участки или дороги, имеющие различную интенсивность движения; B_i – двойная полоса загрязнения этих дорог.

Под демографической нагрузкой мы понимаем непосредственное воздействие населения на природную среду в результате его жизнедеятельности (социальный аспект), а также через хозяйственную деятельность, обеспечивающую индивидуальные интересы (работы на приусадебных и садоводческих участках, налаживание трудовых и социальных связей, рекреационные воздействия и др.). Сюда относятся воздействия населения на компоненты природной среды, расположенные в непосредственной близости от населенных пунктов (мест проживания) [20–22].

Оценка этого вида воздействия нами рассматривается применительно к демографической сети сельских населенных пунктов и поселений, приравненных к ним. Здесь наибольшее воздействие население оказывает непосредственно в самих поселениях, однако оно простирается и за их пределы. Для обоснования метода оценки воздействия демографической нагрузки классифицируем оговоренные поселения на три типа: малые города (численность до 30 тыс. чел.), поселки городского типа и села. Именно этой категории поселений в различной степени присущ сельский уклад жизни, состоящий в выделении населению индивидуальных земельных участков для возделывания сельскохозяйственной продукции. На основании анализа материалов земельных кадастров районного уровня нами определен коэффициент сельского уклада жизни для рассматриваемых типов поселений: малые города – $K_1 = 0{,}5$; поселки городского типа – $K_2 = 0{,}7$; села – $K_3 = 1{,}0$.

Площадь зоны воздействия отдельного поселения $F_{воз}$ выразим [14, 15]:

$$F_{воз} = 1{,}3\ F_{сел} + f_н\ N \cdot K, \qquad (12)$$

где $F_{сел}$ – селитебная площадь поселения, га; $f_н$ – индивидуальный надел земли на одного жителя, $f_н$ = 0,4 га; N – численность населения, чел.; K – коэффициент сельского уклада жизни.

Таким образом, общая площадь воздействия демографической нагрузки на оцениваемой территории равна:

$$F_{загр}^{дем} = \sum_{i=1}^{n} n \cdot F_{воз}, \qquad (13)$$

где n – количество учитываемых ареалов расселения.

Проведя анализ данных расчета демографической нагрузки по ряду административных районов из различных регионов республики, мы получили обобщенное регрессионное уравнение, которое может быть использовано для упрощенной оценки территориальной единицы ранга административного района и ниже [14, 15]:

$$F_{загр}^{дем} = 1{,}23N_{общ} + 0{,}84N_{сельск} + 0{,}084n_{пос}, \qquad (14)$$

где $N_{общ}$ – общая численность населения, тыс. чел.; $N_{сельск}$ – численность сельских жителей, тыс. чел.; $n_{пос}$ – число поселений (деревень, поселков).

В качестве дополнительных оценок экологического состояния территорий предложены структурные характеристики – коэффициенты структурной организации территорий:

– коэффициент раздробленности $K_р$ зон малоизменённых ландшафтов ПЭП и ареалов хозяйственной освоенности [14, 15]

$$K_р = \sum_{i=1}^{n} F_{эл(i)} / (nF_{общ}), \qquad (15)$$

где $F_{эл(i)}$ – площадь единичного (элементарного) контура малоизмененных или нарушенных ландшафтов; n – количество учитываемых контуров; $F_{общ}$ – общая площадь оцениваемой территории;

– коэффициент $m_{эс}$ меры экологической сопряжённости, характеризующий степень размежевания (разнесения) контрастных зон

$$m_{эс}=\sum_{i=1}^{n} L_i / n, \qquad (16)$$

где L_i – расстояние между центрами единичных полярных зон (условно ненарушенной и загрязненной); n – количество пар таких зон, выделенных на оцениваемой территории.

Обобщённая алгоритмическая схема оценки экологического состояния природно-территориальных комплексов, включая оценки природно-экологического потенциала и хозяйственной освоенности АТ, представлена на рис. 1.

Для разработки показателя обобщённой оценки экологического состояния АТ приняты четыре качественного уровня экологического состояния: напряженное (неудовлетворительное), ниже нормы, нормальное, благоприятное (хорошее), которые, по-нашему мнению, предварительно на первом этапе могут характеризовать это состояние.

В этом случае обобщенная оценка i-го территориального выдела будет представлена множеством $O_i = \{O_i\ (f_k,\ l_n),$ (при $f_k \in \overline{1,4};\ l_n \in \overline{1,5})\}$, где f_k – оценка по уровням экологического состояния, принятым выше; l_n – оценка по показателям системы оценок.

Раскроем множество по первой оценке [14, 15]:

$$O_i(f)=\begin{cases} O_1, \text{ при } l_1 < f_{1(i)} \le l_2; \\ O_2, \text{ при } l_2 < f_{2(i)} \le l_3; \\ O_3, \text{ при } l_3 < f_{3(i)} \le l_4; \\ O_4, \text{ при } l_4 < f_{4(i)} \le l_5, \end{cases} \qquad (17)$$

где $l_1, l_2, \ldots, l_5$ – предельные значения оценок по показателям, разбитые на интервалы каждого уровня состояния.

Для этого весь диапазон значений каждого показателя для определенной выборки объектов разбивается пропорционально на четыре интервала, в результате чего устанавливаются граничные значения l_1–l_2, l_2–l_3, …, l_4–l_5. Для формирования критерия обобщенной оценки введем количественную логическую функцию меры:

$$\varphi_K(O_i)=\begin{cases} -3, \text{ если } O_i=O_1; \\ -1, \text{ если } O_i=O_2; \\ +1, \text{ если } O_i=O_3; \\ +3, \text{ если } O_i=O_4. \end{cases} \qquad (18)$$

В качестве критерия обобщенной оценки используем линейную взвешенную функцию меры:

$$H = \alpha_к\ \varphi_к\ (O_i); \quad (K \in \overline{1,4}), \qquad (19)$$

где $\alpha_к$ – весовой коэффициент показателя системы оценки, определяющий его значимость в системе.

Согласно обоснованным ранее методическим принципам формирования комплексных показателей экологического состояния, основному звену – индексам $И_{ПЭП}$ и $И_{ХО}$, придаем весовой коэффициент по 0,3 и дополнительным показателям $K^{мл}_{разд}$, $K^{загр}_{разд}$, $m_{эс}$ – 0,15; 0,15 и 0,10 соответственно (использован принцип нормирования – $\sum_{к=1}^{5} \alpha_к = 1$).

После проведения нормирования весовых коэффициентов критерий обобщенной оценки примет значения введенной логической функции меры с установленными пределами:

– для O_1 – экологическое состояние неудовлетворительное (напряженное)

$$-3 \le H_1 < -1;$$

– для O_2 – экологическое состояние ниже нормы

$$-1 \le H_2 < 0;$$

– для O_3 – экологическое состояние нормальное

$$0 < H_3 \le +1;$$

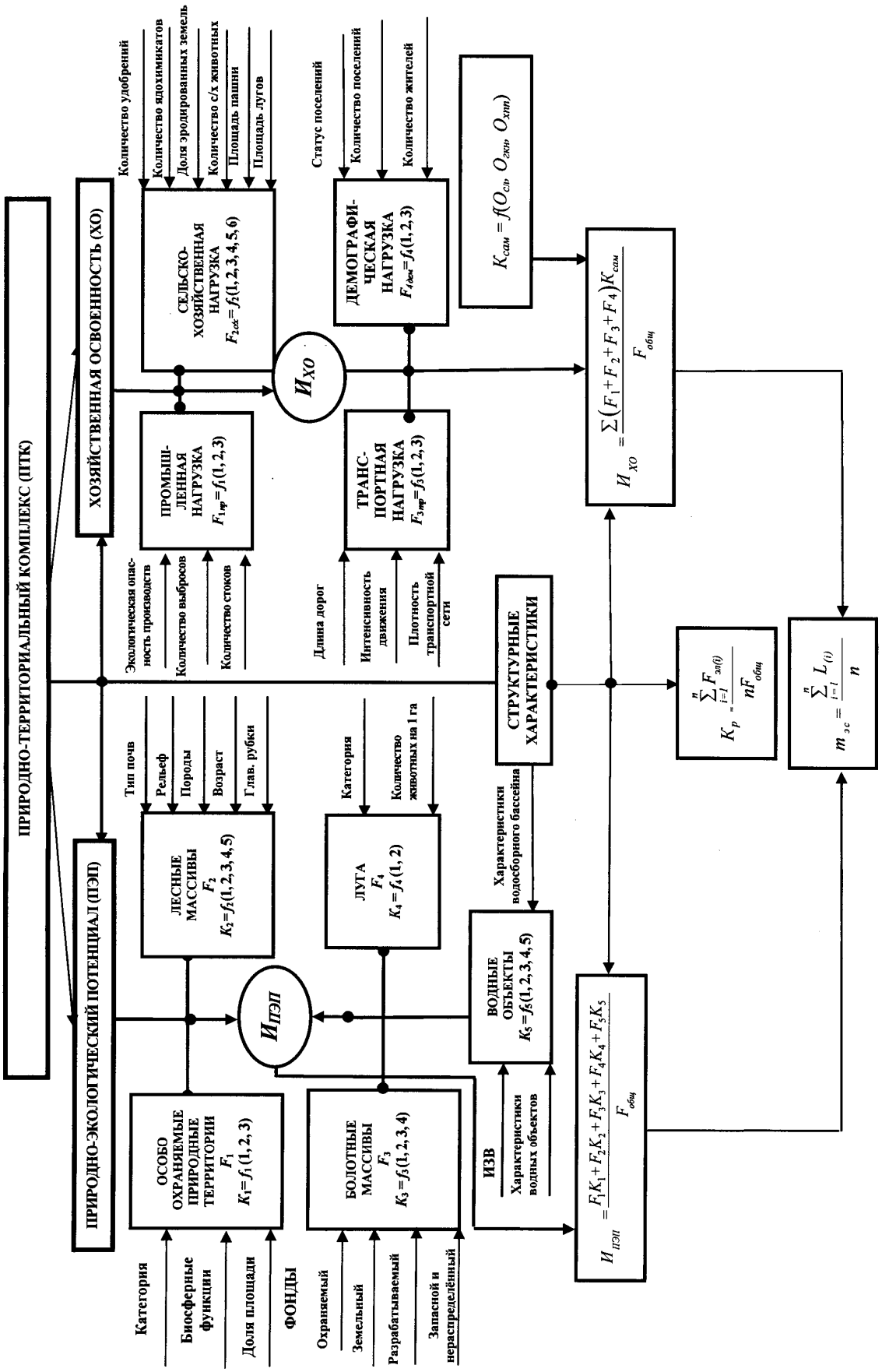


Рис. 1. Алгоритмическая схема оценки экологического состояния административных районов в различных регионах Республики Беларусь

– для O_4 – экологическое состояние хорошее (благоприятное)

$$+1 < H_4 \le +3.$$

Оценка степени благоприятности среды проживания населения может быть выполнена в территориальном разрезе с использованием предложенных количественных оценок экологического состояния.

Для этого ещё дополнительно привлечены показатели численности населения оцениваемой территориальной единицы, а также плотность населения $П$ и концентрация поселений $К_{КП}$. В оценках использована балльная шкала с учётом имеющихся санитарно-гигиенических нормативов. Общая оценка осуществлена по двум частным показателям: по позитивным – ПЭП (O_1) и негативным – ХО (O_2), причём каждый их них имеет свой весовой коэффициент.

Для практических расчётов в [14] предложена система уравнений, полученных в результате статистической обработки материалов по конкретным территориальным единицам:

$$O_1 = 2{,}5(И_{ПЭП} + 2К_{сам});$$

$$O_2 = 0{,}5(16 - 10П - 5К_{КП});$$

$$O_{общ} = (0{,}33O_1 + 0{,}66O_2) / 2.$$

Уровень загрязнения и массу выбросов ЗВ в атмосферу, знание которой необходимо для многих расчётов в экологии, приведённую массу к одному классу опасности, можно рассчитать с помощью показателя *КОГ* (критерия опасности для города) по формуле [23]

$$КОГ = \sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{M_{ij}}{ПДК_{cci}}\right)^a, \qquad (20)$$

где m – количество предприятий в городе, выбрасывающих вредные вещества в атмосферу; M_{ij} – масса выброса i-го вещества, т/г.; $ПДК_{cci}$ – среднесуточная предельно допустимая концентрация i-го вещества, мг/м^3; n – количество загрязняющих веществ, выбрасываемых предприятиями; a – безразмерная константа, позволяющая соотнести степень вредности i-го вещества с вредностью сернистого газа (третий класс опасности). Значения «a» для веществ 1, 2, 3 и 4 классов опасности равны 1,7; 1,3; 1,0; 0,9 соответственно. Физический смысл величины показателя *КОГ* заключается в том, что она показывает некоторый условный объём загрязнённого воздуха для всех предприятий города или крупного промышленного центра, разбавленный до санитарно-гигиенических критериев и приведённый к одной токсичности.

Показатель *КОГ* позволяет рассчитывать не только загрязнение территорий городов и крупных промышленных центров, что важно с позиций ранжирования их по степени экологической напряженности, но и определять ареалы активного загрязнения отдельных городских участков с оценкой их влияния на здоровье населения и принятия на этой основе мер по уменьшению уровня их загрязнения и планирования градостроения.

Отдельные попытки решения проблемы загрязнения ОС на основе учёта загрязняющих веществ известны из научно-технической литературы. Так, в [24] предложен простой индекс загрязнения природной среды (ПС), отражающий общее поступление ЗВ в ОС и представленный в виде:

$$I = \sum_{i=1}^{n} D_i / \sum_{i=1}^{m} P_i,\ i = \overline{1,n}, \qquad (21)$$

где D_i – фактическая доза i-го вещества, тыс. т/г.; P_i – допустимая норма i-го вещества, нормированная по $ПДК_i$; n – количество веществ, одновременно присутствующих в ПС, поступивших от различных источников загрязнения (выбросов, стоков, сбросов, отходов).

Линейный (абсолютный) уровень и эффект в результате загрязнения ОС выражается разностью показателей [24]:

$$\Delta = \sum_{i=1}^{n} b_i \cdot D_i - \sum_{i=1}^{n} b_i \cdot P_i;$$

$$b_i = \frac{P_i}{\sum P_i}; \quad \sum b_i = 1; \quad i = \overline{1,n}, \qquad (22)$$

где b_i – веса примесей (ингредиентов) в составе ЗВ.

С учётом зависимостей (21) и (22) нами сформирован взвешенный агрегатный индекс опасности загрязнения ОС, в котором веса для каждой примеси зафиксированы на уровне норматива ПДК:

$$Im = \sum_{i=1}^{n} b_i \cdot D_i / \sum_{i=1}^{n} B_i \cdot P_i; \quad i = \overline{1,n}. \qquad (23)$$

При этом числитель показывает фактическую загрязнённость ОС, а знаменатель – условно суммарную загрязнённость примесями смеси того же состава при их нормативных уровнях. Иными словами, знаменатель – это условная величина, показывающая, какой уровень загрязнения имел бы место, если бы масса каждой примеси сохранялась бы на уровне её регламента.

Уравнения (21)–(23) отражают общие принципы формализации оценок по загрязнению окружающей среды с использованием фактических количественных показателей (масс, объёмов) загрязняющих веществ D_i, поступающих в её природные компоненты от различных источников загрязнения, и допустимых норм P_i, регламентируемых значениями $ПДК_i$ для каждой компоненты.

Конечный вариант комплексного взвешенного агрегатного индекса для анализа и оценок экологического состояния природной ОС с использованием массовых показателей D_i и P_i должен, по-нашему мнению, содержать в их составе все оценочные структурные элементы (взвешенные агрегатные индексы) для расчётов экологического состояния водных объектов $I_{аг}^{вм}$, атмосферного воздуха $I_{аг}^{ам}$, почвенного покрова $I_{аг}^{ппм}$ и биоресурсов $I_{аг}^{бм}$, которые мы рекомендуем использовать в следующем виде:

$$I_{аг}^{вм} = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} \frac{b_i^{в} \cdot D_{ij}^{в}}{b_i^{в} \cdot P_i^{в}} \cdot A_i;$$

$$b_i^{a} = \frac{A_i \cdot P_i^{b}}{\sum P_i^{b} \cdot A_i}; \quad \sum b_i^{в} = 1;$$

$$i = \overline{1,n}; \; j = \overline{1,m}; \qquad (24)$$

$$I_{аг}^{ам} = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} \frac{b_i^{a} \cdot D_{ij}^{a}}{b_i^{a} \cdot P_i^{a}} \cdot A_i;$$

$$b_i^{a} = \frac{A_i \cdot P_i^{a}}{\sum P_i^{a} \cdot A_i}; \sum b_i^{a} = 1;$$

$$i = \overline{1,n}; \; j = \overline{1,m}; \qquad (25)$$

$$I_{аг}^{ппм} = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} \frac{b_i^{пп} \cdot D_{ij}^{пп}}{b_i^{пп} \cdot P_i^{пп}} \cdot A_i;$$

$$b_i^{пп} = \frac{A_i \cdot P_i^{пп}}{\sum P_i^{пп} \cdot A_i}; \sum b_i^{пп} = 1;$$

$$i = \overline{1,n}; \; j = \overline{1,m}; \qquad (26)$$

$$I_{аг}^{бм} = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} \frac{b_i^{б} \cdot D_{ij}^{б}}{b_i^{б} \cdot P_i^{б}} \cdot A_i;$$

$$b_i^{б} = \frac{A_i \cdot P_i^{б}}{\sum P_i^{б} \cdot A_i}; \sum b_i^{б} = 1;$$

$$i = \overline{1,n}; \; j = \overline{1,m}, \qquad (27)$$

где $D_{ij}^{в}, D_{ij}^{a}, D_{ij}^{пп}, D_{ij}^{б}$ – фактические весовые (массовые) дозы i-х загрязнителей от j-х источников, поступивших в водные объекты, атмосферный воздух, почвенный покров и биологические ресурсы; $P_i^{в}, P_i^{a}, P_i^{пп}, P_i^{б}$ – допустимые (регламентированные) нормы i-х загрязнителей, поступивших в водные объекты, атмосферный воздух, почвенный покров и биологические ресурсы; n и m – количество загрязнителей и источников загрязнения основных природных компонентов окружающей среды; $b_i^{в}, b_i^{a}, b_i^{пп}, b_i^{б}$ – весовые коэффициенты загрязнителей, поступивших в указанные выше природные компоненты окружающей среды.

Общая масса загрязняющих веществ, поступившая в окружающую

природную среду, может быть определена по формуле

$$D_{ij}^{OC} = \sum_{i=1}^{n} D_{ij}^{в} + \sum_{i=1}^{n} D_{ij}^{а} + \sum_{i=1}^{n} D_{ij}^{пп} + \sum_{i=1}^{n} D_{ij}^{б} . \quad (28)$$

Комплексный взвешенный агрегатный индекс для весового ранжирования территорий в рамках городов, крупных промышленных центров, административных районов, регионов и республики в целом предлагается осуществлять по формуле

$$I_{аг}^{км} = (I_{аг}^{вм} + I_{аг}^{ам} + I_{аг}^{ппм} + I_{аг}^{бм}) / 4. \quad (29)$$

Для практической реализации данного индекса необходимо, наряду с применением приведённых выше материалов и расчётных зависимостей, иметь достаточный набор расчётных формул для определения валовых (годовых) выбросов M_{ij}, тыс.т/г., по всем ЗВ и источникам загрязнения (выбросам, стокам и сбросам) основных природных сред (водных объектов, атмосферного воздуха, почвенного покрова и биоресурсов). Практически все необходимые формулы для получения данных показателей имеются в [25–29]. Эти сведения также находятся в статотчётных материалах по вопросам контроля и оценок экологического состояния природных ресурсов и сред в стране.

Располагая приведёнными выше основными расчётными показателями по всем направлениям анализа и комплексных оценок, весового геоэкологического ранжирования административных территорий по степени экологической напряжённости и условиям проживания на них населения, представляется возможным сформировать универсальные научно-инновационные принципы геоэкологического районирования АТ с использованием обобщённой структурно-алгоритмической схемы, представленной на рис. 2.

Разработанные научно-инновационные принципы геоэкологического районирования АТ достаточно отработаны на нескольких административных районах Беларуси. Районы выбирались нами с таким расчётом, чтобы были учтены наиболее характерные техногенные нагрузки в рамках всей страны, характеризуемые индексом $И_{ХО}$ хозяйственной освоенности, и природно-экологические условия, характеризуемые индексом $И_{ПЭП}$ природно-экологического потенциала АТ. Все расчёты производились по алгоритмической схеме (см. рис. 1). Для этих целей были выбраны 12 районов: Брестский ($И_{ХО}$ = 0,513; $И_{ПЭП}$ = 0,42), Каменецкий ($И_{ХО}$ = 0,483; $И_{ПЭП}$ = 0,39), Пружанский ($И_{ХО}$ = 0,337; $И_{ПЭП}$ = 0,54), Городокский ($И_{ХО}$ = 0,221; $И_{ПЭП}$ = 0,55), Верхнедвинский ($И_{ХО}$ = 0,244; $И_{ПЭП}$ = 0,37), Полоцкий ($И_{ХО}$ = 0,546; $И_{ПЭП}$ = 0,44), Логойский ($И_{ХО}$ = 0,302; $И_{ПЭП}$ = 0,48), Вилейский ($И_{ХО}$ = 0,337; $И_{ПЭП}$ = 0,50), Молодеченский ($И_{ХО}$ = 0,587; $И_{ПЭП}$ = 0,40), Костюковичский ($И_{ХО}$ = 0,366; $И_{ПЭП}$ = 0,33), Краснопольский ($И_{ХО}$ = 0,258; $И_{ПЭП}$ = 0,42), Кормянский ($И_{ХО}$ = 0,397; $И_{ПЭП}$ = 0,28) [14, 15]. Подробный анализ вариации индексов $И_{ХО}$ и $И_{ПЭП}$ приведён в [14, 15].

Расчёт всех параметров и показателей геоэкологического районирования АТ по всем пяти приведённым выше взаимоувязанным направлениям выполнен нами на основе обобщённой структурно-алгоритмической схемы (см. рис. 2) на примере Пружанского района Брестской области [15]. В расчётах учтены практически все параметры и показатели, приведённые на схеме (см. рис. 2), включая необходимые сведения и источники информации для выполнения расчётов с использованием расчётных формул (1)–(29).

На рис. 3 показана для примера картосхема Пружанского района с выделенными условно ненарушенными (нечётные номера) и загрязнёнными зональными (чётные номера), а в табл. 4 приведены исходные расчётные данные для построения картосхемы и формулы, по которым производились расчёты. Для построения картосхем использовались ГИС ArcView.

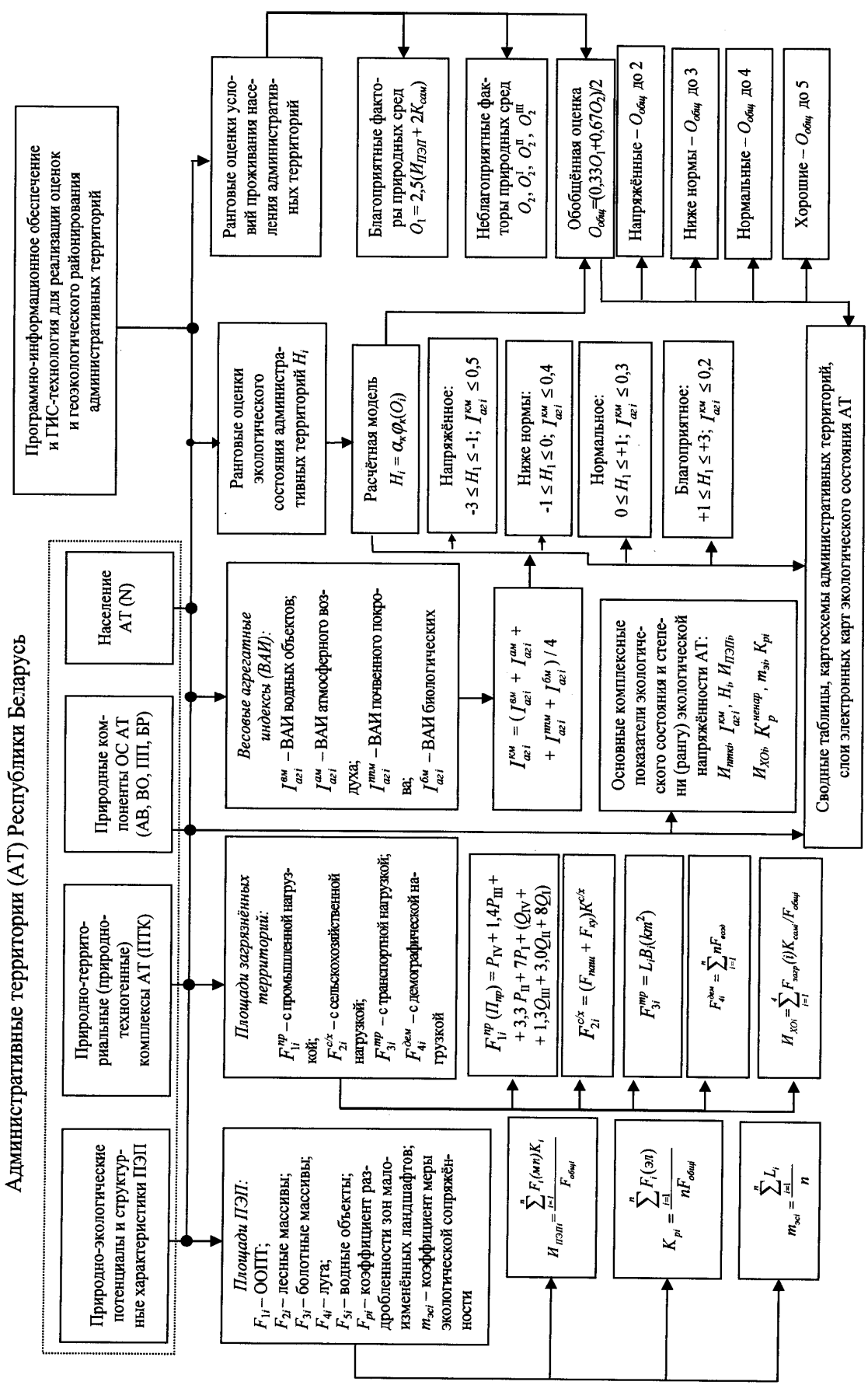


Рис. 2. Обобщённая структурно-алгоритмическая схема комплексной оценки и геоэкологического районирования административных территорий по степени экологической напряженности

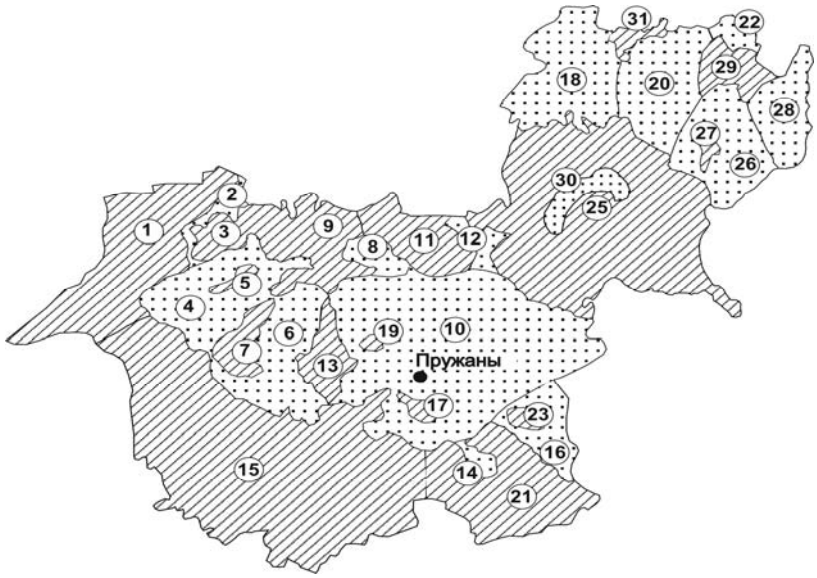


Рис. 3. Картосхема Пружанского района с выделенными условно ненарушенными (нечетные номера) и загрязненными (четные номера) зонами

Табл. 4. Исходные данные для расчета структурных показателей территории

Условно ненарушенная зона		Загрязненная зона		Сопряженная зона	
Номер зоны	Площадь, га	Номер зоны	Площадь, га	Номер зоны	Расстояние, км
1	15600	2	1808	1–2	8,6
3	2400	4	11700	1–4	10
5	49572	6	11360	2–3	3
7	2448	8	1700	3–4	8,2
9	7672	10	35748	4–5	3,4
11	5980	12	2016	4–7	6,8
13	3520	14	1000	6–9	14,4
15	38760	16	5040	7–6	4,6
17	576	18	11164	6–15	13,8
19	416	20	8400	6–13	4,6
21	14884	22	1740	9–8	6,4
23	644	24	9000	8–11	5,4
25	41600	26	5600	19–10	9,4
27	512	Ср. знач.	8175	17–10	8
29	3328			14–23	7
31	1120			14–21	4,2
Ср. знач.	11814			21–16	8,2
Расчет: $K_p^{ненар} = \frac{F_{усл.нен.}}{F_{общ}} = 0,0417;$ $m_{эс} = \frac{1}{n}\sum_{i-1}^{n} L_i = 7,8$ км; $K_p^{загр} = \frac{F''_{загр}}{F_{общ}} = 0,0288$				23–16	3
				10–25	2,3
				18–25	17,5
				25–24	16
				18–31	7
				31–20	6,4
				20–29	8
				24–29	9,2
				29–26	7,8
				Ср. знач.	7,8

Приведённые выше расчётно-аналитические показатели и примеры расчётов для построения картосхем позволяют обоснованно выполнять весь комплекс аналитических и практических задач в области геоэкологического районирования административных территорий для решения следующих важных проблемных вопросов.

1. Разработать географическую карту Республики Беларусь применительно к геоэкологическому районированию административных территорий по степени их экологической напряжённости, хозяйственной освоенности территорий с учётом природно-ресурсного потенциала регионов.

2. Использовать для научного обоснования размещения промышленных объектов и аграрно-промышленных комплексов в агрогородках и свободных экономических зонах республики с учётом их природно-промышленного потенциала и хозяйственной освоенности территорий, а также с необходимостью сохранения целостности природных ландшафтов и соблюдения благоприятных условий проживания населения.

3. Научно обосновать инновационные проекты в составе Государственной программы инновационного развития страны и инфраструктуры технологических процессов промышленных производств, реализуемые в рамках административных территорий районного и регионального (областного) уровней.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Районирование России по степени экологической напряжённости / М. Ю. Белоцерковский [и др.] // Вести Моск. ун-та. География. – 1993. – № 6. – С. 22–30.

2. Районирование территории России по степени экологической напряжённости / Б. И. Кочуров [и др.]. – М. : Ин-т географии ; РАН, 1993. – С. 119–125.

3. **Блануца, В. И.** Интегральное экологическое районирование : концепция и методы / В. И. Блануца. – Новосибирск : Наука, 1993. – 195 с.

4. **Кочуров, Б. И.** Принципы и критерии определения территорий экологического бедствия / Б. И. Кочуров, Л. Л. Розанов, А. В. Назаревский // Изв. РАН. – 1993. – № 3. – С. 67–75.

5. **Кочуров, Б. И.** Экологический риск и возникновение острых экологических ситуаций / Б. И. Кочуров // Изв. РАН. – 1992. – № 3. – С. 112–122.

6. Оценка состояния и устойчивости систем. – М. : ВНИИ Природа, 1992. – 127 с.

7. **Шестаков, А. С.** Принципы классификации эколого-географических ситуаций / А. С. Шестаков // Изв. РГО. – 1992. – Т. 124, вып. 3. – С. 241–249.

8. **Михайлов, А.** Классификация чрезвычайных ситуаций / А. Михайлов, А. Пащенко. – М. : Информ. центр ГКЧС России, 1995. – 7 с.

9. **Пиничин, М. А.** Гигиенические основы оценки суммарного загрязнения воздуха населённых мест / М. А. Пиничин // Гигиена и санитария. – 1985. – № 1. – С. 66–69.

10. Методика экологической и социально-экономической оценки природных ресурсов как составной части национального богатства. – Минск : НИЭИ, 1998. – 116 с.

11. Об охране окружающей среды : Закон Респ. Беларусь. – Минск : Экология, 2002. – 80 с.

12. Сборник нормативных документов по вопросам охраны окружающей среды. – Минск : Экология, 2002. – Вып. 39. – 222 с.

13. Сборник нормативных документов по вопросам охраны окружающей среды. – Минск : Экология, 1999. – Вып. 8. – С. 76–152.

14. Научно-методические рекомендации по решению проблем анализа, оценки и управления качеством окружающей среды / М. А. Гатих [и др.]. – Минск : Экология, 2005. – 40 с.

15. **Лис, Л. С.** Методические рекомендации по количественной оценке экологического состояния природно-территориальных комплексов / Л. С. Лис. – Минск : Принтгрупп, 2004. – 94 с.

16. Экологические аспекты применения удобрений в Белорусской ССР / И. М. Богдевич [и др.] // Экологические проблемы химизации в интенсивном земледелии : тр. ВИУА. – М., 1990. – С. 51–55.

17. **Повороженко, В. В.** Транспорт и охрана окружающей среды / В. В. Повороженко, С. Н. Резер, Ю. К. Казаров // Итоги науки и техники. Охрана природы и воспроизводство природных ресурсов : сб. тр. – М., 1980. – Т. 7. – С. 114–119.

18. Воздействие выбросов транспорта на природную среду : тр. ин-та биологии АН Латвийской ССР / Под ред. А. М. Соколова. – Рига, 1989. – 250 с.

19. **Никифорова, Е. М.** Органические загрязнители в почвах придорожных экосистем / Е. М. Никифорова, Т. А. Теплицкая // Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состояние экосистем : сб. тр. – М., 1981. – С. 210–220.

20. **Канцебовская, И. В.** Изучение расселения как фактор воздействия на среду / И. В. Канцебовская, М. П. Крылов // Географические аспекты взаимодействия в системе «человек–природа» : сб. тр. – М., 1978. – С. 90–106.

21. **Кочетков, А. В.** Учёт требований сохранения и улучшения окружающей среды при формировании системы населённых мест. Градостроительство / А. В. Кочетков, В. В. Владимиров. – Киев : Вища шк., 1977. – 270 с.

22. **Пучкаева, Т. М.** Развитие сети населённых мест Белорусской ССР / Т. М. Пучкаева. – Минск : БелНИИНТИ, 1979. – 38 с.

23. **Войтов, И. В.** Основы информационного обеспечения природоохранной деятельности / И. В. Войтов, М. А. Гатих. – Минск : БГУ, 2004. – 460 с.

24. **Рыбалов, А. А.** Качество окружающей среды: методы и подходы оценки / А. А. Рыбалов // Экологическая экспертиза. – М. : ВИНИТИ, 2001. – С. 12–67.

25. Методика расчёта выбросов окислов азота из вагранок. Методика расчёта выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при неконтролируемом сжигании нефти и нефтепродуктов // Сб. норматив. док. по вопросам охраны окруж. среды. – Минск : Минприроды, 2001. – Вып. 27. – 200 с.

26. Методические указания по определению выбросов загрязняющих веществ из резервуаров // Сб. норматив. док. по вопросам охраны окруж. среды. – Минск : Минприроды, 1997. – Вып. 20. – 124 с.

27. Методика определения валовых газовыделений при изготовлении литейных песчаных стержней в нагреваемой оснастке // Сб. норматив. док. по вопросам охраны окруж. среды. – Минск : Минприроды, 1998. – Вып. 21. – 166 с.

28. Методика расчёта выбросов ЗВ в атмосферный воздух при использовании лакокрасочных материалов. Методика расчётно-аналитического определения выделений и выбросов ЗВ в атмосферный воздух при производстве готовых лекарственных форм. Методика инструментально-расчётного определения выбросов ЗВ в атмосферный воздух от неорганизованных источников аппаратных дворов технологических производств. Методика инструментально-расчётного определения выбросов с поверхностей выделения загрязняющих атмосферу веществ // Сб. норматив. док. по вопросам охраны окруж. среды. – Минск : Экология, 2001. – Вып. 33. – 202 с.

29. Расчёт выбросов ЗВ в атмосферный воздух от стационарных источников автотранспортных предприятий, при горячей обработке металлов, при использовании лакокрасочных материалов, от неорганизованных источников выделения пыли на зерноперерабатывающих предприятиях и элеваторах // Сб. норматив. док. по вопросам охраны окруж. среды. – Минск : Экология, 2002. – Вып. 39. – 222 с.

Государственный комитет по науке и технологиям
Белорусский институт системного анализа и информационного обеспечения научно-технической сферы
Институт проблем использования природных ресурсов и экологии НАН Б
Академия управления при Президенте Республики Беларусь
Материал поступил 21.04.2008

I. V. Voitov, M. A. Gatih, L. S. Lis, V. A. Rybak
Scientific-innovational principles of geoecological zoning of administrative territories of Belarus

The new scientifically grounded principles of geoecological zoning of administrative territories of Belarus by the degree of ecological tensity, based on mutually connected natural-ecological, natural-landscape and natural-resources factors with anthropogenic loads in the form of economy developing of territories are proposed and proved in the article.

УДК 331.46:637.2.022:631.351.2

С. Д. Галюжин, канд. техн. наук, доц, Д. С. Галюжин, канд. техн. наук, В. М. Пускова, М. И. Руцкий

АНАЛИЗ НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАШИН НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Изложены результаты анализа несчастных случаев, произошедших при эксплуатации машин на предприятиях агропромышленного комплекса. Так, в результате поломки сепаратора высокожирных сливок Ж5–ОС2–Д–500 в ОАО «Костюковичский молокозавод», оператор, обслуживающий его, получил травму с тяжелым исходом. В ОСПК «Колхоз Авангард» Осиповичского района при заточке ножей ротора измельчителя кормоуборочного комбайна КПУ–3000 «Полесье–3000» тракторист-машинист, выполняющий эту работу, получил травму с тяжелым исходом.

Анализ несчастных случаев на предприятиях агропромышленного комплекса Могилевской области показывает, что зачастую они происходят по причине отказа (поломок) машин или же из-за невыполнения требований их безопасной эксплуатации.

При включении в работу сепаратора высокожирных сливок Ж5–ОС2–Д–500, принадлежащего открытому акционерному обществу «Костюковичский молокозавод», произошла его поломка. В результате барабан в сборе сепаратора раздробил на части корпус и крышку приемника высокожирных сливок, сорвал два анкерных болта на станине, частично разрушив фундамент и был отброшен на расстояние около 2 м. При этом оператор, обслуживающий его, получил травму с тяжелым исходом.

При проведении экспертизы установлено, что обследуемый сепаратор (рис. 1) содержит станину 1, которая четырьмя анкерными болтами 2 закрепляется на бетонном фундаменте. На станине установлены: фланцевый электродвигатель 3, который фрикционно-центробежной муфтой связан с горизонтальным валом в сборе 4, вертикальный вал в сборе 5 и тахометр 6 [1]. Также на станине 1 закреплена чаша 7, в которой установлены два тормоза 8 для остановки барабана сепаратора и два стопора 9, удерживающие барабан при сборке/разборке. На чашу 7 устанавливается приемник высокожирных сливок, содержащий корпус 10, крышку 11 и приемно-отводящее устройство 12. На вертикальном валу в сборе 5 устанавливается барабан в сборе 13, являющийся основным рабочим органом сепаратора.

На боковой поверхности вертикального вала сепаратора 14 (рис. 2) выполнены зубья зубчатой передачи (веретена) 15. Вал установлен в станине на двух 16 нижних подшипниках 6–4406Е2 ГОСТ 832–78 и верхнем 17 подшипнике 1310, который был разрушен. На верхнюю часть вала устанавливается сепаратор в сборе, который закрепляется на резьбе 18 вала гайкой колпачковой.

При осмотре сепаратора установлено:

– два нижних подшипника 16, установленных на валу, и зубья веретена находились в технически исправном состоянии;

– вал в зоне установки верхнего подшипника 17 имел прогиб;

– на боковых посадочных под барабан поверхностях вала имелись участки неравномерного износа, в том числе и на конических поверхностях;

– резьба верхней части вала повреждена;

– на верхней торцевой поверхности вала имеются вмятины;

– трещин и других повреждений (кроме упомянутых выше) на вале не обнаружено.

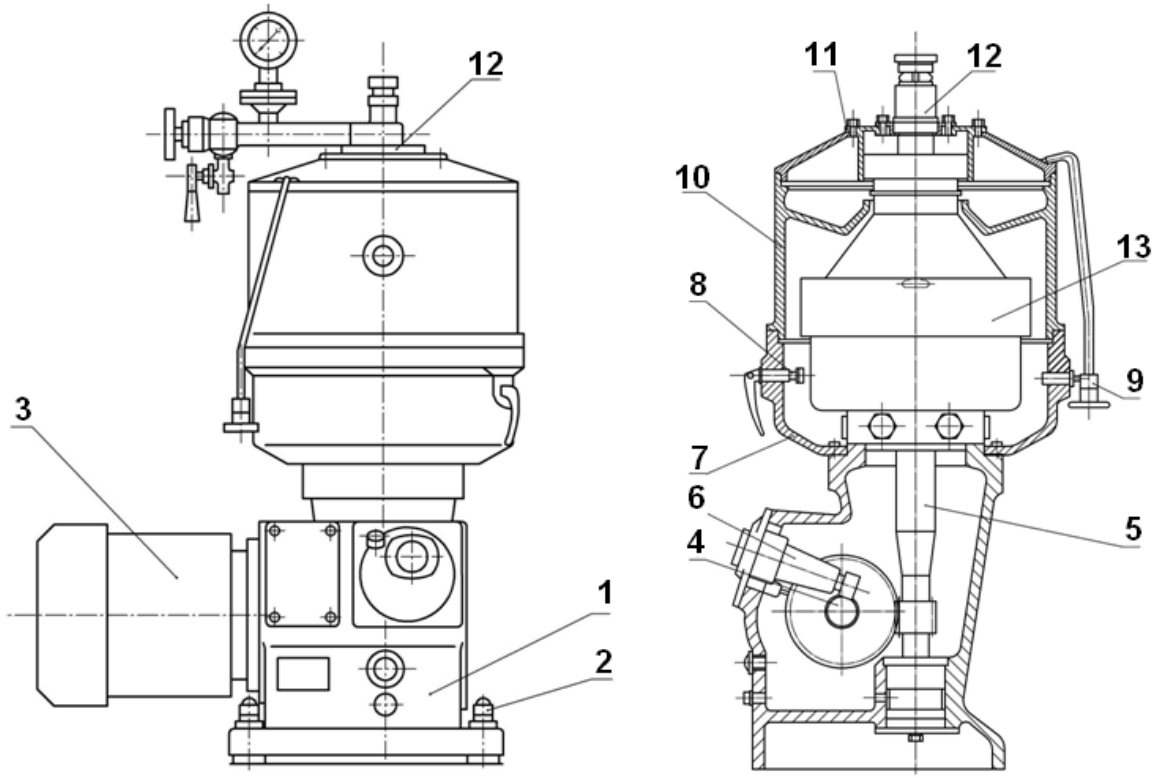


Рис. 1. Общий вид сепаратора

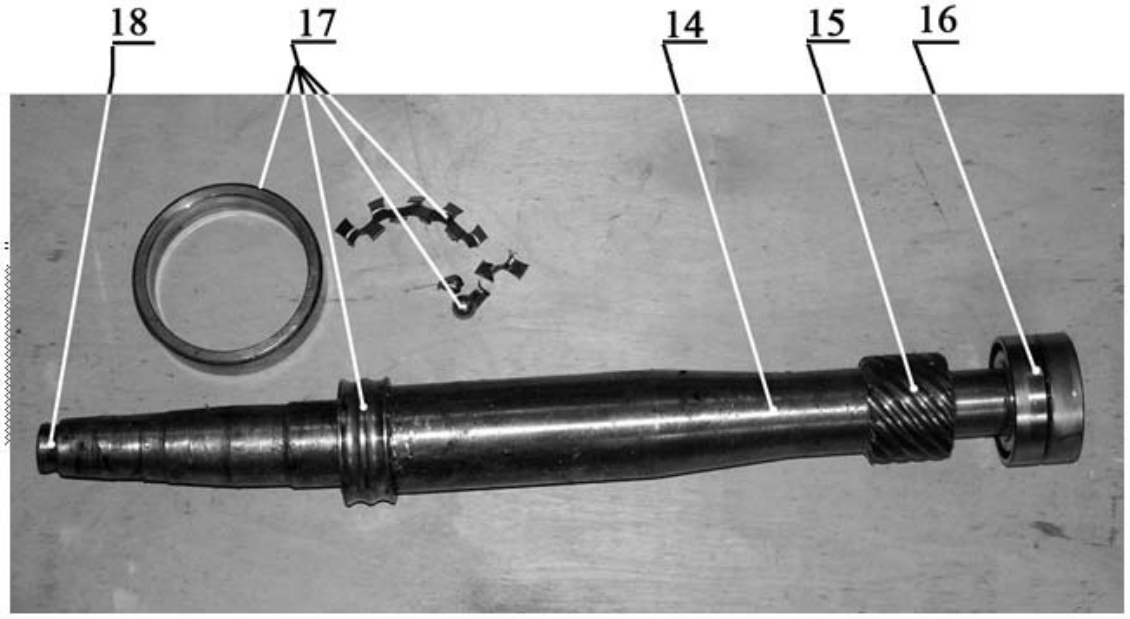


Рис. 2. Вид поврежденного вертикального вала с подшипниковыми опорами

Верхний двухрядный радиально-упорный подшипник 17 сепаратора находился в разрушенном состоянии и содержал:

– внутреннее кольцо, насаженное на вертикальный вал;

– наружное кольцо;

– часть сепаратора, состоящая из четырех фрагментов;

– один шарик из обоймы.

При осмотре на внутреннем и наружном кольцах и шарике трещин и других повреждений не выявлено.

Выполнены физико-химические исследования материала составных частей подшипника.

В результате исследований установлено:

– материал колец – сталь ШХ–15 ГОСТ 801–78;

– твердость материала колец – 61HRC;

– материал сепаратора – сталь 08 кп ГОСТ 1050–80 [2].

Сепаратор Ж5–ОС2–Д–500, заводской № 3376, изготовлен по ТУ 95–1890–89 Плавским машиностроительным заводом (Тульская область, Россия) в 1991 г. и смонтирован на бетонном фундаменте в цехе цельномолочной продукции ОАО «Костюковичский молокозавод».

Установлено, что во время поломки сепаратора было сорвано два анкерных болта, расположенных справа на фундаменте и повреждена (отколота) часть фундамента слева, а также вырвавшимся из сепаратора барабаном в сборе повреждена ванна, расположенная слева от фундамента. Крышка напорной камеры барабана сепаратора в центральной части имеет повреждение (на рис. 3 показано стрелкой А).

Рис. 3. Вид барабана сепаратора в сборе

При осмотре элементов барабана установлено, что характерные выборки металла на наружной поверхности основания барабана, кольце затяжном большом и крышке барабана, имеющие место при балансировке, отсутствуют. Из этого можно предположить, что балансировка его в заводских условиях не производилась.

Крышка и корпус приемника высокожирных сливок полностью распались на множество фрагментов (рис. 4 и 5).

Для установки тарелок на тарелкодержатель используются две шпонки, установленные под углом 90^0, т. е. несимметрично. Данный дисбаланс частично устраняется за счет пазов в тарелках, но из-за наличия зазоров между пазами и шпонками некоторый дисбаланс

заложен конструктивно. На наш взгляд, целесообразно было бы расположить упомянутые шпонки под углом 180^0, т. е. симметрично. Также дисбаланс может возникать из-за неравномерной плотности металла вращающихся элементов барабана. Поэтому при пуске сепаратора будут возникать вибрации. При дальнейшем его заполнении молоком вибрация будет практически отсутствовать, т. к. жидкость, распределяясь внутри барабана соответствующим образом, будет компенсировать существующий дисбаланс.

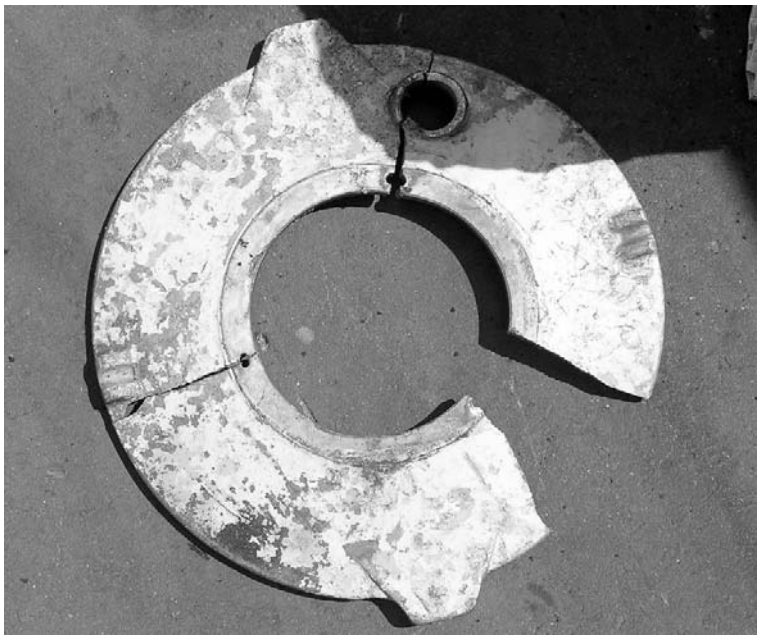


Рис. 4. Вид поврежденной крышки приемника высокожирных сливок

Рис. 5. Вид поврежденного корпуса приемника высокожирных сливок

В конструкции сепаратора для некоторой компенсации вибрации верхняя опора выполнена подпружиненной (установлено шесть пружин). Известно, что для этих целей недостаточно установки только упругих элементов. Необходимы в сочетании с упругими элементами также и диссипативные элементы (амортизаторы).

Кроме этого, крепление барабана на вертикальном валу недостаточно надежно, т. к. осуществляется только гайкой колпачковой. Стопорение этой гайки известными способами (контргайкой, шплинтом и т. д.) конструкцией сепаратора не предусмотрено. Поэтому, несмотря на наличие самоподжимной (левой) резьбы, под действием вибрации возможно ее самопроизвольное отворачивание. Следует также отметить, что заводом-изготовителем не предусмотрен контроль момента затяжки данной гайки. Использование для этих целей специального динамометрического ключа также не предусмотрено.

По информации работников ОАО «Костюковичский молокозавод» гайка колпачковая после аварии находилась внутри барабана. Поэтому можно предположить, что при пуске сепаратора от возникших вибраций произошло ее самоотворачивание и отбрасывание к периферии. Это привело к возрастанию несбалансированной центробежной силы инерции. В результате наличия на вертикальном валу конической посадочной поверхности возникла осевая составляющая центробежной силы, под действием которой произошел самопроизвольный сброс барабана в сборе с вертикального вала и разрушение сепаратора.

Для доказательства данных утверждений была создана компьютерная модель в среде трехмерного твердотельного моделирования SolidWorks 2006 (рис. 6).

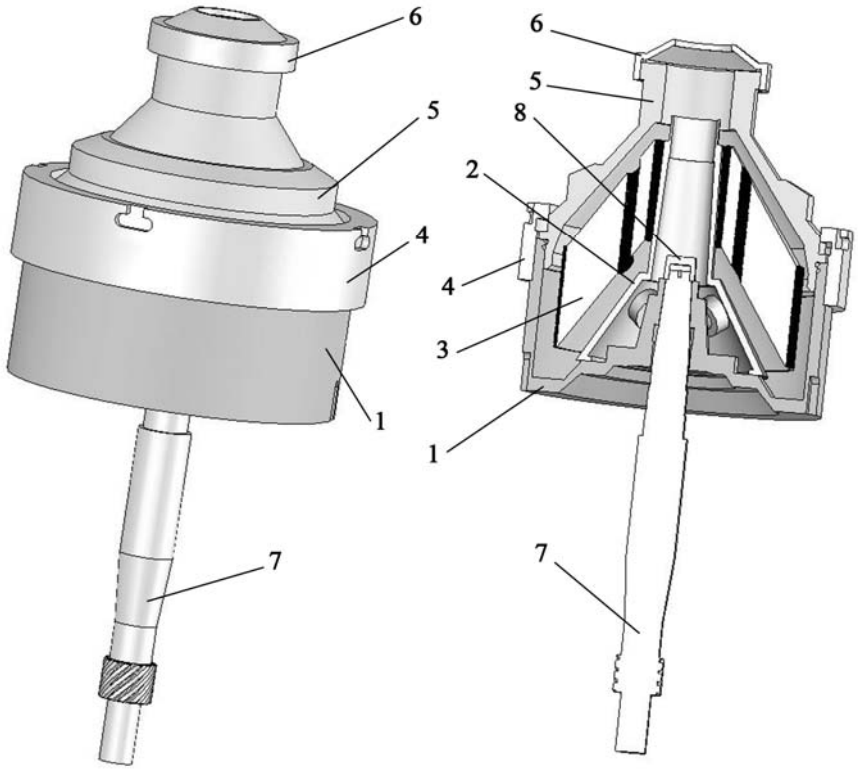


Рис. 6. Общий вид компьютерной модели барабана сепаратора

При создании модели были учтены следующие сборочные элементы барабана: 1 – основание барабана, 2 – тарелкодержатель, 3 – тарелки, 4 – кольцо затяжное большое, 5 – крышка, 6 – кольцо затяжное малое, 7 – вал вертикальный, 8 – гайка колпачковая. Размеры определены путем эскизирования элементов сепаратора, представленных на экспертизу. Физико-механические свойства элементов приняты из базы данных программы SolidWorks 2006. Далее модель была подвергнута анализу в среде Adams View 2005, предназначенной для имитации движения механизмов с учетом кинематических и силовых факторов. В местах расположения подшипников были поставлены взаимосвязи Revolute Joint (шарниры поворота, при котором детали могут совершать взаимный поворот относительно некоторой оси), а остальные детали жестко соединены между собой взаимосвязью Fixed Joint (фиксация, при которой происходит совместное перемещение двух жестких тел как одного целого). Для более качественного анализа было исследовано несколько вариантов модели с учетом силы тяжести, а также вариант, когда гайка колпачковая была помещена между тарелкодержателем и основанием барабана рядом с резьбовой частью вала вертикального, а ось вращения вала вертикального была смещена. Для того чтобы определить, при каком эксцентриситете может произойти поднятие барабана относительно вала вертикального, последовательно производилось изменение значения эксцентриситета с шагом в 0,05 мм.

Центробежная сила $F_ц$ при эксцентриситете в 0,35 мм составляет 33640 Н. Она может привести к деформированию вала. В связи с тем, что основная масса вращающихся элементов модели барабана сепаратора опирается на конус, то вертикальная составляющая этой центробежной силы равна $F_в = F_ц \cdot tg\alpha$. Угол 2α при обмере вала вертикального составил 6^0, соответственно, $\alpha = 3^0$. Таким образом, в результате подстановки получаем значение выталкивающей силы, равной 1763 Н. Вес барабана в сборе равен 1274 Н [1], что недостаточно для удержания барабана на валу. При этом сброс барабана в сборе с вертикального вала неизбежен. При подъеме барабана относительно вала эксцентриситет будет возрастать и, соответственно, возрастать несбалансированная центробежная сила инерции.

В результате выполненных исследований установлено, что из-за вибрации при пуске сепаратора Ж5–ОС2–Д–500 произошло самоотворачивание гайки колпачковой и отбрасывание ее к внутренней части тарелкодержателя. Это обусловило увеличение несбалансированной центробежной силы инерции. Наличие конической посадочной поверхности на вертикальном валу привело к разложению центробежной силы и появлению вертикальной составляющей данной силы, поднимающей барабан вверх. При подъеме барабана относительно вала эксцентриситет стал возрастать и, соответственно, стала возрастать несбалансированная центробежная сила инерции. Под действием этой силы произошел изгиб вертикального вала и разрушение его корпуса, что обусловило несчастный случай с тяжелым исходом.

В Осиповичском сельскохозяйственном производственном кооперативе (ОСПК) «Колхоз Авангард» Осиповичского района Могилевской области тракторист-машинист производил уборку кукурузы. При заточке ножей ротора измельчителя комбайна кормоуборочного полунавесного КПК–3000 «Полесье–3000» [3] (в дальнейшем именуемого комбайн КПК–3000) произошло разрушение сварного шва и сброс со стойки крепления устройства заточного. В результате чего тракторист-машинист получил травму с тяжелым исходом.

Процесс заточки ножей измельчающего аппарата регламентирован инструкцией по эксплуатации, согласно ко-

торому заточку ножей необходимо осуществлять не менее одного раза в день.

Комбайн КПК–3000 был смонтирован на средстве универсальном энергетическом «Полесье» УЭС–2–250, изготовленном ПО «Гомсельмаш», Республика Беларусь [4].

При проведении экспертизы осмотром установлено (рис. 7):

– разрушение (отрыв по сварным швам) корпуса нижнего 4 от трубы 5 стойки заточного устройства 1;

– заточное устройство 1 деформировало переднюю панель кожуха верхнего измельчающего аппарата 2 и было отброшено на настил жатки;

– сварные швы крепления корпуса нижнего 4 к стойке имели существенные дефекты;

– разрушения (сколы) ножей ротора измельчающего аппарата 3;

– повреждения (прогибы и другие дефекты) диска 6 заточного устройства 1.

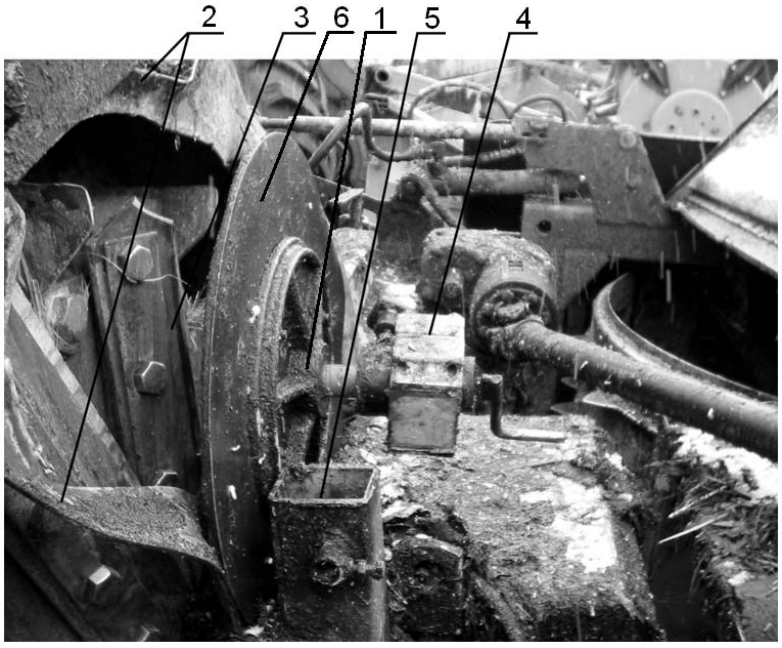


Рис. 7. Вид устройства заточного после аварии

Анализ технической документации устройства заточного комбайна КПК–3000 производился по фондам разработчика комбайна КПК–3000 Республиканского конструкторского унитарного предприятия «ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной технике» ПО «Гомсельмаш».

Устройство заточное 1 (см. рис. 7) изготавливается по чертежам и закрепляется на стойке 5 сваркой. Стойка 5 выполнена из прямоугольной трубы 80×60×4 ГОСТ 8645–68. Материал трубы стойки – сталь Ст.2пс ГОСТ 13863–86. Материал корпуса нижнего – сталь 20 ГОСТ 1050–74. Материал-заменитель корпуса нижнего согласно чертежу – сталь 18ХГТ ГОСТ 4543–71. Крепление корпуса нижнего с трубой стойки осуществляется по ГОСТ 14771–76 проволокой Св–08 Г2С ГОСТ 2246–70 согласно чертежу и технологическому процессу сварки. При этом все три сварных шва должны иметь катет, равный 4 мм.

Обмер поверхностей разрушения и сварных швов показал, что все швы не

носят сплошного характера, а имеют непровары значительной длины и неравномерные размеры катетов (рис. 8).

Суммарная длина непроваров по сварным швам составляет: шов *a* – 31 мм; шов *b* – 29 мм; шов *c* – 24 мм. Таким образом, непровары по длине швов составляют: шов *a* – 52 %; шов *b* – 48 %; шов *c* – 40 %.

Измерение катетов сварных швов показало: шов a_1 – 3 мм; шов a_2 – 2 мм; шов *b* – 2 мм; шов c_1 – 3 мм; шов c_2 – 2 мм. Проектная длина катетов сварных швов должна быть равна 4 мм. Следовательно, катеты a_1 и c_1 уменьшены на 1 мм, т. е. на 25 %, а катеты a_2, *b* и c_2 – на 2 мм, т. е. на 50 %.

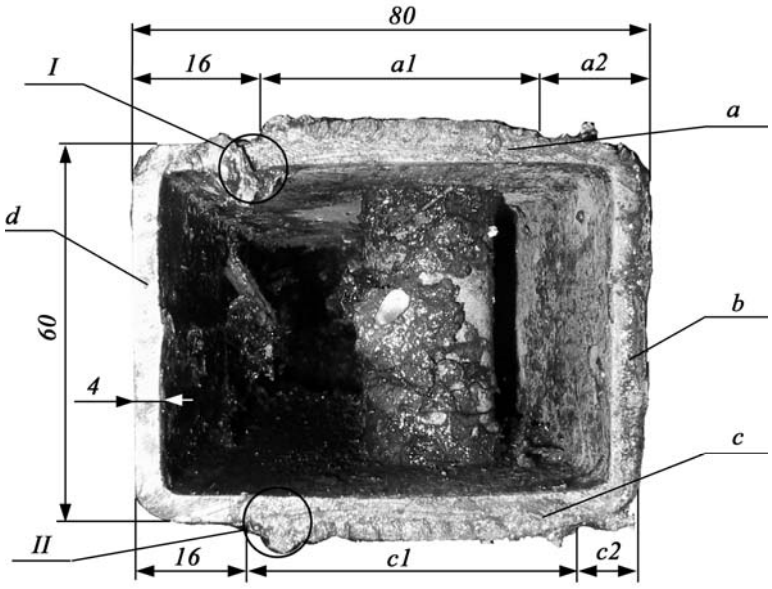


Рис. 8. Вид сварных швов на стойке в плоскости разрушения

Крепление корпуса нижнего 4 к стойке 5 осуществлено односторонним (наружным) сварным швом. При этом основание корпуса нижнего приварено к трем торцовым поверхностям (*a, b* и *c*) трубы стойки. Торцовая поверхность *d* и два участка по 16 мм поверхностей *a* и *c* не соприкасались с основанием нижнего корпуса, т. е. их приварка чертежом не предусмотрена.

По мнению авторов, соединение корпуса нижнего со стойкой недостаточно надежно. В процессе работы заточного устройства максимальные напряжения от суммарной продольной нагрузки F_1 = 2340 Н и поперечной нагрузки F_2 = 1400 Н будут концентрироваться в небольших (около 4 мм) зонах сварного шва *I* и *II*. Если учесть еще и то, что при работе заточного устройства передаваемая на сварные швы нагрузка будет носить переменный характер, то не исключается возможность появления в упомянутых зонах *I* и *II* сварных швов усталостных трещин, что в конечном итоге приведет к их разрушению.

Авторами приведена оценка распределения напряжений по длине сварных швов по программе SolidWorks 2004 с пакетом прикладных программ COSMOSWorks 2003. Анализ напряженно-деформированного состояния системы проведен при постоянных внешних нагрузках. Расчетная модель с ограничениями и приложенными силами составлена на основании

технической документации и расчетной схемы разработчика. При расчетах в качестве аналога стали 20 (корпус нижний) использована сталь AISI 1020, а для стали Ст. 2пс (труба) и сварных швов – AISI 304. Эти стали (AISI 1020, AISI 304) по своим показателям практически соответствуют сталям упомянутой отечественной классификации. При расчетах установлено, что наиболее нагруженными участками являются два угловых шва (см. рис. 8, зона *I* и зона *II*). В имеющемся опасном сечении напряжения (около 254 МПа) примерно в 2 раза превышают допускаемые (135 МПа), однако средние напряжения по всему шву не превышают допускаемых.

По мнению авторов, заточка ножей ротора измельчителя комбайна КПК–3000 относится к работам с повышенной опасностью. При выполнении заточки на крепление корпуса нижнего к стойке заточного устройства действуют значительные переменные нагрузки, что требует разработки более надежного варианта крепления корпуса нижнего к стойке или изменения конструкции элементов для установки заточного устройства.

Исследования материала зоны сварного шва выполнялись по двум образцам:

– образец 1 был вырезан из угла трубы стойки с остатком сварного шва 5;

– образцом 2 является корпус нижний с остатками сварных швов 4.

При исследовании установлено, что материал трубы стойки по химическому составу соответствует стали 20 ГОСТ 1050–88, а материалом корпуса нижнего по химическому составу является сталь 30ХГТ ГОСТ 4543–71 или 35ХГС ГОСТ 977–88. Твердость материала HRC 30, твердость сварных швов HRC 32. Сварку этих сталей следует производить с обязательным предварительным подогревом и последующей термической обработкой.

Технической документацией завода-изготовителя в качестве материала корпуса нижнего не предусмотрено применение стали 30ХГТ(С) (должна применяться сталь 20 ГОСТ 1050–88 или в качестве заменителя – сталь 18ХГТ ГОСТ 4543–71). Также в технологическом процессе не предусмотрен предварительный подогрев и последующая термическая обработка корпуса нижнего перед сваркой со стойкой, а также не предусмотрено применение аустенитных сварочных материалов.

По мнению авторов, разрушение сварных швов соединения нижнего корпуса со стойкой заточного устройства комбайна КПК–3000 произошло в результате совместного действия ряда причин:

– применение заводом-изготовителем в качестве материала нижнего корпуса заточного устройства стали, не соответствующей технической документации. Это вызвало появление зоны хрупкого разрушения сварного соединения;

– наличия значительных непроваров сварных швов;

– неравномерности и заниженных значений катетов сварных швов.

В результате анализа обстоятельств упомянутых несчастных случаев установлено, что их причинами являются несовершенство конструкций и дефекты при изготовлении машин, поставляемых для агропромышленного комплекса.

В целях повышения безопасности машин заводам-изготовителям необходимо усовершенствовать конструкции в соответствии с современным требованиям и усилить контроль за технологическими процессами их изготовления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сепаратор высокожирных сливок Ж5–ОС2–Д–500.** Инструкция по эксплуатации 00.000 ИЭ. Заводской № 3664. – Плавск : Плавский машиностроит. з-д «Смычка», 1988. – 38 с.

2. Марочник сталей и сплавов / М. М. Колосков [и др.]. – М. : Машиностроение, 2001. – 672 с.

3. **Комбайн полунавесной кормоуборочный «Полесье–3000».** Инструкция по эксплуатации. – Минск : Полымя, 1993. – 104 с.

4. **Средство энергетическое универсальное УЭС–2–250А «Полесье».** Паспорт УЭС–7–0000000П.С. – Гомель : Гомсельмаш. – 22 с.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 24.03.2008

**S. D. Haliuzhyn, D. S. Haliuzhyn,
V. M. Puskova, M. I. Rutskiy**

The analysis of the accidents while machine operation at enterprises of agro-industrial complex

The results of the analysis of accidents while machine operations at enterprises of agro-industrial complex are given in the article. As a result of a breakdown of the «Creamer Ж5–ОС2–Д–500» at «Kostukovichi Milk Plant» the operator got a serious injury. In «Kolkhoz Avangard» in Osipovichi district a tractor driver got a serious injury while grinding the knives of grain harvester КПУ–3000 «Polesye–3000» shredder rotor.

УДК 628(076.5)

С. В. Матусевич, канд. техн. наук, доц., Е. В. Жаравович, Д. А. Автушенко

РАСЧЕТ И АНАЛИЗ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОСВЕЩЕНИЯ НА ЭВМ

Рассматриваются вопросы расчетов на ПЭВМ различных видов систем освещения. Расчет естественного освещения и поиск оптимальных параметров производится для помещений с односторонним, двусторонним, верхним и комбинированным освещением. Искусственное освещение рассчитывается для общего равномерного, локализованного, местного, комбинированного и совмещенного освещения. В программу заложены все необходимые данные для расчета искусственного освещения в основных промышленных цехах. Пользователь все время находится в диалоговом режиме работы с программой. Программа может быть использована как в учебном процессе, так и для расчета освещения промышленных зданий, жилых помещений, библиотек, читальных залов и т. д.

Информация, которую человек получает из внешнего мира, поступает, в основном, через зрительный анализатор, и качество информации во многом зависит от освещения.

Свет влияет на состояние высших психических функций и физиологические процессы в организме.

Правильно выполненная освещенность и целесообразно спроектированная система освещения способствуют росту производительности труда, уменьшению брака, сокращению травматизма и дает большую экономию электроэнергии. Поэтому расчетам освещения и правильному устройству осветительных установок уделяется серьезное внимание.

К освещению предъявляются жесткие требования: обеспечение нормативной и равномерной освещенности; отсутствие прямой и отраженной блесткости; отсутствие резких теней; максимальное приближение освещения к солнечному по распределению яркостей, контрасту светотени. В то же время естественное и искусственное освещение должны быть выполнены с наименьшими экономическими затратами, отвечать требованиям правильной цветопередачи.

Помещения можно освещать естественным или искусственным светом, одновременно тем и другим (совмещенное освещение).

Естественное освещение, как правило, должны иметь помещения с постоянным пребыванием людей. Без естественного освещения допускается проектирование помещений, которые определены строительными нормами, а также помещений, размещение которых разрешено в подвальных и цокольных этажах зданий.

Совмещенное освещение предусматривается для помещений, в которых выполняются работы от 1 до 3 разрядов включительно, когда невозможно обеспечить нормированное значение естественного освещения, а также когда имеется технико-экономическая целесообразность совмещать освещение и т. п.

Естественное освещение в помещении подразделяют на боковое, верхнее, а также то и другое (комбинированное).

Боковое освещение применяется, как правило, в многоэтажных зданиях, а также в одноэтажных при отношении глубины помещения к высоте окон над условной рабочей поверхностью не более 8, а верхнее – в одноэтажных многопролетных зданиях.

В помещениях применяют систему общего и комбинированного (общего и местного) искусственного освещения.

В системе общего освещения различают два способа размещения светильников: равномерное и локализованное.

Локализованное освещение позволяет уменьшить расход электроэнергии и обеспечить лучшее качество освещения.

К недостаткам локализованного освещения следует отнести повышенную неравномерность распределения яркости.

Система комбинированного освещения применяется в помещениях, где выполняются работы 1, 2 , 3, 4а, 4б, 5а разрядов, а также в помещениях с оборудованием, рабочие поверхности которого расположены вертикально или наклонно и нуждаются в сравнительно высоких уровнях освещенности.

На кафедре «Безопасность жизнедеятельности» Белорусско-Российского университета разработана программа для расчета освещения на персональном компьютере (ПК) с оптимальными параметрами и с минимальными затратами электроэнергии.

Программа позволяет рассчитывать естественное, искусственное и совмещенное освещение.

Расчет естественного освещения производится для помещений с односторонним боковым, двусторонним боковым, верхним и комбинированным (боковое и верхнее) освещением.

Искусственное освещение рассчитывается для общего освещения помещений с равномерным расположением светильников и сосредоточенным или отдельным положением каждого светильника (локализованное), а также комбинированное (общее и местное освещение).

При расчете совмещенного освещения рассчитывается естественное и искусственное освещение с учетом санитарных и строительных норм и правил.

В системе расчета комбинированного освещения рассчитывается местное освещение светильниками, расположенными непосредственно у рабочих мест и светильниками общего освещения, что значительно уменьшает расход электроэнергии и эксплуатационные расходы. Кроме того, местное освещение может быть выключено в моменты остановки работ, а также позволяет изменить направление светового потока, высоту.

В программе учитываются следующие основные факторы: человеческий, санитарные и строительные нормы и правила, экономический, характеристики осветительных устройств и приборов и т. д. Эти факторы имеют как прямые, так и обратные связи.

Пользователь все время находится в диалоговом режиме работы с программой.

Для промышленных цехов: механического, инструментального, сборочного, гальванического с отделениями мойки, травления, полировки, покрытия, – все данные для расчета искусственного освещения заложены в программе, и пользователь вводит только строительный модуль и высоту здания.

Программа для расчета освещения (CBETD) разработана на языке системы Delphi последних версий. Система Delphi – это мощная среда для разработки сложных приложений самого разного характера и назначения.

При разработке программы учитывался тот фактор, что программа может быть использована как учебный материал при изучении студентами темы по освещению, поэтому она содержит богатый информационный материал по данной теме. Последнее нисколько не умаляет большие возможности программы для расчета оптимальных параметров освещения.

Программа имеет три основные формы. Первая форма (PRED) – предисловие – сообщает информацию о программе. Во второй форме (MU) – методические указания – приводятся список литературы и методические указания по расчету освещения. В третьей (основной) (PAC) – выполняются все необходимые расчеты.

На рис. 1 показано размещение на форме PAC (поз. 1) интерфейсных элементов.

На форме размещен многострочный редактор (поз. 2), пять меток (поз. 3, 4, 7–9), панель (поз. 5), на которой размещены зависимые переключатели, строка ввода

(поз. 6), кнопка ввода (поз. 10) и кнопка Close (поз. 11) для завершения работы программы.

Текстовый редактор Memo позволяет вводить большой объем информации и комментариев к программе. Многострочный редактор не появляется в окне программы в том случае, когда не требуются дополнительная информация или комментарий. В таких случаях появляются метки (поз. 3 и 4).

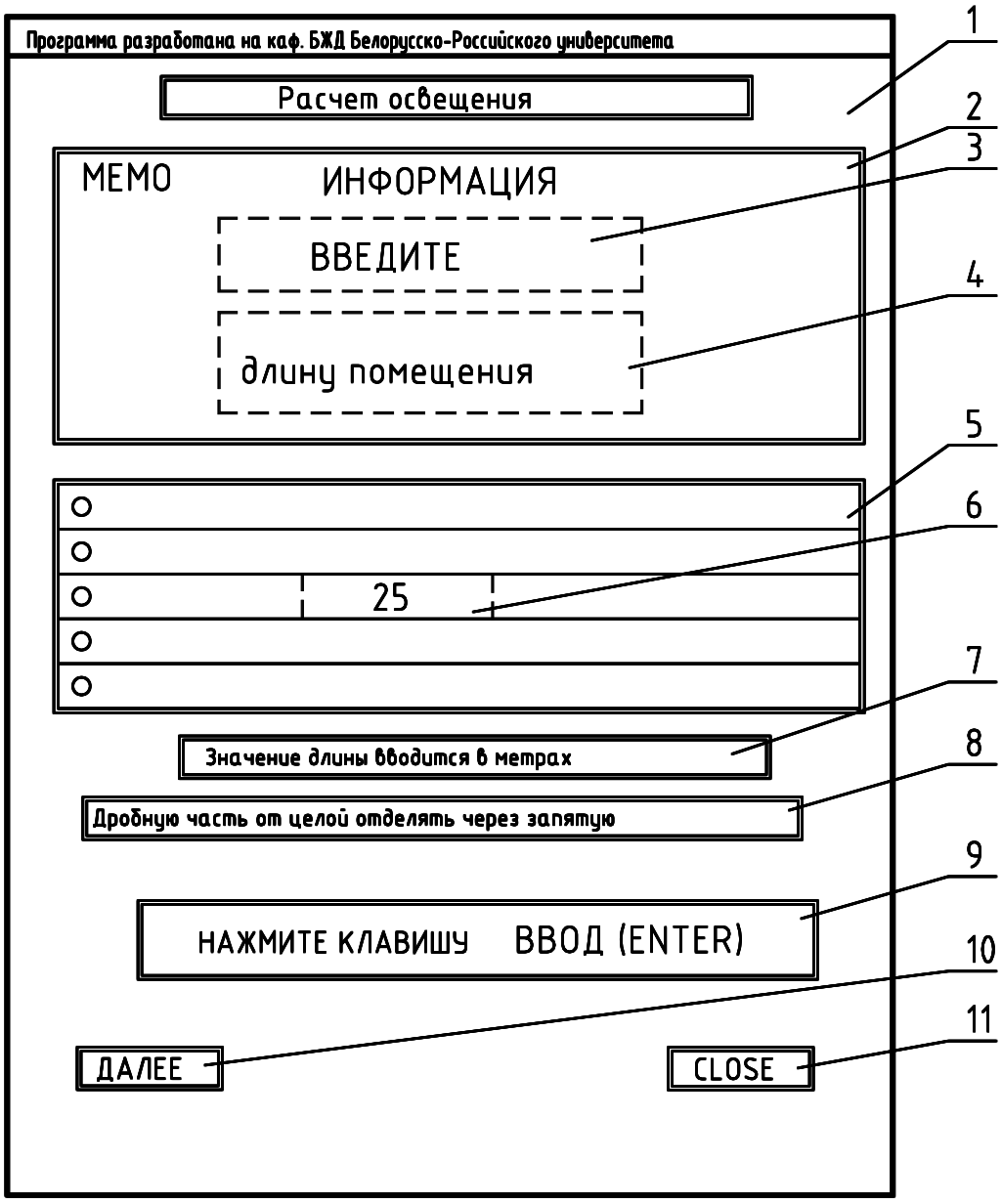


Рис.1. Вид формы РАС

Когда требуется обратить внимание пользователя на вводимый параметр, на ошибочные действия или комментарии по ходу выполнения программы, текст редактора имеет красный цвет. В случае возможностей двузначного понятия вводимого параметра, текст редактора – черного цвета. Простая информация

отображается синим цветом.

Текст на метках (поз. 3 и 4) требует ввода значений или параметров без комментариев.

Позицией 5 обозначена панель, на которой расположены зависимые переключатели. Переключатели имеют соответствующие надписи. В текстовом редакторе может появиться информация, поясняющая надписи. Один из переключателей обязательно включен (обычно первый). Иногда поле панели не позволяет разместить все переключатели, тогда пользуются полосой прокрутки. При отсутствии переключателей панель отсутствует и на ее месте появляется строка ввода (поз. 6). Текст на строке ввода имеет вид цифр, букв и других знаков.

Надписи на метках 7 и 8 дают пояснения к вводимым параметрам. Надпись на метке 8 обычно имеет вид, показанный на рис. 1 (принят стандарт России).

Надпись на метке 9 появляется в том случае, когда включена строка ввода (поз. 6). Параллельная работа метки 9 и текстового поля облегчает работу пользователя (работа только с клавиатурой).

Кнопка 10 может появляться или не появляться на панели. Это зависит от операций, которые в данный момент выполняет программа и указывает на действия, которые должен выполнять пользователь.

Кнопка 11 (Close) позволяет завершить работу программы в любой момент.

Естественное освещение рассчитывается для способов и видов освещения.

Предварительно определяется площадь достаточного естественного освещения (площадь пола) в зависимости от условий обеспечения нормируемого значения коэффициента естественной освещенности (КЕО) на глубине помещения для работ с различными зрительными условиями и сравнивается с действительной площадью пола.

В случае, если действительная площадь пола больше расчетной, предлагается другой вид или способ освещения.

При расчете естественного освещения определяется площадь световых проемов с учетом санитарных норм, равномерности освещения, требований строительных нормативов.

Характеристики световых проемов могут задаваться пользователем или программа сама выбирает оптимальные значения параметров световых проемов, исходя из заданных условий работы, разряда зрительной работы, требований строительных норм и т. д.

Нормируемое значение КЕО рассчитывается с учетом коэффициента светового климата и административных районов для всех областей РБ и ближайших соседних районов РФ и принимается по СНБ 2.04.05–98. Более подробные нормируемые значения КЕО принимаются по отраслевым нормам. В связи с тем, что значения могут изменяться и уточняться, в программе предусмотрен ввод значения КЕО пользователем, но и в этом случае программа контролирует введенное значение КЕО.

С учетом специфики технологического процесса, условий зрительной работы, контраста объекта различения с фоном, отсутствия слепимости, объемно-планировочного и конструктивного решения здания применяют верхнее освещение (через фонари). Проанализировав вышеуказанные факторы, программа сделает запрос о наличии или проектируемом верхнем освещении. При недостаточности факторов о решении применения верхнего освещения программа запросит дополнительные сведения.

Если пользователем будет предложено верхнее освещение, программа проанализирует факторы и сделает вывод о целесообразности применения фонарей, об этом будет сообщено пользователю, так как применение верхнего освещения удорожает строительство до 11 % и требует увеличения затрат при их эксплуатации.

Программа предлагает два варианта ввода параметров фонарей. При первом варианте программа запрашивает

тип фонаря и все необходимые его параметры. При втором варианте сама выбирает тип фонаря и его параметры в зависимости от помещения, видов работ, объемно-планировочного решения, этажности, количества пролетов и других факторов. Первый вариант целесообразно применять при проектировании или когда пользователь имеет полную информацию о конструкции фонарей.

При расчете освещения может появиться ситуация, когда требуемое освещение обеспечивается боковым освещением. В этих случаях программа указывает об этом пользователю и не считает за ошибку, т. к. верхнее освещение может быть вызвано производственной необходимостью. В программе принимается площадь фонарей не более 15 % от площади пола.

Для некоторых помещений, условий зрительной работы, характеристик световых проемов невозможно обеспечить нормативную и равномерную освещенность. В этих случаях программой анализируются значения введенных параметров и предлагаются другие виды и способы освещения или предлагается уточнить значения вводимых параметров (параметры указываются).

Искусственное освещение рассчитывается для систем общего и комбинированного (общее и местное) освещения. В системе общего освещения расчеты выполняются для двух способов расположения светильников: равномерного и локализованного.

В качестве источников света рассматриваются лампы накаливания (ЛН), газоразрядные лампы низкого давления – люминесцентные (ЛЛ), высокого давления (ДРЛ, МГЛ, ДРИ и др.) и энергосберегающие источники света.

Выбор источника света в системах искусственного освещения проводится в зависимости от особенностей зрительной работы, требований цветопередачи, экономических требований и т. д. Для освещения помещений предпочтение отдается разрядным и энергосберегающим источникам света как наиболее экономичным.

При выборе источника света учитываются их преимущества и недостатки.

Несмотря на малую экономичность, ограниченный срок службы, желто-красную часть спектра, лампы накаливания остаются численно преобладающими в выпуске источников света. Лампы накаливания имеют незначительное снижение светового потока к концу срока службы, независимы от условий окружающей среды, работоспособны при значительных отклонениях напряжения.

Широко применяемые люминесцентные лампы низкого давления имеют ряд существенных преимуществ: высокая световая отдача, большой срок службы, различный спектральный состав, относительно малая яркость. Основными недостатками люминесцентных ламп являются сложность включения, зависимость от температуры окружающего воздуха, значительное снижение светового потока к концу срока службы, пульсация светового потока, которая приводит к возникновению стробоскопического эффекта.

В последнее время все активнее применяются галогенные лампы из-за целого ряда преимуществ: большой световой отдачи, увеличенного срока службы, малых размеров.

Лампы дуговые ртутные высокого давления применяют для освещения больших производственных площадей и уличного освещения.

Лампы типа ДРЛ имеют ряд преимуществ: высокая световая отдача, большой срок службы, работа в различных условиях внешней среды. К недостаткам следует отнести: технические недостатки (работа только на переменном токе, включение через балластный дроссель, длительность разгорания и другие), пульсация светового потока, значительное снижение светового потока к концу срока службы.

Для местного освещения используют лампы на напряжение 12; 24; 36 В. К ним относят лампы местного освещения: в прозрачной колбе – МО, в колбе с диффузным отражением – МОД и с зеркальным отражением – МОЗ. Находят применение люминесцентные лампы.

В последнее время все более широкое применение находят энергосберегающие лампы. Эти лампы дают значительную экономию электроэнергии (до 6 раз). Влияние энергосберегающих ламп на самочувствие и здоровье человека в настоящее время изучено недостаточно, и применение этих ламп должно быть обосновано.

В библиотеке программы имеется большая база данных источников света и при расчете освещения учитываются преимущества и недостатки источников света, область их применения и другие факторы.

К основным характеристикам светильников относятся их кривые силы света.

Установлено семь основных типовых кривых силы света. В практике применяют дополнительные (специальные) кривые силы света. В программе рассматривается десять кривых силы света.

Светотехнические характеристики светильников не всегда сообщаются или они недостоверны, все это в некоторых случаях затрудняет проведение точных расчетов.

При выборе светильника учитываются следующие требования: светотехнические, экономические, условия среды и эстетические.

Экономическая эффективность светильника зависит от типа светильника, высоты подвески, размещения светильников, источника света т. д.

Увеличение или уменьшение относительного расстояния между светильниками по сравнению с самым выгодным вызывает уменьшение или увеличение равномерности освещения. В программе рассчитываются оптимальные значения расположения светильников и схемы их размещения в зависимости от кривых силы света и других параметров. В базе данных программы имеется большое количество светильников для эксплуатации в различных условиях, с различными источниками света, видов и способов освещения.

Для получения экономии электроэнергии и для исключения стробоскопического эффекта в РБ Лидским и Гомельским заводами выпускаются светильники, оснащенные электромагнитными и электронными пускорегулирующими аппаратами (ПРА).

Перед проведением расчетов освещения программа запрашивает необходимые данные для расчета.

Для определения освещенности будут затребованы следующие данные: разряд и подразряд зрительной работы, характеристика фона, контраст объекта с фоном, вид и способ освещения. По этим данным программа по СНБ 2.04.05–98 определяет значение освещенности. Более подробные нормируемые значения освещенности принимаются по отраслевым нормам. В связи с тем, что значения освещенности изменяются и уточняются, в программе предусмотрен ввод значения освещенности пользователем, но и в этом случае программа контролирует введенное значение освещенности.

Общее равномерное освещение рассчитывается по методу коэффициента использования, а местное – по точечному методу.

Для расчета общего освещения предлагается несколько вариантов. При расчете по первому варианту программа выполняет расчеты освещения для всех светильников, имеющихся в базе данных, и находит светильники с наименьшим расходом электроэнергии, которые обеспечивают нормативную и равномерную освещенность. Если в базе данных отсутствуют светильники, обеспечивающие заданную освещенность, программа сообщает об этом пользователю и после анализа исходных данных предлагает уточнение некоторых данных или требует ввести новый светильник.

Расчет освещения проводится для оптимальных высот расположения светильников с учетом высоты, заданной пользователем, параметров помещения и технологического процесса.

Для расчета по второму варианту пользователь выбирает светильник из базы данных программы. В этом случае программа рассчитывает освещение по исходным данным, введенным пользователем. В случае невозможности обеспечения нормативной и равномерной освещенности программа предлагает свои услуги по определению оптимальных параметров расположения светильников. Некоторыми светильниками невозможно обеспечить требуемые значения освещенности, тогда программа указывает на параметры, по которым невозможно обеспечить требуемое освещение и предлагает ввести новый светильник.

Расчет по третьему варианту проводится для светильников, введенных пользователем. Тип и характеристику светильника и источника света пользователь может взять из электротехнических справочников или из Интернета. Для некоторых светильников полная информация не сообщается, в этом случае данные принимают по однотипным светильникам.

Расчет освещения локализованного участка проводится аналогично расчету общего равномерного освещения. Площадь локализованного участка должна быть значительно меньше общей освещаемой площади. Нормируемое значение освещенности локализованного участка слагается из общего освещения и освещения локализованного участка.

При локализованном размещении светильников освещенность проходов и участков, где работа не производится, составляет не более 25 % нормируемой освещенности, создаваемой светильниками общего освещения, но не менее 75 лк при разрядных лампах и не менее 30 лк при лампах накаливания.

Для участков незначительной площади и имеющих наклонную плоскость расчет обычно проводится по точечному методу как для местного освещения.

При местном освещении светильники расположены непосредственно у рабочего места и предназначены только для освещения рабочей поверхности.

В базе данных программы имеется достаточно большое число светильников для местного освещения. Пользователь может воспользоваться имеющимися светильниками или предложить свои светильники, указав тип светильника и его технические характеристики и другие данные, необходимые для расчета (программой запрашиваются). Расчет сводится к определению оптимального расположения светильника над расчетной точкой (высоты расположения светильника и угла между вертикалью и направлением силы света).

Комбинированное освещение включает в себя местное и общее освещение и, соответственно, сводится к расчетам общего и местного освещения с учетом освещенности для комбинированного освещения.

Совмещенное освещение практически применяется для освещения всех помещений и устраивается в виде двух раздельных систем: искусственного и естественного освещения. Первая система – постоянное дополнительное освещение – может работать непрерывно целый рабочий день и освещать определенную зону, где недостаточно естественного освещения. Естественное освещение имеет значительные преимущества перед искусственным и поэтому в программе отдается преимущество естественному освещению. Только в том случае, когда недостаточно естественного освещения или оно отсутствует, программа предлагает использовать искусственное.

ЛИСТИНГ 1

ПРОГРАММА CBETD
СОВМЕЩЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ
Вид помещения – жилые комнаты, лаборатории, читальные залы
Разряд зрительной работы – 4
Длина помещения или пролета, м – 11
Высота условного рабочего места, м – 0,8
Высота помещения, м – 3,4
Ширина помещения, м – 6
Толщина стен, м – 0,5
Расстояние от пола до подоконника, м – 0,7
РБ: Гродненская, Минск., Витебск., Могилевская обл.

Данные для расчета бокового освещения
Угол наклона светопропускающего материала к горизонту – от 75 до 90 град.
Светопропускающий материал – стекло двойное
Вид переплета – деревян., двойные, разделен. для жилых и общест. зданий
Вид несущих покрытий – балки и рамы t <= 50 см
Солнцезащитные уст-ва – убирающиеся и регулируем. жалюзи и шторы
Контраст объекта с фоном – средний
Характеристика фона – средняя
Характеристика зрительной работы – требуется цветоразличение
Характеристика помещения – с нормальн. условиями
Расположение оборудования – у стен

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ
Вид естественного освещения – боковое двустороннее освещение
Значение КЕО введено пользователем
Коэф. естественного освещения, % – 2
Высота окон, м – 2,2
Площадь окон, $м^2$ – 14
Система искусственного освещения – общее равномерное освещение
Расчет общего равномерного освещения
светильниками из библиотеки программы минимальной мощности
Нормированная освещенность для общего равномер. освещения, лк – 500
Значение освещенности введено пользователем
Тип светильника – ЛПБ 71–2*40–УХЛ4
Источник света – люминесцентные лампы
Мощность лампы, Вт – 40
Количество ламп в светильнике – 2
Высота светильника над рабочим местом, м – 1,5
Тип кривой силы света – косинусная (Д–2)
Световой поток, лм – 2,1Е3
Количество рядов – 2
Количество светильников в ряду – 8
Общее количество ламп – 32
Мощность осветительной установки, Вт – 1,28Е3

Выводы

1. Программа позволяет рассчитать и найти оптимальные размеры световых проемов при естественном освещении.

2. Имеющееся в базе данных большое количество источников света и светильников позволяет подобрать светильники с наименьшим расходом электроэнергии.

3. Возможности программы позволяют использовать новейшие световые устройства.

4. Программа может быть использована как программа-лекция.

5. Возможности программы позволяют рассчитывать все виды и способы освещения для промышленных зданий, жилых помещений, библиотек, читальных залов и т. д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **СНБ 2.04.05–1996.** Естественное и искусственное освещение. – Минск : М-во архитектуры и стр-ва Республики Беларусь, 1998. – 20 с.

2. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Под ред. Г. М. Кнорринга. – Л. : Энергия, 1976. – 230 с.

3. **Дятков, С. В.** Архитектура промышленных зданий / С. В. Дятков, А. П. Михеев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : АСВ, 1998. – 440 с.

4. **Оболенцев, Ю. Б.** Электрическое освещение общепромышленных помещений / Ю. Б. Оболенцев, Э. Л. Гиндин. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 112 с. : ил.

5. **Земцов, В. А.** Методика расчета естественного освещения помещений / В. А. Земцов // Нормирование и стандартизация в строительстве : информ. бюл. – 1996. – № 5. – С. 6.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 18.04.2008

S. V. Matusevich, E. V. Zharavovich,
D. A. Avtushenko

Computer calculation and analysis of optimum lighting parameters

Ways and kinds of lighting are considered in the article. Calculation of lighting and search of optimum parameters are made for rooms with one-sided, two-sided, overhead and combined lighting. Artificial lighting is calculated for general even lighting, local lighting and combined lighting. The program contains necessary data for artificial lighting calculation in the main industrial workshops. The user is constantly in an interactive mode with the program. The given program can be used both in education and for lighting calculation in industrial buildings, living quarters, libraries, reading rooms, etc.

ЭКОНОМИКА. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 338

В. С. Зеньков, канд. техн. наук, доц., О. А. Шестопалова

ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ ПРОБЛЕМА И ОСОБЕННОСТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

В статье представлен анализ эволюции продовольственной проблемы и подходов к ее решению. Авторами предпринята попытка разграничить категории «продовольственная проблема», «продовольственная безопасность», «продовольственная независимость». Сделан вывод о специфике продовольственной проблемы в группах стран с разным уровнем социально-экономического развития. В качестве единицы для исследования выделяется подкомплекс АПК. Решение продовольственной проблемы сведено к эффективности функционирования субъектов рынка продовольствия. На этой основе сделан ряд выводов, актуальных для формирования подходов к решению продовольственной проблемы Беларуси.

Одним из приоритетных направлений мировой агроэкономической политики XXI в. остается решение продовольственной проблемы, различные аспекты которой обсуждаются на уровне правительств и международных организаций, ученых и общественных деятелей. Все страны мира вовлечены в процессы производства и распределения продовольствия. Реформы в аграрной политике, итоги Уругвайского раунда торговых переговоров способствуют либерализации рынков продовольствия.

Однако, как утверждают эксперты, уже при жизни нынешнего поколения продовольственная проблема может перерасти в глубокий международный кризис, поскольку на планете недоедает более 1 млрд чел., свыше 820 млн чел. голодают, из них около 200 млн – дети, 30–35 млн чел. ежегодно преждевременно умирают по причине голода [1, с. 26; 2]. При этом более половины производимых продуктов питания потребляет население промышленно развитых стран (1/5 населения планеты), где показатели потребления превышают медицинские нормы и это также отрицательно сказывается на здоровье, создает предрасположенность к заболеваниям или является их непосредственной причиной. В целом, около 45 % населения мира сталкиваются с проблемами, обусловленными питанием, что отражается на качестве жизни, ее продолжительности.

Продовольствие является одним из важнейших приоритетов экономического развития Беларуси, условием ее независимости, фактором поддержания благоприятной конъюнктуры национального рынка. Целью исследования является выработка основ для решения продовольственной проблемы страны на базе ее эволюции в системе «продовольственная проблема – продовольственная безопасность – продовольственная независимость».

Механизм проведения подобных исследований начал формироваться в XVIII в. во Франции в рамках одной из первых школ экономической науки – учения физиократов. Исходя из того, что именно земледельческий труд создает национальное богатство, в трудах Ф. Кенэ, Мерсье де ля Ривьера, Ж. Тюрго, В. Мирабо критический анализ меркантилизма сочетается с идеализацией и защитой сельского хозяйства.

Методика оценки обеспеченности продовольствием была впервые предложена англиканским священником, экономистом и демографом, профессором политэкономии Томасом Робертом Мальтусом (1766–1834), взгляды которого изложены в работе «Эссе о принципе народонаселения» (1798). Анализ соотношения темпов роста средств к существованию и темпов роста населения позволил сформулировать закон народонаселения, согласно которому эти показатели соотносятся как арифметическая и геометрическая прогрессии. С развитием научно-технического прогресса теория Мальтуса была опровергнута, однако предложенная им методика используется по сей день. Мировой опыт подтверждает и выводы ученого: ежегодный прирост населения составляет 3,5 %, продовольствия – 1,5 % [3, с. 57]. Кроме того, с нехваткой продовольствия действительно в первую очередь сталкиваются беднейшие слои населения, а в мировом масштабе – страны, где голодает до 2/3 населения: Конго – 72 %, Либерия – 49 % [2].

Исследованию продовольственной проблемы в ее современной интерпретации посвящены работы многих зарубежных ученых (Е. Барбер, Р. Колз, Дж. Ул, П. Хазелл и др.), ученых-представителей стран СНГ (А. И. Алтухов, В. С. Балабанов, Е. Н. Борисенко, Д. Ф. Вермель, А. Г. Зельднер, Е. В. Ковалев, К. Е. Кубаев, В. В. Милосердов, Е. Е. Румянцева и др.), белорусских ученых (В. А. Воробьев, Г. И. Гануш, В. Г. Гусаков, З. М. Ильина, И. Н. Никитченко, С. Б. Шапиро и др.).

Традиционно решение проблемы сводится к необходимости обеспечить население продуктами питания в достаточном количестве и в силу этого наращивать валовые показатели за счет интенсификации производства, совершенствования технологий переработки и хранения, роста мировой торговли. С позиций XXI в. такой подход оценивается как одна из причин ухудшения здоровья населения в результате пренебрежения вопросами безопасности и экологической чистоты. Успешное решение проблемы сегодня является производным от комплексного исследования трех групп факторов: количественных, качественных, социально-экономических. Получили признание концепции многофункциональности сельского хозяйства, биодинамического земледелия.

Продовольственная проблема не является феноменом XX в. Однако для многих стран мира она приобрела важнейшее значение в период аграрного кризиса 1921–1940 гг., продлившегося вплоть до начала Второй мировой войны, которая выявила стратегическую значимость продовольствия, подтолкнула страны к сотрудничеству и созданию в системе ООН специальной межправительственной организации по продовольствию и сельскому хозяйству (ФАО). В послевоенные годы впервые возникло и получило распространение в политических кругах понятие «продовольственная безопасность». Выделение такого круга вопросов в отдельный блок произошло в 70-х гг. XX в., когда была осознана и признана недостаточность мировых продовольственных ресурсов. В международный оборот термин «продовольственная безопасность» как «сохранение стабильности на рынках продовольственных товаров при доступности базовых продуктов питания для всех стран мира» [4, с. 95] введен после зернового кризиса 1972–1973 гг. Считалось, что создание запасов продовольствия, импорт в сочетании с помощью развитых стран – это наиболее рациональный путь решения продовольственной проблемы для нуждающихся стран, а внедрение достижений научно-технического прогресса в глобальном масштабе решит проблему и на национальном уровне.

Однако к концу 70-х гг. XX в. мировая продовольственная проблема обострилась в силу роста численности населения, сокращения площади пахотных земель, оскудения ресурсов мирового океана, нехватки пресной воды, роста

мировых цен на сырье и продукты питания, ухудшения экологии. Достижение продовольственной безопасности в глобальном масштабе стало возможным лишь за счет ее обеспечения в каждом отдельном государстве [5, с. 38]. Это значит, что отныне признается концепция преимущественной опоры на собственные силы.

В силу ряда объективных причин (аридность климата, национальные традиции, отсутствие культуры земледелия) потенциал сельского хозяйства развивающихся стран используется недостаточно эффективно. В результате прирост производства продовольствия, составлявший в 1950–1985 гг. около 30 млн т/г., в 1996–2030 гг. ожидается не более 9 млн т, т. е. менее чем за столетие произойдет замедление темпов роста на 60 %. Центральное место в стратегии деятельности ФАО на 2001–2015 гг. занимают проблемы устойчивого развития АПК, задачи развития внутренней и внешней торговли продовольствием.

Очевидно, разрешение продовольственной проблемы сегодня отождествляется с продовольственной безопасностью, трактовки которой сводятся, по меньшей мере, к двум аспектам: социально-экономическому (процесс и уровень продовольственного обеспечения) и политико-экономическому (основа национальной независимости).

Под продовольственной безопасностью понимается «способность государства, гарантированная соответствующим ресурсным потенциалом, независимо от внешних угроз и внутренних условий стабильно удовлетворять потребность населения в целом и каждого гражданина в отдельности продуктами питания и питьевой водой в объемах, ассортименте и качестве, достаточных для полноценного физического и социального развития личности, обеспечения здоровья и расширенного воспроизводства населения» [1, с. 10]. В такой трактовке выделяется продовольственная независимость – способность государства гарантировать необходимый и достаточный объем поставок продовольствия на внутренний рынок для покрытия потребностей страны, используя собственные ресурсы, а не за счет импорта. Специалисты Всемирного банка различают ситуацию продовольственной зависимости (хронической/временной), когда отсутствует возможность приобретения продуктов питания из-за низкой покупательной способности отдельных категорий населения, нестабильности производства, торговых войн [3, с. 34–35]. Ученые Беларуси (В. Г. Гусаков, З. М. Ильина) учитывают и потенциальную продовольственную зависимость – уязвимость государства от конъюнктуры мировых продовольственных рынков и других внешнеэкономических условий [3, с. 34–36].

По уровню обеспеченности продовольствием страны мира условно делят на три группы: ориентированные на импорт (Великобритания), развивающие экспорт (США), обеспечивающие внутренний рынок за счет собственного производства. Согласно наиболее распространенному подходу достижение продовольственной безопасности сводится не только к устранению зависимости от импорта, но и к поддержанию снабжения продовольствием на уровне, достаточном для здорового питания населения, в том числе за счет импорта. Базовые категории продовольственной безопасности: физическая доступность продовольствия – бесперебойное его поступление в места потребления в объемах и ассортименте, соответствующих платежеспособному спросу и медицинским нормам потребления; экономическая доступность продовольствия – возможность его приобретения всеми социальными группами населения; качество питания – потребление в ежедневном рационе необходимого количества калорий и питательных элементов за счет сочетания белков, жиров, углеводов, витаминов, отвечающего медицинским нормам; соответствие продуктов питания требованиям экологической

безопасности.

Поскольку безопасность в широком смысле обозначает «защищенное состояние, в котором не угрожает опасность чего-либо» [6, с. 77], о продовольственной безопасности имеет смысл говорить как о категории мирового уровня. В данном случае речь идет об опасности голода, что особенно актуально в условиях мирового дефицита продовольствия, для наименее развитых и развивающихся стран. В промышленно развитых странах вопрос питания заключается в его культуре. Так, в странах ЕС обеспечение национальной продовольственной безопасности сводится к тому, чтобы каждый житель имел доступ к качественным продуктам. Кроме того, доля расходов на продовольствие населения промышленно развитых стран не превышает 30–35 % доходов, развивающихся – около 50 %, что также указывает на качественное различие проблемы стран этих групп.

Вместе с тем имеет место «национальная» специфика проблемы. Так, по данным ФАО, население некоторых развивающихся стран и стран с переходной экономикой хронически недоедает: в странах Африки голодает до 70 % населения, Таджикистане – 60 %, тогда как в Беларуси – лишь около 3 % [2]. Поэтому обеспечение продовольствием в отдельном государстве – это скорее проблема – «сложная теоретическая или практическая задача, для решения которой не существует общепринятых методов» [6, с. 791], причем не всегда на национальном уровне продовольственная проблема заключается в достижении продовольственной безопасности. Так, для промышленно развитых стран актуально достижение сбалансированного рациона питания – совершенствование его структуры и качества; задача развивающихся стран и стран с переходной экономикой – обеспечение потребления на уровне медицинских норм; наименее развитые страны мира все еще стоят перед необходимостью ликвидации голода.

В условиях стран с переходной экономикой, наиболее чувствительных к колебаниям конъюнктуры мирового рынка, продовольственная проблема решается путем достижения продовольственной независимости и последующей продовольственной безопасности. Поскольку высокая чувствительность сельскохозяйственного производства к природно-климатическим условиям не позволяет гарантировать стабильность поставок продовольствия из стран-экспортеров и при недостаточном производстве внутри страны может спровоцировать обострение внутреннего продовольственного кризиса.

По мнению Е. В. Ковалева, продовольственная проблема – это «способность (или неспособность) сельского хозяйства и рыболовства территориально-политических образований обеспечить свое население продуктами питания, соотношение между объемом наличного продовольствия (собственного производства и ввезенного) и численностью населения, средние нормы потребления продуктов питания, средний состав и пищевую ценность рациона, масштабы голода и недоедания (или переедания), возможные социально-экономические, медицинские и политические последствия сложившегося продовольственного обеспечения» [7, с. 3]. Такой подход к трактовке по сути структуры проблемы позволяет в качестве единицы исследования выделить отдельный подкомплекс АПК: его элементы, присущие взаимосвязи и взаимозависимости, развитие которого зависит от стратегических приоритетов государства.

В Беларуси под продовольственной безопасностью понимается такое «состояние экономики, при котором, независимо от конъюнктуры мировых рынков, гарантируется стабильное обеспечение населения продовольствием в количестве, соответствующем научно обоснованным параметрам (предложение), с одной стороны, и создаются условия для поддержания потребления на уровне медицинских норм (спрос),

отвечающего условиям расширенного воспроизводства населения, с другой стороны» [5, с. 45; 8, с. 7].

Выделяется четыре иерархических уровня продовольственной безопасности: национальный, региональный, социальных групп населения, домашних хозяйств. В основе же проблемы – человек с его потребностями в продуктах питания для осуществления продуктивной деятельности и воспроизводства [3, с. 38; 5, с. 46]. Продовольственная безопасность – это комплексное социально-экономическое явление. При описании элементов безопасности человека продовольственная безопасность ставится в один ряд с его личной, политической, экономической, экологической, общественной и другими видами безопасности [9], что, безусловно, подчеркивает ее значимость. Однако, исходя из иерархии человеческих потребностей по А. Маслоу, продовольственная безопасность достижима лишь на базе экономической независимости и является основой для обеспечения других видов безопасности.

Существуют различия в понимании продовольственной проблемы и с точки зрения производства и потребления.

Ограниченность ресурсного потенциала сельского хозяйства и венчурные условия производства определяют особенности системы «производство-потребление» продуктов питания, включающей рыночный механизм и государственное регулирование.

В маркетинге, как философии современного бизнеса, интересы товаропроизводителя или продавца замыкаются на объемах продаж, доле рынка, прибыли в долгосрочном периоде. Для производителя сельскохозяйственной продукции, который пользуется различными преференциями со стороны государства и зависит от природных явлений, решение продовольственной проблемы государства сводится к наращиванию объемов производства, повышению эффективности использования всех видов ресурсов и обеспечению качества товара как гарантии экономической безопасности. В то же время концепция продовольственной проблемы определяется устойчивостью функционирования государственных структур, формирующих макроэкономические условия, эффективностью рыночной инфраструктуры. Решение продовольственной проблемы для потребителя – гарантированное потребление продуктов питания в соответствии с индивидуальными потребностями и запросами при минимальных затратах.

Таким образом, в современных условиях хозяйствования решение продовольственной проблемы заключается в устойчивом функционировании рынка продовольствия, прежде всего, потребителя и товаропроизводителя (рис. 1).

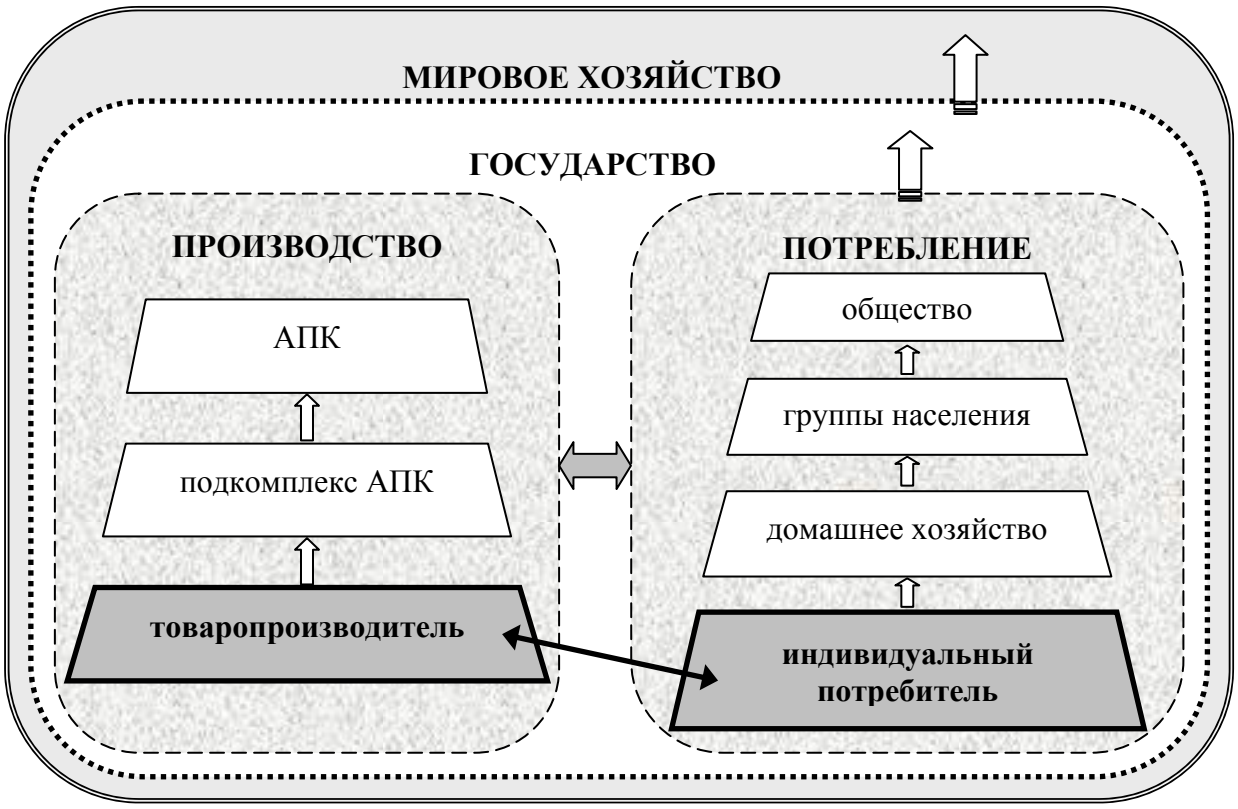
Учитывая, что обеспечение продовольственной безопасности Беларуси как комплекс экономических, социальных, организационных и иных мероприятий, направленных на предупреждение продовольственных кризисов и решение продовольственной проблемы, осуществляется на государственном уровне, при формировании стратегий развития отраслей АПК необходимо учитывать следующие положения:

– эволюция понятия мировой продовольственной проблемы происходит от осознания необходимости перехода ее разрешения с глобального уровня на уровень отдельного государства. Экономический суверенитет предполагает продовольственное самоопределение государства – свободу выбора системы производства и распределения, внешней торговли, включая стремление к самообеспечению. Решение мировой проблемы кроется в более полном использовании потенциала развивающихся стран;

– в конце XX в. произошло качественное изменение отношения мирового сообщества к продовольствию и АПК: если до 70–80-х гг. XX в. – это основа и средство достижения текущих целей развития экономики, то сегодня – важнейший приоритет национальной стра-

тегии развития;

– основой решения продовольственной проблемы государства в условиях рынка является платежеспособный спрос и возможности экономики дотировать сельскохозяйственное производство.



Источник: собственная разработка

Рис. 1. Решение продовольственной проблемы

Решение продовольственной проблемы Беларуси осуществляется в рамках реализации Государственной программы возрождения и развития села на 2005–2010 гг. Учитывая, что отмечается устойчивый рост социально-экономических показателей, продовольственная проблема выступает в новом качестве, а именно: стратегическим для республики является не только достижение показателей потребления продуктов питания на уровне научно обоснованных норм по каждому виду, но и сбалансированного рациона. Это, с одной стороны, предполагает удовлетворение потребностей в питании отдельного индивида в соответствии с его запросами, а с другой – определяется возможностями товаропроизводителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Маценович, И. Л.** Продовольственная безопасность и продовольственная политика / И. Л. Маценович, А. М. Ходачек. – СПб. : ИВЭСЭП, Знание, 2004. – 136 с.

2. Доклад ООН : в России голодает 3 % населения / Межгосударственная телерадиокомпания МИР [Электронный ресурс]. – 2006. – Режим доступа : http:www.mirtv.ru/news/russia/31oct2006/good.html. – Дата доступа : 06.07.2007.

3. **Гусаков, В. Г.** Продовольственная безопасность : вопросы теории и практики / В. Г. Гусаков, З. М. Ильина. – Минск : Ин-т аграрной

экономики НАН Беларуси, 2004. – 136 с.

4. **Свирейко, Н. Е.** Продовольственная безопасность: методы исследования, пути достижения / Н. Е. Свирейко // Белорус. журн. междунар. права и междунар. отношений. – 2004. – № 4. – С. 94–97.

5. **Ильина, З. М.** Проблемы продовольственной безопасности и их решения (теория, методология, практика) : дис. … д-ра экон. наук : 08.00.05 / З. М. Ильина. – Минск, 1999. – 244 с.

6. Большой экономический словарь / Под ред. А. Н. Азрилияна. – 5-е изд. – М. : Ин-т новой экономики, 2002. – 1280 с.

7. **Ковалев, Е.** Новые аспекты мировой продовольственной проблемы / Е. Ковалев // Мировая экономика и международные отношения. – 2005. – № 3. – С. 3–9.

8. Экономические проблемы адаптации аграрно-промышленного комплекса к условиям рыночной системы хозяйствования: вопросы теории и методологии / Редкол. : В. Г. Гусаков [и др.]. – Минск : Ин-т экономики НАН Беларуси, 2007. – 234 с.

9. **Ильина, З. М.** Продовольственная безопасность Республики Беларусь: проблемы и пути решения / ГНУ «Ин-т аграрной экономики НАН Беларуси» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http : // www.belal.by / aw / belal / content / other/ ilyina.pdf. – Дата доступа : 06.07.2007.

Белорусский государственный экономический университет
Белорусско-Российский университет
Материал поступил 31.03.2008

V. S. Zenkov, O. A. Shestopalava
Food problem and peculiarities of its decision in the modern period

The article presents an analysis of the food problem evolution and some ways of its decision. The authors differentiate such notions as «food problem», «food safety», «food independence» in the article. The authors came to the conclusion of food problem specificity in countries with different socio-economic development level. The solution of the food problem comes to food market players' functioning efficiency. It helped to make a number of conclusions necessary for creating ways of food problem solving in Belarus.

УДК 625.7

Е. В. Кашевская, канд. техн. наук, доц.

ПРИМЕНЕНИЕ АНАЛИЗА ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО И ФИНАНСОВОГО МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССОВ ИННОВАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

Для решения стратегической задачи обеспечения конкурентоспособности предприятий на рынке дорожной отрасли Республики Беларусь необходимо повышать эффективность управления качеством продукции, искать новые методы мотивации высокого качества продукции, работ и услуг. Статья посвящена решению проблемы упорядочения представления руководителю информации для анализа хозяйственной деятельности предприятия, который является основным инструментом социально-экономического и финансового мониторинга процессов инновационного управления качеством автомобильных дорог. В статье рассмотрена возможность использования анализа хозяйственной деятельности на примере РУП «Брествтодор» для социально-экономического и финансового мониторинга процессов инновационного управления качеством автомобильных дорог.

Введение

Используемые в настоящее время критерии мониторинга процессов управления качеством автомобильных дорог не пригодны для выработки управляющих решений (предупреждающих и корректирующих действий) [1]. Вместе с тем стратегическая цель управления качеством автомобильных дорог для предприятий дорожной отрасли – стать конкурентоспособными на рынке дорожно-строительных работ, сохранить рабочие места, обеспечить высокое качество труда [2]. Гипотеза заключается в том, что реализация стратегической задачи обеспечения качества продукции предприятиями дорожной отрасли позволяет использовать критерии социально-экономического развития предприятий в качестве критериев мониторинга процессов управления качеством автомобильных дорог, т. е. анализ хозяйственной деятельности предприятий дорожной отрасли является основным инструментом мониторинга.

Основы анализа хозяйственной деятельности предприятий

Анализ хозяйственной деятельности предприятия является базовым инструментом в системе управленческого контроля и в силу этого тесно связан со всеми функциями управления (планированием, организацией мотивации) [3]. Анализ хозяйственной деятельности может служить для решения двух групп задач:

– определение экономической эффективности запланированной и фактически реализованной производственной деятельности за определенный период, а также оценка достижения поставленных целей;

– определение возможных направлений развития производственной деятельности на текущий и перспективный периоды исходя из обеспеченности этой деятельности необходимыми финансовыми ресурсами.

Данные финансово-экономического анализа направлены на получение необходимой и достоверной информации и служат базой для разработки производственных программ, а также для планирования показателей эффективности и развития производства, структурных подразделений и предприятия в целом [4].

Анализ хозяйственной деятельности в системе мониторинга процессов инновационного управления качеством контроля обеспечит:

– оценку выполнения плановых заданий и управленческих решений, направленных на достижение основных показателей экономической эффективности производства и предприятия в це-

лом. Предметом анализа являются издержки, себестоимость, рентабельность производства, динамика материальных запасов, незавершенного производства, расходы по другим видам деятельности, накладные расходы и другие отчетные показатели [5];

– оценку соблюдения установленных нормативов производства, использования основных фондов, материальных и трудовых ресурсов, структуры себестоимости выполненных работ исполнения смет накладных расходов, а также характера причин отклонения по издержкам производства, качества и производительности, себестоимости и рентабельности отдельных видов продукции [6];

– формирование обратной связи в системе мониторинга процессов инновационного управления качеством и рекомендаций по устранению выявленных несоответствий [7].

Финансовое состояние предприятия характеризуется размещением и использованием средств (активов) и источников их формирования (пассивов). Эти сведения представлены в балансе предприятия, который служит основным источником информации для финансового анализа.

По данным бухгалтерского баланса необходимо рассчитать структуру баланса, выявить изменения в ней, а также определить абсолютные отклонения по каждой его статье [8].

Анализ балансовых документов РУП «Брествтодор»

Полученный результат по состоянию активов РУП «Брествтодор» баланса занесем в табл. 1.

Результат по пассивам баланса занесем в табл. 2.

Табл. 1. Анализ структуры актива бухгалтерского баланса и его основных разделов по состоянию за период начало – конец 2005 г.

Наименование статей баланса организации	Показатель структуры пассива в валюте (итоге) баланса					
	на начало периода		на конец периода		прирост (+), снижение (-)	
	абсолютная величина, млн р.	удельный вес, %	абсолютная величина, млн р.	удельный вес, %	абсолютная величина, млн р.	удельный вес, %
1	2	3	4	5	6	7
Внеоборотные активы (строка 190)	924134	99,19	944928	98,99	20794	-0,2
основные средства (строка 110)	921907	98,95	942402	98,73	20495	-0,22
нематериальные активы (строка 120)	9	0	9	0	0	0
доходные вложения в материальные ценности (строка 130)	110	0,01	1015	0,11	905	0,1
вложения во внеоборотные активы (строка 140)	2108	0,23	1502	0,16	-606	-0,07
прочие внеоборотные активы (строка 150)	0	0	0	0	0	0
Оборотные активы (строка 290)	7589	0,81	9604	1,01	2015	0,2
запасы и затраты (строка 210)	4167	0,45	4730	0,5	563	0,05
сырье, материалы и другие ценности, животные на выращивании и откорме (сумма строк 211 и 212)	1586	0,17	1601	0,17	15	0

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
незавершенное производство (издержки обращения) (строка 213)	2581	0,28	3129	0,33	548	0,05
прочие запасы и затраты (строка 214)	0	0	0	0	0	0
налоги по приобретенным ценностям (строка 220)	319	0,03	71	0,01	-248	-0,02
готовая продукция и товары (строка 230)	0	0	0	0	0	0
товары отгруженные, выполненные работы, оказанные услуги (строка 240)	9	0	0	0	-9	0
дебиторская задолженность (строка 250)	1030	0,11	3311	0,35	2281	0,24
в том числе:						
расчеты с покупателями и заказчиками (строка 251)	326	0,03	97	0,01	-229	-0,02
расчеты с учредителями по вкладам в уставной фонд (строка 252)	0	0	0	0	0	0
расчеты с разными дебиторами и кредиторами (строка 253)	187	0,02	2930	0,31	2743	0,29
прочая дебиторская задолженность (строка 254)	517	0,06	284	0,03	-233	-0,03
в том числе:						
расчеты с учредителями (акционерами)по выплате доходов (прибыли) (строка 254.1)	0	0	11	0	11	0
расчеты по налогам и сборам (строка 254.2)	43	0	32	0	-11	0
расчеты по социальному страхованию и обеспечению (строка 254.3)		0		0	0	0
финансовые вложения (строка 260)	0	0	0	0	0	0
денежные средства (строка 270)	158	0,02	1492	0,16	1334	0,14
прочие оборотные активы (строка 280)	1906	0,2	0	0	-1906	-0,2
Баланс (строка 390)	931 723	100	954 532	100	22 809	X

Одним из важнейших факторов увеличения объема производства продукции на промышленных предприятиях является обеспеченность их основными фондами в необходимом количестве и ассортименте, а также более полное и эффективное их использование.

Анализ необходимо начинать с изучения объема основных средств, их динамики и структуры. Полученные результаты можно представлять в табличной форме (табл. 3).

Основные фонды делятся на промышленно-производственные и непромышленные, а также фонды непроизводственного назначения. Кроме того, выде-

ляют активную часть (рабочие машины и оборудование) и пассивную часть фондов. Такая детализация необходима для выявления резервов повышения эффективности использования основных фондов за счет оптимизации их структуры.

Табл. 2. Анализ структуры пассива бухгалтерского баланса РУП «Брествтодор» по состоянию за период начало – конец 2005 г.

Наименование статей баланса организации	Показатель структуры пассива в валюте (итоге) баланса					
	на начало периода		на конец периода		прирост (+), снижение (-)	
	абсолютная величина, млн р.	удельный вес, %	абсолютная величина, млн р.	удельный вес, %	абсолютная величина, млн р.	удельный вес, %
Источники собственных средств (строка 590)	928343	99,64	953306	99,87	24963	0,23
Доходы и расходы (строка 690)	-56	0	-35	0	21	0
Расчеты (строка 790)	3436	0,37	1261	0,13	-2175	-0,24
долгосрочные кредиты и займы (строка 720)	0	0	0	0	0	0
краткосрочные кредиты и займы (строка 710)	419	0,04	0	0	-419	-0,04
кредиторская задолженность (строка 730)	3017	0,31	1261	0,13	-1756	-0,18
расчеты с поставщиками и подрядчиками (строка 731)	2359	0,25	558	0,06	-1801	-0,19
расчеты по оплате труда (строка 732)	326	0,03	320	0,03	-6	0
расчеты по прочим операциям с персоналом (строка 733)	0	0	0	0	0	0
расчеты по налогам и сборам (строка 734)	178	0,02	220	0,02	42	0
расчеты по социальному страхованию и обеспечению (строка 735)	117	0,01	129	0,01	12	0
расчеты с акционерами (учредителями) по выплате доходов (дивидендов) (строка 736)	-2	0	4	0	6	0
расчеты с разными дебиторами и кредиторами (строка 737)	39	0	30	0	-9	0
прочие виды обязательств (строка 740)	0	0	0	0	0	0
Баланс (строка 890)	931 723	100	954 532	100	22 809	**X**

Как видно из анализа, за отчетный период произошел прирост основных фондов. Данный прирост, в основном, вызван приростом фонда дорог. Но наряду с этим наметилась динамика увеличения активной части основных средств: в 2005 г. основные средства по группе «машины и оборудование» увеличились на 1587 тыс. р. Изменилась и структура основных средств в сторону увеличения доли активной части основных средств (за счет увеличения рабочих машин и транспортных средств).

Большое значение имеет анализ движения и технического состояния основных производственных фондов.

Для этого рассчитываются следующие показатели:

– коэффициент обновления $К_{обн}$, характеризующий долю новых фондов в общей их стоимости на конец года;

– срок обновления основных фондов $Т_{обн}$;

– коэффициент выбытия $К_{в}$;

– коэффициент прироста $К_{пр}$;

– коэффициент износа $К_{изн}$;
– коэффициент годности $К_г$.

Расчет показателей можно произвести в табличной форме (табл. 4).

Табл. 3. Анализ динамики и структуры основных средств

Группа основных средств	2005 г.							
	Наличие на начало года		Поступило за год		Выбыло за год		Наличие на конец года	
	тыс. р.	доля, %	тыс. р.	доля, %	тыс. р.	доля, %	тыс. р.	%
Здания и сооружения	915026	0,9775	74313	0,9154	53406	0,9100	935933	0,976
в т. ч. автомобильные дороги	900566	0,9621	71313	0,8785	52128	0,8883	919751	0,959
передаточные устройства	670	0,0007	196	0,0024		0,0000	866	0,001
Силовые машины (машины и оборудование)	15475	0,0165	5133	0,0632	4260	0,0726	16348	0,017
Рабочие машины		0,0000		0,0000		0,0000	0	0,000
Вычислительная техника	259	0,0003	45	0,0006	24	0,0004	280	0,001
Транспортные средства	4364	0,0047	1464	0,0180	978	0,0167	4850	0,005
Инструменты (другие виды основных средств)	266	0,0003	29	0,0004	19	0,0003	276	0,001
Всего производственных фондов	936060		81180		58686		958554	
в т. ч. активной части	21034		6867		5280		22621	

Табл. 4. Анализ движения и технического состояния основных фондов РУП «Брествтодор»

Активная часть	Стоимость основных средств (2005 г.)					Износ основных фондов
	на начало года	поступившие	выбывшие	прирост	на конец года	
	21034	6867	5280	1587	22621	13846
Отношение стоимости поступивших основных средств к их стоимости на конец периода	Коэффициент обновления – $К_{обн}$ $\frac{0,085}{0,304}$					
Отношение стоимости на начало года к стоимости поступивших основных средств	Срок обновления – $Т_{обн}$ $\frac{11,531}{3,063}$					
Отношение стоимости выбывших основных средств к стоимости на начало года	Коэффициент выбытия – $К_в$ $\frac{0,063}{0,251}$					
Отношение суммы прироста к стоимости на начало года	Коэффициент прироста – $К_{пр}$ $\frac{0,024}{0,075}$					
Отношение суммы износа основных фондов к первоначальной стоимости основных фондов на соответствующую дату	Коэффициент износа – $К_{изн}$ $\frac{0,280}{0,612}$					
Отношение остаточной стоимости основных фондов к первоначальной стоимости основных фондов на соответствующую дату	Коэффициент годности – $К_г$ $\frac{0,720}{0,388}$					

Коэффициент обновления отражает интенсивность обновления основных фондов. Коэффициент обновления активной части 0,304 выше, чем коэффициент обновления основных фондов в целом 0,085. Коэффициент износа активной части выше, чем в целом по основным фондам, а коэффициент годности ниже. Чем ниже коэффициент износа (амортизации), тем выше коэффициент годности и наоборот; и еще, чем ниже коэффициент износа, тем лучше техническое состояние, в котором находятся основные фонды.

Для обобщающей характеристики эффективности и интенсивности использования основных средств могут быть использованы следующие показатели:

– фондоотдача основных производственных фондов (отношение выручки к средней стоимости основных фондов);

– фондоемкость – величина, обратная фондоотдаче (отношение средней стоимости основных фондов к выручке);

– фондовооруженность (отношение средней стоимости основных фондов к среднесписочной численности работников).

Исходную информацию для анализа фондоотдачи представим в табл. 5.

Табл. 5. Анализ фондоотдачи основных производственных фондов

Показатель	2004 г.	2005 г.	Изменение	
	База	Факт	абсолютное, тыс. р.	относительное, %
1 Выручка	18713	23795	5082	127,16
2 Среднесписочная численность работников	730	747	17	102,33
3 Производительность труда одного работника	25,63	31,85	6,2	124,26
4 Среднегодовая стоимость основных фондов	839012	934531	95519	111,38
5 Фондовооруженность труда одного среднесписочного работника	1149,33	1251,05	101,71	108,85
6 Фондоотдача основных фондов	0,02	0,03	0,01	150
7 Фондоемкость основных фондов	44,84	39,27	-1,85	87,6

Таким образом, темпы роста производительности труда выше темпов роста фондовооруженности труда, что привело к росту фондоотдачи основных фондов.

Финансовое положение предприятия во многом зависит от эффективности использования оборотных средств. Чем быстрее оборотные средства пройдут кругооборот, тем больше продукции получит и реализует предприятие при одной и той же сумме оборотных активов. Задержка оборачиваемости требует дополнительных вложений и может вызвать значительное ухудшение экономики предприятия.

Эффективность использования оборотных средств можно оценить, решив следующие задачи:

– определение оборачиваемости и длительности одного оборота;

– количественное определение влияния факторов на изменения показателей оборачиваемости и длительности одного оборота;

– расчет высвобождения оборотного капитала за счет ускорения оборачиваемости и сокращения длительности одного оборота;

– расчет показателя рентабельности оборотных активов;

– расчет резервов оборачиваемости оборотных средств.

Для оценки эффективности использования оборотных активов используют следующие показатели:

– коэффициент оборачиваемости;

– оборачиваемость в днях (дли-

тельность одного оборота);

– рентабельность оборотных активов.

Показатели определим для материальных активов.

Расчет показателей выполним по следующей методике [4, с. 186]:

1) оборачиваемость в днях определяется по формуле

$$\text{Оборачиваемость} = (\text{ОМОА} / \text{РП}_{\text{сб}}) \cdot Д_{к}, \quad (1)$$

где ОМОА – средние остатки материальных оборотных активов; $\text{РП}_{\text{сб}}$ – реализованная продукция (себестоимость реализованной продукции); $Д_{к}$ – количество дней в анализируемом периоде;

2) коэффициент оборачиваемости рассчитывается по формуле

$$К_{\text{обор}} = \text{РП}_{\text{сб}} / \text{ОМОА} . \quad (2)$$

Этот показатель характеризует количество оборотов, совершенных МОА, т. е. показывает, какую долю себестоимости обеспечивает 1 р., вложенный в среднегодовые остатки МОА;

3) рентабельность МОА характеризует эффективность использования этих средств:

$$\text{Рен}_{\text{ОМОА}} = К_{\text{обор}} \cdot \text{Рен}_{\text{РП}} = (\text{РП}_{\text{сб}} / \text{ОМОА}) \times$$
$$\times (\text{П} / \text{РП}_{\text{сб}}) = \text{П} / \text{ОМОА}, \quad (3)$$

где П – прибыль от реализации.

Полученные данные целесообразно для наглядности представить в виде табл. 6.

Табл. 6. Расчет эффективности использования материальных оборотных остатков

Показатель	На начало отчетного периода, млн р.	На конец отчетного периода, млн р.	Отклонение
1 Прибыль от реализации	1260	2089	829
2 Себестоимость от реализации продукции	14394	17873	3479
3 Средние остатки МОА	8165	8596,5	431,5
4 Рентабельность продукции, % (п1/п2·100)	8,75	11,69	2,94
5 Коэффициент оборачиваемости (п2/п3)	1,76	2,08	0,32
6 Оборачиваемость, дн. (п3/п2·360 дн)	204,21	173,15	-31,06
7 Рентабельность МОА, % (п5·п4) или (п1/п3)	15	24	9

Анализ финансовой устойчивости основывается, главным образом, на относительных показателях (финансовых коэффициентах), т. к. абсолютные показатели баланса в условиях инфляции очень трудно привести в сопоставимый вид.

Устойчивость финансового состояния достигается при достаточности собственного капитала, хорошем качестве активов, высокой деловой активности предприятия, достаточном уровне рентабельности, стабильных доходах и широких возможностях привлечения заемных средств. С этой целью необходимо рассчитать следующие показатели:

1) коэффициент финансовой независимости – удельный вес собственного капитала в общей валюте баланса:

$$К_{\text{Ф.Н.}} = [\text{Собственный капитал предприятия (разд. III + разд. IV баланса)}] / \text{Общая валюта баланса}; \quad (4)$$

2) коэффициент финансовой зависимости – удельный вес заемных средств в общей валюте баланса, показывает, какая часть активов предприятия сформирована за счет заемных средств долгосрочного и краткосрочного характера:

$$К_{Ф.З.} = [Заемные\ средства\ (разд.Y\ баланса)] / / Общая\ валюта\ баланса; \quad (5)$$

3) коэффициент текущей задолженности показывает, какая часть активов сформирована за счет заемных ресурсов краткосрочного характера:

$$К_{Т.З.} = [Краткосрочные\ обязательства\ (разд.Y\ баланса)] / / Общая\ валюта\ баланса; \quad (6)$$

4) долю просроченных обязательств в формировании активов предприятия дополняет предыдущий показатель. Рассчитывается как отношение просроченных финансовых обязательств предприятия (долгосрочных и краткосрочных) к общей стоимости имущества (активов):

$$К_{Т.З.пр} = [КФО_{пр}+ДФО_{пр}]/ / Валюта\ баланса, \quad (7)$$

где $КФО_{пр}$ – просроченные краткосрочные финансовые обязательства (форма 5 «Приложение к бухгалтерскому балансу» графа 6, сумма строк 020, 040, 210); $ДФО_{пр}$ – долгосрочные просроченные обязательства (форма 5 «Приложение к бухгалтерскому балансу» графа 5, сумма строк 020, 040, 210); $К_{Т.З.пр} = 2223 / 598107 = 0{,}0037$ на начало года; $К_{Т.З.пр} = 159 / 762918 = 0{,}0002$ на конец года;

5) коэффициент устойчивого финансирования (коэффициент финансовой устойчивости) характеризует, какая часть активов сформирована за счет устойчивых источников. Если предприятие не пользуется долгосрочными кредитами, займами и финансовым лизингом, то его величина будет совпадать с величиной коэффициента финансовой независимости:

$$К_{У.Ф.} = [Собственный\ капитал + + Долгосрочные\ обязательства] / / Общая\ валюта\ баланса; \quad (8)$$

6) коэффициент покрытия долгов собственным капиталом (коэффициент платежеспособности):

$$К_{покр} = Собственный\ капитал / / Заемный\ капитал; \quad (9)$$

7) коэффициент финансового левериджа, или коэффициент финансового риска (коэффициент капитализации) – отношение заемного капитала к собственному капиталу:

$$К_{Ф.Л.} = Заемный\ капитал / / Собственный\ капитал. \quad (10)$$

Данный коэффициент считается одним из основных индикаторов финансовой устойчивости. Чем выше его показатель, тем выше риск вложения капитала в данное предприятие.

Относительные показатели финансовой устойчивости также для наглядности сводим в табл. 7.

Табл. 7. Относительные показатели финансовой устойчивости

Показатель	Уровень показателя		Изменение
	На начало периода 2004 г.	На конец периода 2005 г.	
1 Коэффициент концентрации собственного капитала (коэффициент финансовой независимости предприятия) > 0,4…0,6	0,993	0,996	0,003
2 Коэффициент финансовой зависимости	0,007	0,004	- 0,003
3 Коэффициент текущей задолженности	0,0012	0,0005	-0,0007
4 Коэффициент покрытия долгов собственным капиталом	145,13	258,94	113,81
5 Коэффициент финансового левериджа (плечо финансового рычага)	0,0069	0,0039	-0,003

Доля собственного капитала имеет тенденцию к повышению. За отчетный период она увеличилась на 0,3 процентных пункта, так как темп прироста собственного капитала выше темпов роста заемного капитала.

Коэффициент финансового левериджа снизился на 0,3 процентных пункта. Это свидетельствует, что финансовая зависимость предприятия от внешних инвесторов несколько уменьшилась.

Наиболее обобщающим показателем является коэффициент финансового левериджа. Все остальные показатели в той или иной мере определяют его величину.

В РУП «Брествтодор» удельный вес основного капитала в общей сумме активов составляет 99,18 %, а текущие активы – 0,82 %.

Исходя из данных пропорций и структуры активов определим нормативный уровень коэффициентов:

$$К_{Ф.Н.(норматив)} = 99,18 \cdot 0,75 +$$

$$+ 0,82 \cdot 0,5 = 74,7\ \% \text{ (факт 99,6 \%)};$$

$$К_{Ф.З.\ (норматив)} = 99,18 \cdot 0,25 +$$

$$+ 0,82 \cdot 05 = 24,8\ \% \text{ (факт 0,4 \%)};$$

$$К_{Ф.Л.\ (норматив)} = 24,8/74,7 =$$

$$= 0,33 \text{ (факт 0,0039)}.$$

В РУП «Брествтодор» уровень финансового риска небольшой, т. к. оно проводит консервативную финансовую политику, формируя свои активы преимущественно за счет собственных средств.

Наиболее полно финансовая устойчивость предприятия может быть раскрыта на основе изучения равновесия между разделами актива и пассива баланса.

Доля собственного капитала Дск и доля заемного капитала Дзк в формировании внеоборотных активов определяется следующим образом:

$$Дск = (р.1 – стр.720 – ДЗЛ) / р.1 = 100;$$

$$Дзк = (стр.720 + ДЗЛ) / р.1 = 0,$$

где ДЗЛ – долгосрочная задолженность по лизингу.

Из расчета видно, что на предприятии внеоборотные активы формируются за счет собственного капитала и совсем не используется заемный капитал. Аналогичным образом необходимо анализировать структуру источников оборотных активов предприятия. Коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами:

$$К_{осс} = \text{Собственный оборотный капитал} / \text{Оборотные активы}. \quad (11)$$

Все рассчитанные данные сводим в табл. 8.

Табл. 8. Информация по определению объема собственного капитала в оборотных активах

Показатель	На начало 2004 г.	На конец 2005 г.
1 Сумма собственного капитала	594032	760024
2 Доходы и расходы	-18	-41
3 Долгосрочные кредиты и займы	0	0
4 Задолженность по лизингу	0	
5 Внеоборотные активы	590535	756692
6 Сумма собственного оборотного капитала	3479	3291
7 Оборотные активы	7572	6226
8 Коэффициент обеспеченности собственными источниками финансирования	0,45	0,52
9 Доля в формировании оборотных активов: собственного капитала заемного капитала	 45 55	 52 48

Анализ табл. 8 показывает, что доля собственного капитала в формировании оборотных активов за отчетный год значительно повысилась, что свидетельствует об укреплении финансовых позиций предприятия и повышении его финансовой устойчивости.

Важным показателем, который характеризует финансовое состояние предприятия и его устойчивость, является обеспеченность материальных оборотных средств устойчивыми (плановыми) источниками финансирования. К ним относятся собственный оборотный капитал (СОК), краткосрочные кредиты банка под товарно-материальные ценности (ККБ).

Коэффициент обеспеченности рассчитывается отношением суммы устойчивых источников финансирования к общей сумме материальных активов (запасов).

Излишек или недостаток плановых источников средств для формирования запасов является одним из критериев оценки финансовой устойчивости предприятия, в соответствии с которым выделяют четыре типа финансовой устойчивости:

1) абсолютная краткосрочная финансовая устойчивость, если запасы З меньше суммы собственного оборотного капитала СОК:

$$З < СОК; \quad К = СОК / З > 1; \qquad (12)$$

2) нормальная краткосрочная финансовая устойчивость, при которой запасы больше собственного оборотного капитала, но меньше плановых источников их покрытия Ипл:

$$СОК < З < Ипл; \quad К = Ипл / З > 1; \qquad (13)$$

3) неустойчивое (предкризисное) финансовое состояние, при котором нарушается платежный баланс, но сохраняется возможность восстановления равновесия платежных средств и платежных обязательств за счет привлеченных временно свободных источников средств Ивр в оборот предприятия: не просроченная задолженность персоналу по заработной плате, бюджету по налоговым платежам, органам социального страхования и т. д.:

$$З = Ипл + Ивр; \quad К = Ипл / З > 1; \qquad (14)$$

4) кризисное финансовое состояние (предприятие находится на грани банкротства), при котором

$$З > Ипл + Ивр; \quad К = Ипл / З > 1. \qquad (15)$$

Информацию по обеспеченности РУП «Брествтодор» запасов плановых источников формирования также удобно представить в виде табл. 9.

РУП «Брествтодор» на конец отчетного периода характеризуется нормальной краткосрочной финансовой устойчивостью, т. к. запасы больше собственного оборотного капитала, но меньше плановых источников их покрытия:

$$3291 < 3582 < 3710 \text{ и}$$

$$К = 3710 / 3582 = 1{,}036.$$

Для расчета и диагностики запаса финансовой устойчивости предприятия данные отобразим в табличной форме (табл. 10).

Табл. 9. Информация по уровню обеспеченности запасов плановыми источниками формирования

Показатель	2004 г.	2005 г.
Сумма материальных оборотных активов	4812	3582
Плановые источники их формирования: сумма собственного оборотного капитала краткосрочные кредиты банка под ТМЦ итого плановых источников	 3479 703 4182	 3291 419 3710
Уровень обеспеченности запасов, %: собственным оборотным капиталом плановыми источниками	 72,2 86,9	 91,8 103,6

Табл. 10. Информация по запасу финансовой устойчивости

Показатель	Предыдущий год	Отчетный год	Изменение
1 Выручка от реализации (за минусом всех) обязательных платежей, базой для начисления которых является выручка	9587	13657	4070
2 Себестоимость реализованной продукции, работ, услуг	8882	12606	3724
3 Прибыль от реализации	705	1051	346
4 Сумма переменных затрат	4180	6018	1838
5 Сумма постоянных затрат	4702	6588	1886
6 Сумма маржинального дохода (1–4) или (3+5)	5407	7639	2232
7 Доля маржинального дохода в выручке (6/1·100)	56,4	55,93	-0,47
8 Безубыточный объем продаж (работ, услуг)(5/7·100)	8337	11779	3442
9 Запас финансовой устойчивости (1–8) млн р. (1–8/1·100), %	 1250 13,04	 1878 13,75	 628 0,71

Таким образом, в отчетном году запас финансовой устойчивости вырос на 0,71 процентных пункта, а запас финансовой устойчивости – более 10 %: это свидетельствует о финансовой устойчивости РУП «Брествтодор», его конкурентоспособности на рынке дорожно-строительных работ и услуг.

Формирование управленческой отчетности

Для формирования управленческой отчетности в рамках данной работы целесообразно установить уровни мониторинга процессов инновационного управления в соответствии с организационной структурой предприятия [9].

К первому уровню будут относиться должностные лица, принимающие управленческие решения: генеральный директор, главный инженер, заместитель директора по экономике и финансам, заместитель генерального директора по эксплуатации автомобильных дорог, начальники филиалов, главные инженеры филиалов, а также другие штатные единицы, генерирующие управленческие решения (пример для РУП «Брествтодор»).

Ко второму уровню относятся должностные лица, осуществляющие мониторинг процессов инновационного управления на стадии внедрения в работу управленческих решений, корректирующих и предупреждающих действий: начальники отделов, экономисты, бухгалтеры предприятия и филиалов.

К третьему уровню относятся должностные лица, являющиеся непосредственно исполнителями управленческих решений: рабочие основного и вспомогательного производства, водители, дорожные рабочие.

В соответствии с выделенными уровнями мониторинга процессов инновационного управления рационально ввести и уровни формата управленческой отчетности.

Заключение

Мониторинг в системе управления качеством автомобильных дорог является важнейшим инструментом инновационного развития процессов жизненного цикла автомобильных дорог.

1. Исходя из положения о том, что стратегической задачей предприятий и организаций дорожной отрасли является обеспечение конкурентоспособности на рынке, сохранение рабочих мест и обеспечение качественных условий

труда работникам, социально-экономические показатели деятельности дорожно-строительных предприятий и показатели их финансовой устойчивости должны использоваться как критерии качества процессов инновационного управления на данных предприятиях.

2. Анализ хозяйственной деятельности может применяться как базовый инструмент социально-экономического и финансового мониторинга процессов инновационного управления качеством автомобильных дорог.

3. Научно обоснованное формирование управленческой отчетности, которая является инструментом социально-экономического и финансового мониторинга процессов инновационного управления качеством автомобильных дорог, обеспечивает высокую эффективность менеджмента на предприятии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кашевская, Е. В.** Основы управления качеством автомобильных дорог : монография / Е. В. Кашевская. – Минск : БНТУ, 2007. – 241 с.

2. **Леонович, И. И.** Концепция управления качеством автомобильных дорог / И. И. Леонович, Е. В. Кашевская // Вестн. БНТУ. – 2006. – № 3. – С. 5–13.

3. **Гончаров, В. И.** Менеджмент : учеб. пособие / В. И. Гончаров. – Минск : Мисанта, 2003. – 624 с.

4. **Савицкая, Г. В.** Анализ хозяйственной деятельности предприятия : учебник / Г. В. Савицкая. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : ИНФРА-М, 2006. – 425 с.

5. **Анташов, В. А.** Система взаимосвязанных показателей для оценки экономики предприятия / В. А. Анташов, Г. В. Уварова // Экономика. Финансы. Управление. – 2006. – № 10. – С. 87–100.

6. **Самсонова, С. С.** Формирование управленческой отчетности как инструментарий управления предприятием / С. С. Самсонова // Планово-экономический отдел. – 2006. – № 2. – С. 60.

7. **Серенков, П. С.** Методы менеджмента качества. Методология описания сети процессов : монография / П. С. Серенков, А. Г. Курьян, В. Л. Соломахо. – Минск : БНТУ, 2006. – 484 с.

8. **Бугаев, А. В.** Перевод (трансформация) белорусской бухгалтерской отчетности в отчетность по Международным стандартам бухгалтерского учета / А. В. Бугаев. – Минск : Регистр, 2005. – 168 с. (Серия «Современному бухгалтеру»).

9. **Kashevskaya, E.** Bases of quality management of construction and repair of highways / E. Kashevskaya // The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering. – Vilnius : Technical. – 2007. – Vol. II, № 3. – P. 101–109.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 14.04.2008

E. V. Kashevskaya

Application of the analysis of economic activities for socio-economic and financial monitoring processes of innovative quality management

A strategic problem of maintenance of competitiveness of the enterprises in the market of the road branch of Belarus is very important. It is necessary to raise a management efficiency quality of production, to search for new methods of motivation of high quality of production, works and services. The article is devoted to the decision of a problem of regulation of representation to the head of the information for the analysis of economic activities of the enterprise which is the basic tool of social-economic and financial monitoring of processes of innovative quality management of highways. The opportunity of use of the analysis of economic activities on example of the republican unitary enterprise «Brestavtodor» for socio-economic and financial monitoring processes of innovative quality management of highways is considered in the article.

УДК 330

А. А. Шамаев, канд. экон. наук, доц.

СОДЕРЖАТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСТОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПРОДУКТА В НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКЕ

Для раскрытия содержания распределительных отношений необходимо определиться с местом их в системе не только экономических, но и социальных процессов. В данной статье автор анализирует количественную сторону распределения ЧНП и раскрывает процесс формирования персонифицированных доходов субъектов национальной экономики. При этом анализ увязывается с содержательной стороной и динамикой распределения ЧНП. В данной статье анализ направлен на углубление и расширение положений, высказанных автором в статье «Системность и сбалансированность в распределительных отношениях национальной экономики».

Характеристика распределительных отношений по их содержанию будет неполной, если не проанализировано их взаимодействие, взаимозависимость между достигнутым ростом экономики в целом и его отдельной или частной составляющей этого процесса (потребления, накопления, сбережения, инвестиции и государственных доходов). Макроэкономический анализ, направленный на исследование механизма распределения дохода в национальной экономике, должен дать ответ на следующие вопросы:

– способствует ли данный механизм общему росту национальной экономики, а если нет, то в чем механизм распределения дохода в обществе неэффективен;

– является ли данное распределение дохода (материальных благ) в обществе оптимальным;

– обеспечивает ли распределительный механизм устойчивый рост уровня жизни населения, а также как они, т. е. распределительные отношения, проявляют свое влияние и действие на мотивацию, с одной стороны, экономического роста, а с другой стороны, равновесие экономики.

Структурная составляющая распределительных отношений включается в экономические отношения как связующее звено между производством и потреблением через:

– распределение ресурсов и факторов производства между отраслями и предприятиями (фирмами);

– распределение доходов между членами общества, которые включают в себя два уровня: один уровень – распределение дохода между субъектами рынка, второй – между субъектами экономики и государством;

– инструментарий механизма распределения и мотивации субъектов национальной экономики.

Распределительные отношения содержат три элемента (или составляющие), которые характеризуют их в совокупности как составные части механизма. Эти элементы или составляющие представлены объектами, субъектами и инструментарием распределительных отношений. Субъекты распределительных отношений представлены на макроуровне как агрегированные, а на микроуровне – как хозяйствующие субъекты и индивидуумы. В обобщенном или агрегированном виде субъекты могут быть представлены как домохозяйство, юридические лица (резиденты и нерезиденты) и государство с его органами управления на местном и национальном уровне. Государство как рыночный субъект характеризуется тем, что оно имеет императивный статус. Это единственный субъект рынка, решение и требования которого обязательны для всех субъектов экономики.

Объектом распределительных отношений выступает доход, возникаю-

щий у субъектов экономики страны в процессе производственно-хозяйственной, коммерческой деятельности и оказания услуг. При этом исходным должно выступать то, что реализуется ценополучателями, т. е. объектом выступает доход, который получает субъект через обменные операции и фискальные каналы.

Инструментарий распределительных отношений или механизм распределения дохода между субъектами экономики должен быть представлен набором методов, форм, рычагов, которые при этом применяются. Среди методов следует выделить прямое и опосредованное распределение дохода, а также первичное или функциональное и вторичное (персонифицированное) распределение дохода. Формы распределения дохода могут быть разнообразные: денежные, натуральные, персональные или групповые, а также в их разных сочетаниях и пропорциях. Особое место в распределении дохода занимают рычаги, инструменты, подходы или гипотезы. Эти элементы в конечном итоге и являются основным звеном в механизме распределения дохода. Но кроме этого следует выделить макро- и микроуровни в распределении дохода в национальной экономике.

В распределительных отношениях на их содержательную сторону немаловажную роль оказывают подходы или философия. Философия распределительных отношений формирует образ или модель процесса. Философия распределения дохода может иметь в своей основе положения, которые приводят к принципиально разным моделям и результатам. Так, например, провозглашение равенства в распределении дохода приводит к «уравниловке», а опыт экономического развития стран с социалистической ориентацией показывает, что уравнительное распределение дохода в обществе приводит к относительному снижению уровня эффективности экономики.

В условиях формирования рыночной экономики общество в лице государства должно выявлять и стимулировать способности человека, создавая мотивационные принципы каждому гражданину, прежде всего трудоспособному, для повышения его личного благополучия за счет эффективности и производительности своего труда. При этом государство при распределении и перераспределении доходов между его членами общества не должно стремиться к выравниванию. Равенство в сфере распределения доходов должно означать не уравнительное распределение, а их дифференциацию в зависимости от спроса, предложения, эффективности и производительности труда, но в то же время общество (государство) должно выполнять социальные функции и обеспечивать гарантии, используя распределительный механизм доходов. Социальные составляющие распределительных отношений по своей природе не экономические, но влияющие на содержание распределения, т. е. распределение доходов предполагает контроль со стороны общества над доходами (декларирование доходов), однако при этом эти меры не должны сдерживать экономический рост.

Распределительные отношения как фаза общественного воспроизводства включают в себя не только распределение дохода, но и находятся под влиянием отношений, происходящих в процессе производства, обмена и потребления. Поэтому содержание и характеристика распределения дохода обусловлены не только собственными законами и категориями распределительных отношений, но и влиянием на эти отношения производства, обмена и потребления. Распределительные отношения формируются под воздействием не только производства, но и обмена, складывающегося на основе разделения, специализации, кооперации производства и под воздействием роста производительности труда. В связи с этим некорректно утверждать, что влияние ценообразования на факторы производства является теорией распределения национального дохода в рыночной экономике [1, с. 205].

Характер и форма распределительных отношений определяют или точнее влияют на производство. Функция производства предполагает наличие факторов и ресурсов, но она отражает только технологию и количественные параметры производства, а если рассматривать производство и его результат не с количественной, а с содержательной стороны, то она является результатом и таких отношений, как организационные и мотивационные, которые составляют совокупность отношений производства. Мотивационные составляющие отношений производства формируются не только самим производством, но и благодаря тому, какие используются стимулирующие рычаги для повышения эффективности производства, а эти рычаги соединяют распределение дохода с производством материальных благ и оказанных услуг, т. е. с результатами производства. Таким образом, устанавливается тесная связь производства и распределения, с одной стороны, а с другой стороны, происходит их взаимовлияние и взаимообусловленность.

Распределительные отношения совершаются в обществе достаточно сложно, так, например, первичное и вторичное распределение в теории и на практике не всегда совпадает во времени и пространстве. В связи с этим вторичное распределение необходимо агрегировать по двум основным направлениям: первый поток – потоварный налог, второй – налог на доходы, которые формируют бюджет государства, а в конечном итоге – потребление на уровне государства. Таким образом, потребление ЧНП агрегируем в единый поток для макроэкономического анализа распределительных отношений в обществе. У производителей ЧНП формируется как результат (разность) между выручкой и материальными затратами, т. е. как первичное распределение, формирующее доходную часть бюджета. Вторая часть дохода бюджета формируется за счет поступления налогов на доходы и собственность, т. е. как перераспределение первичных доходов, а в результате у ценополучателей формируется персонифицированный доход.

Объектом распределительных отношений выступает доход, возникающий у экономических субъектов, вступающих в отношения, где одни – ценоплательщики, а другие – ценополучатели. Распределительный процесс чистого национального продукта в обществе на макроуровне в общем виде может быть смоделирован на основе ряда условий:

– в основе распределительной функции лежит производственная функция;

– объектом распределения выступает ЧНП, который создают субъекты хозяйствования;

– доходы субъектов хозяйствования представлены первичными доходами факторов производства (номинальная заработная плата, валовая прибыль собственников капитала (земли));

– доход государства формируется как результат распределения первичных доходов субъектов хозяйствования, т. е. как результат перераспределения;

– в основе моделирования должна лежать сбалансированность распределения ЧНП, как в статике, так и в динамике;

– обеспечение устойчивого роста уровня жизни населения на основе развития производства.

Макроэкономическое распределение ЧНП может быть представлено в виде следующих агрегированных показателей в системе уравнений:

1) ЧНП = потребление (C_0) + сбережение (S_0);

2) $C_0 = C_C + C_П + C_G$;

3) S_0 = инвестиции (I_0) + накопления (N_0);

4) $S_0 = (I_C + I_П + I_G) + (N_C + N_П + N_G)$,

где ЧНП – чистый национальный продукт; C_0 – потребление; C_C – домохозяйств; $C_П$ – предпринимателей; C_G – государства; N_0 – накопление; N_C – домохозяйств; $N_П$ – предпринимателей; N_G – государства.

Функция распределения может быть вида

$$D\ (ЧНП) = f\ (C_0, I_0, S_0, N_0),$$

где C_0 – распределяемый (агрегированный) доход на потребление; S_0 – сбережение (агрегированное); I_0 – инвестиции (агрегированные); N_0 – накопление (агрегированное).

ЧНП будет распределяться по четырем вышеприведенным уравнениям, а система этих уравнений может быть использована для построения равностороннего треугольника АВС [2, с. 175–179].

Распределительные отношения можно формализовать для возможности проследить распределение ЧНП между основными субъектами общественного производства. Так, в треугольнике АВС стороны между собой равны, т. е. АВ = ВС = АС. Это дает возможность утверждать, что больше, чем создано ЧНП в обществе, больше его распределяться не может. Это объясняется тем, что распределять можно то, что произведено, и наш треугольник со сторонами АВ = ВС = АС = 100. На стороне АВ треугольника АВС отражается первичное распределение (или функциональное распределение) и для характеристики этого процесса сумма отрезков стороны АВ = AD + DB = 100, а для стороны ВС = BF + FC = BN + NC = 100. На стороне треугольника АС отражается значение точек сторон АВ и ВС. Обозначив AD = a и DB = E, получим, что они в сумме будут равны 100, т. е. AD + DB = 100, т. к. (a + E) = 100.

Первичное распределение ЧНП можно представить как сумму доходов фактора труда и предпринимателей отрезками AD и DB на стороне треугольника АВС, а величина доходов будет колебаться от 0 до 100 или от 100 до 0. Графически изменение значений находится в зависимости от того, как луч CD делит сторону АВ на отрезки AD и DB (рис. 1.).

В распределении ЧНП участвует три основных субъекта: физические, юридические лица и государство. В связи с этим ЧНП делится на три части:

1) доход физических лиц (фактор труда);

2) доход юридических лиц (фактор капитала);

3) доход государства (доходная часть государственного бюджета).

Абсолютное значение длины этих отрезков определяем через закономерности построения равностороннего треугольника АВС. Распределение ЧНП в национальной экономике можно представить следующей схемой:

– первичное распределение ЧНП = $= a_i\ (AD) + E_i\ (DB)$;

– вторичное распределение ЧНП = $= D_x + F_x$, где $F_x = K + L$, которые рассчитываются следующим способом: $K = (F{:}50)\cdot K_x$ и $L = (F{:}50)\cdot L_x$, т. е. К – это доход предпринимателей, L – доход фактора труда. Общегосударственный доход (доходы бюджета) равен D_x.

На примере рис. 1 можно найти абсолютные значения ЧНП, распределяемого между субъектами национальной экономики, а числовые значения вносим в табл. 1. В этой таблице некоторые значения, например, все значения в третьей и четвертой колонках табл. 1, приведены, кроме K_x и L_x, в долях, а в сумме значения K_x и L_x равны 50 % от F_x. При этих условиях формирование доходов у субъектов национальной экономики составит:

– у государства D_x в колонке 2 изменения будут показаны от 5,0 до 55,0 долей или процентов;

– у предпринимателей доход составит процент от F_x от 2,5 до 27,5;

– у трудового фактора доход будет изменяться в процентах от F_x с 47,5 до 22,5.

Равносторонний треугольник АВС позволяет перевести отрезки стороны АВ к их абсолютному значению. В этом случае на стороне АС треугольника АВС получаем сумму $100 = (D_x\cdot 2) + E_x$. Это в случае, когда AD = 50, то сумма $K_x + L_x = E_x$. Координаты по х точек К и

L в сумме абсолютного значения, равной 50. Значение K_x возрастает пропорционально росту AD = a, а значение L_x снижается.

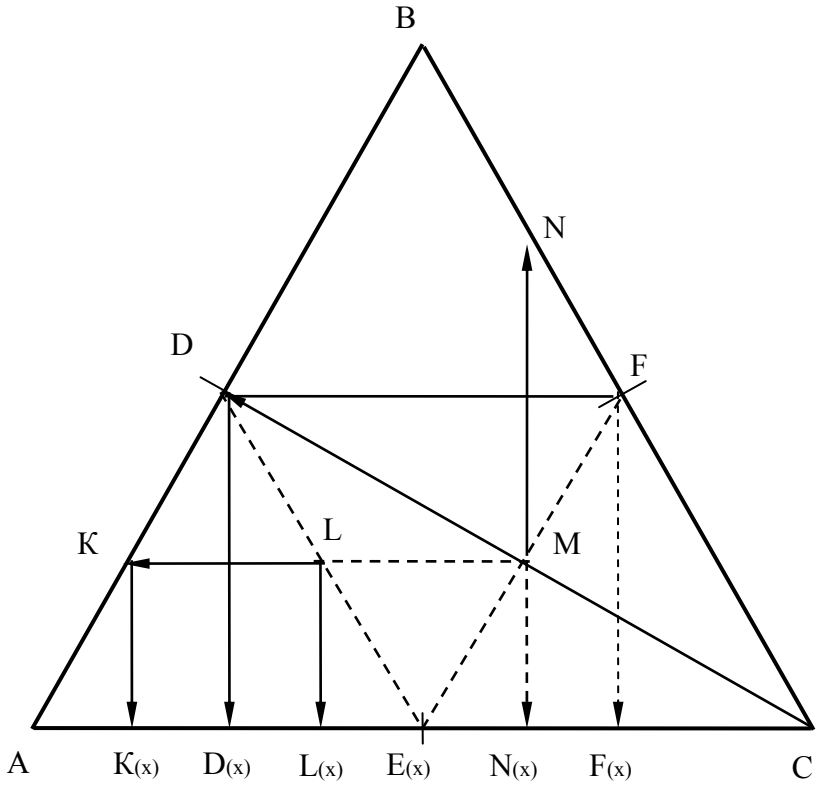


Рис. 1. Схема первичного и вторичного распределения чистого национального продукта

Табл. 1. Динамика изменения координат точек на сторонах треугольника ABC

CD-луч $a_i=\|AD\|$ i = 0…n D_{ai}	Координаты точек и их значения						
	D_x	K_x	L_x	N_x	M_x	F_x	E_x
1	2	3	4	5	6	7	8
10	5,0	2,5	47,5	90,5	90,5	95	90,0
25	12,5	6,25	43,75	78,125	78,125	87,5	75,0
40	20,0	10,0	40,0	68,0	68,0	80,0	60,0
50	25,0	12,5	37,5	62,5	62,5	75,0	50.0
60	30,0	15,0	35,0	58,0	58,0	70,0	40,0
75	37,5	18,75	31,25	53,125	53,125	62,5	25,0
80	40,0	20,0	30,0	52,0	52,0	60,0	20,0
100	50,0	25,0	25,0	50,0	50,0	50,0	0
110	55,0	27,5	22,5	50,5	50,5	45,0	-10

Распределение ЧНП в национальной экономике можно представить схематично (в условных единицах): если D_{ai} = 10, то E_x = 90; D_x = 5 и K_x = (95:50)·2,5 = 4,75;

L_x = (95:50)·47,5 = 90,25 в сумме $K_x + L_x$ = 4,75 + 90,25 = 95, прибавляя D_x = 5, получим 100. При этом варианте первичное распределение AD = 10, вторичное распределение D_x = 5 – часть ЧНП присваивается государством, K_x – часть ЧНП распределяется собственному капиталу, который будет составлять 4,75, а L_x – это присвоенный доход домохозяйств, составляющий 90,25, а в сумме ЧНП = $D_x + K_x + L_x$ или равно 5 + 4,75 + + 90,25 = 100.

Перераспределение (персонификация дохода) между субъектами рынка происходит с участием государства в потреблении (присвоении) части ЧНП. Но при этом сумма распределяемого ЧНП будет равна 100, т. е. в треугольнике ABC отрезок сторон AB и AD равен BF стороны BC – это при a = 50, а при всех других вариантах *a* сумма AD + BF = 100. При этом и абсолютные значения координат по x будут также равны 100. Динамика значения координат имеет ярко выраженную тенденцию: когда *a* растет, то E убывает, а при росте значения K_x снижается значение L_x. Переведя значения K_x и L_x в плоскость экономических процессов распределения ЧНП, их сумма всегда будет равна F_x, но соотношение изменится, т. е. при повышении капиталоемкости происходит снижение трудоемкости производимого ЧНП и наоборот.

Расположение и значения точек нашего треугольника ABC (см. рис. 1):

1) AD + FB = 100 – это прямая DF в треугольнике параллельна его основанию, а координаты располагаются по оси абсцисс, т. е. $x_1 + x_2 = 100$ или сумма отрезков $(D_x) + (F_x) = 100$;

2) создаваемый чистый национальный продукт в экономике распадается на две части: a_i – распределяемая часть ЧНП в распоряжении коллективов или факторов производства и E_i – доходы (валовая прибыль) предпринимателей. Это первичное распределение ЧНП;

3) первичное распределение ЧНП реализуется в форме и на принципе пофакторального разделения ЧНП на исходные доходы субъектов экономики. Проекция точки D на ось AC отражает минимальный доход субъектов и отражена на рис. 1 как $D_{(x)}$, если весь первоначальный доход или часть ЧНП как *a*, и будет составлять максимальный размер номинальной величины дохода субъектов экономики;

4) вторичное распределение или перераспределение первичных доходов субъектов экономики находит отражение на стороне BC нашего равностороннего треугольника ABC. Точки N и F стороны BC отражают через свои координаты возможное перераспределение ЧНП. Используем рис. 1 для пояснения. Сторона треугольника ABC – BC – первоначально делится на два отрезка BF и FC, сумма которых равна 100, а после перераспределения BC = BN + NC, т. е. 25 + 75 = 100 или $(D_x + F_x)$;

5) все точки на сторонах треугольника ABC имеют свои проекции на стороне AC, т. е. точка K – K_x, точка D – D_x, точка B – E_x, точка F – F_x;

6) фигура DFF_xD_x – четырехугольник равносторонний, т. к. DF параллельна D_xF_x, а DD_x параллельна FF_x и противоположные стороны равны;

7) наш равносторонний треугольник ABC имеет каждую свою сторону размерностью 100. Число 100 может быть как 100 % или 100 долей, а так как получаемые результаты измеряются от 0 до 100, то для определения весомости каждого результата умножают на координату точки x. Относительную величину результата вариантов приводят через координату точек на стороне AC, т. е. распределение ЧНП, так, например, если a = 50, то координаты точек по x следующие: D = 25,0; K = 12,5; L = 37,5; N = M = 62,5; F = 75,0; E = 50,0. Перевод в практическую плоскость производится через определение весомости одной части фактического (прогнозируемого ЧНП) на величину абсолютной величины координаты точки;

8) на сторонах треугольника ABC отражаем первичное распределение AB

и вторичное распределение ВС, а на стороне АС находим значения величин точек сторон треугольника АВ и ВС (см. рис. 1).

Значения точек сторон треугольника АВС в системе координат можем определить по методологии, изложенной в [2, с. 173–180]. Варианты изменения значений координат точек на сторонах треугольника АВС можно представить в табличной форме (см. табл. 1), в которой нашли отражение изменения динамики значений координат точек, находящихся на сторонах этого треугольника.

Анализ изменения координат точек дает возможность представить сбалансированность экономического развития, прежде всего, с позиции пропорциональности в распределении дохода, т. е. распределение совокупного дохода между субъектами национальной экономики.

При вторичном (персонифицированном) распределении происходит перераспределение первичных доходов D_x – поступление в бюджет государства и E_x – дохода факторов производства. Конкретные доходы могут быть представлены: К (капитал) – как $(F_x : 50)\cdot K_x$, а труда L – в виде $(F_x : 50)\cdot L_x$. На основе исходных данных табл. 1 получим следующую динамику доходов и поступлений в бюджет как результат вторичного распределения ЧНП между субъектами национальной экономики (табл. 2).

Табл. 2. Динамика персонифицированных доходов субъектов национальной экономики при постоянном ЧНП (100 ед.)

Сектор экономики	Вариант				
	1	2	3	4	5
Доходы государства D_x	5,0	40,0	50,0	60,0	75,0
Доходы факторов труда L_x	90,25	45,0	37,5	28,0	15,625
Доходы предпринимателей K_x	4,75	15,0	12,5	12,0	9,375
$\sum (K_x + L_x)$	95,0	60,0	50,0	40,0	25,0
ЧНП	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Рассматривая распределение экономических благ как распределение, основанное на результативности функционирования факторов производства, субъекты рынка, предлагая свои факторы, как ценополучатели, преследуют цель (мотив) максимизации прибыли, а потребитель, как ценоплательщик, стремится к получению максимальной полезности. Встречаясь на рынке, оба субъекта пятаются максимизировать свою позицию. Каждый участник стремится к тому, чтобы, прежде всего, компенсировать свои затраты и издержки, а также получить максимальную прибыль. Но при этом следует различать процесс и механизм ценообразования факторов производства от механизма ценообразования потребительских благ. Это обусловлено тем, что труд – как процесс потребления рабочей силы, требует своего воспроизводства, которое характеризуется как восстановление работоспособности человека с ее качественным и количественным ростом. В связи с этим цена фактора – труд – зависит не только от текущих затрат, но и дополнительных издержек (воспитание, обучение и т. п.) на пополнение рынка труда. Субъекты рынка руководствуются каждый своими принципами. Прода-

вец труда стремится к максимизации полезности через размер оплаты труда, а владелец капитала максимизирует прибыль. Созданный чистый национальный продукт распределится между субъектами производства. Вторичное распределение ЧНП наступает в случае появления у факторов производства общих интересов и задач, что связано с общими издержками и затратами. Если ЧНП принять за 100 %, то он распределяется на личное и общественное потребление, а их соотношение в количественном отношении может быть различным. Это деление имеет две стадии или этапа (на практике они совмещаются), т. е. первичное и вторичное. Первичное распределение выступает как процесс вменения доходов факторам производства, как функциональное распределение, на основе которого определяется доля каждого фактора производства в ЧНП, а в основе распределения лежит цена труда, как фактора производства. Результаты первичного распределения можно представить как агрегированный доход, который объединяет потребление всех факторов производства: доход, заработная плата наемных работников, доходы собственников капитала и земли, т. е. пофакторное распределение. Вторичное распределение или персонифицирование доходов факторов производства достигается по двум направлениям: потоварный налог и доходы.

Распределительные отношения совершаются в обществе достаточно сложно. Так, например, первичное и вторичное распределение не всегда совпадают во времени и пространстве. В связи с этим вторичное распределение необходимо агрегировать по двум основным направлениям: первый поток – потоварный налог, второй – налог на доходы, которые формируют бюджет государства, а в конечном итоге – потребление на уровне государства. Таким образом, потребление ЧНП агрегируем в единый поток для макроэкономического анализа распределительных отношений в обществе. У производителей ЧНП формируется как результат (разность) между выручкой и материальными затратами, т. е. как первичное распределение. Вторая часть дохода бюджета формируется за счет поступления налогов на доходы и собственность, т. е. как перераспределение первичных доходов, а в результате у ценополучателей формируется персонифицированный доход.

Макроэкономическая оптимальность распределения ЧНП между двумя субъектами рынка (трудом и капиталом) реализуется при решении системы уравнений, которые представлены совмещением производственной функции с совершенной взаимозаменяемостью факторов производства и уравнения распределения ЧНП между потребляемой его частью и прибылью, т. е. доходами, получаемыми наемными работниками и предпринимателями.

Принимаем объем ЧНП за 100, производственную функцию $70x + 70y - 7\,000 = 0$ представим в виде изокванты, а уравнение распределения ЧНП как $-15x + 30y = 0$. Точка же их пересечения в системе координат дает возможность определить соотношение между частями ЧНП, вменяемых факторам производства. При этом по мере сокращения предельного продукта труда MP_l должно происходить изменение предельного продукта капитала MP_K, что приводит к изменению технического строения производства, а на графике происходит смещение или изменение положения точки пересечения, как это показано на рис. 2, т. е. показано изменение соотношения между трудом и капиталом при постоянном объеме ЧНП. Так, например, при $MRTS_{L,K} = -1$ получим соотношение $L = 66{,}6$ и $K = 33{,}3$ ед., а при $MRTS_{L,K} = 1$ величина $L = 50$ и $K = 50$ ед., т. е. ЧНП делится на две равные части между трудом и капиталом.

Макроэкономические системы чрезвычайно сложны и невозможно

получить исчерпывающую информацию о них для того, чтобы формулировать «железные» законы и строить модели, полностью адекватные реальности [3, с. 9].

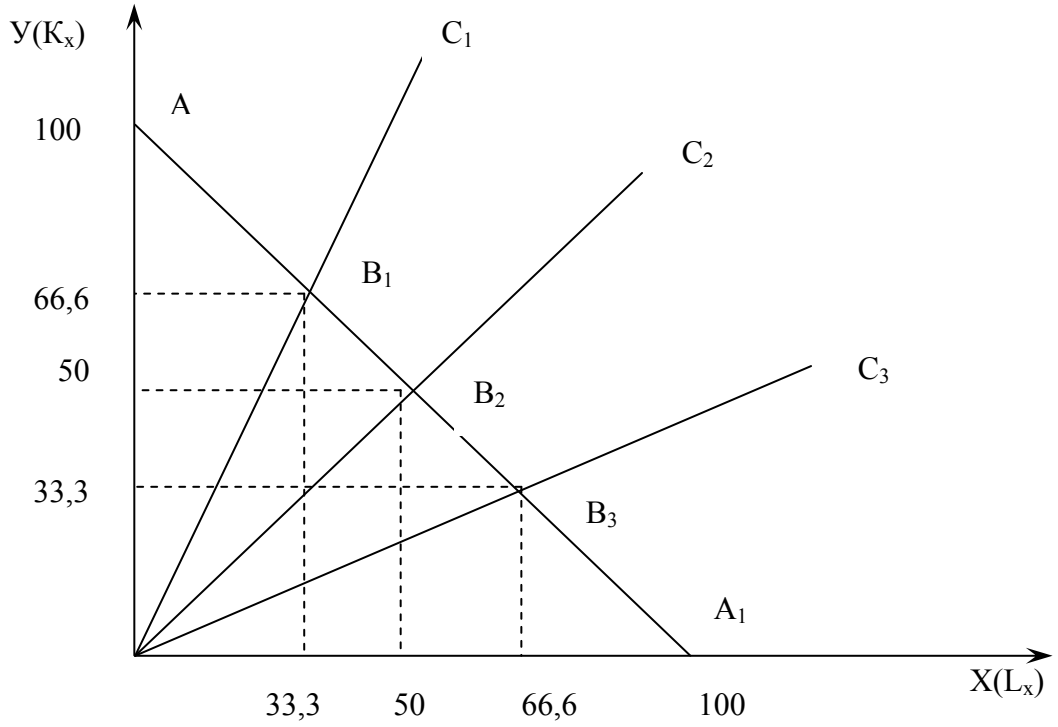


Рис. 2. Динамика изменения доходов под влиянием предельной нормы технологического замещения труда капиталом ($MRTS_{L,K}$)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макроэкономика / П. И. Гребенников [и др.] ; под ред. Л. С. Тарасевича. – СПб. : Изд-во СПбУЭФ, 1998. – 447 с.

2. **Шамаев, А. А.** Системность и сбалансированность в распределительных отношениях национальной экономики / А. А. Шамаев // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2007. – № 3. – С. 173–179.

3. Макроэкономика. Теория и российская практика : учебник / Под ред. проф. А. Г. Грязновой и проф. И. Н. Душной. – 4-е изд., стереотип. – М. : КНОРУС, 2007. – 688 с.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 02.06.2008

A. A. Shamayev
The content characteristics of national net product distribution in the national economy

To reveal the content of the distribution relations it is necessary to determine their place not only in the system of economic but also social processes. In this paper the author analyses a qualitative side of the national net product distribution and discloses the process of forming of personified income of national economy players, the analysis being coordinated with the content side and the dynamics of the national net product. The analysis deepens and extends the approaches pointed out by the author in his paper «System analysis and balance in distribution relations of the national economy».

Редакционная коллегия

Главный редактор	Сазонов И. С.
Зам. главного редактора	Ловшенко Ф. Г.
Зам. главного редактора	Жолобов А. А.
Ответственный секретарь	Кошелева В. И.

Члены редколлегии:

Тарасик В. П.	Батяновский Э. И.	Фираго Б. И.
Ким В. А.	Лазаренков А. М.	Луковников В. И.
Берестов Е. И.	Карабанов А. М.	Новиков В. А.
Даньков А. М.	Хомченко А. В.	Редько В. П.
Пашкевич М. Ф.	Борисов В. И.	Базылев Н. И.
Куликов В. П.	Сотский А. Б.	Барановский С. И.
Семенюк С. Д.	Гапоненко С. В.	Пашкевич В. М.
Босаков С. В.	Кузнецов А. П.	

Подписано в печать 04.03.2009. Формат 60×84/8. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать трафаретная. Усл.-печ. л. 20,46. Уч.-изд. л. 20,0. Тираж 100 экз. Заказ № 133.

Издатель и полиграфическое исполнение
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет»
ЛИ № 02330/375 от 29.06.2004 г.
212000, г. Могилев, пр. Мира, 43

© ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», 2009