

**ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ  
ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ  
ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ**

**ՄԱՐԳԱՐՅԱՆ ԱՐՄԻՆԵ ԱՇՈՏԻ**

**ՏՊԱԳՐԱԿԱՆ ԱՐՏԱԴՐԱՆՔԻ ՈՐԱԿԻ ԲԱՐԵԼԱՎՈՒՄԸ  
ՊՈԼԻԳՐԱՖԻԱԿԱՆ ՄԵՔԵՆԱՆԵՐԻ ՀԱՆԳՈՒՅՑՆԵՐԻ ԴԵՖՈՐՄԱՑՄԱՆ  
ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ԿԱՌՎԱՐՄԱՄԲ**

Ե.02.01 - «Մեքենագիտություն» մասնագիտությամբ տեխնիկական  
գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման  
ատենախոսության

**ՍԵՂՄԱԳԻՐ**

**ԵՐԵՎԱՆ 2018**

---

---

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ АРМЕНИИ**

**МАРГАРЯН АРМИНЕ АШОТОВНА**

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ТИПОГРАФСКОЙ ПРОДУКЦИИ УПРАВЛЕНИЕМ  
ДЕФОРМАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ УЗЛОВ ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ  
МАШИН**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 05.02.01 - «Машиноведение»

**ЕРЕВАН 2018**

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի (ՀԱՊՀ) գիտական խորհրդում:

Գիտական ղեկավար՝	տ.գ.թ. Ռ.Ն. Բարսեղյան
Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝	տ.գ.դ. Գ.Լ. Պետրոսյան
	տ.գ.թ. Ն.Բ. Զաքարյան
Առաջատար կազմակերպություն՝	Երևանի պետական համալսարան

Պաշտպանությունը կայանալու է 2018 թ. դեկտեմբերի 14-ին, ժամը 13:00-ին ՀԱՊՀ գործող ԲՈԿ-ի «Մեքենաշինություն և Մեքենագիտություն» 034 Մասնագիտական խորհրդի նիստում:  
Հասցեն՝ 0009, ք. Երևան, Տերյան փ., 105:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀԱՊՀ գրադարանում:  
Սեղմագիրն առաքված է 2018 թ. նոյեմբերի 3-ին:

034 Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար,  
տ.գ.թ.



Մ.Գ. Հարությունյան

---

Тема диссертации утверждена Ученым советом Национального политехнического университета Армении (НПУА).

Научный руководитель:	к.т.н. Р.Н. Барсегян
Официальные оппоненты:	д.т.н. Г.Л. Петросян
	к.т.н. Н.Б. Закарян,
Ведущая организация:	Ереванский государственный университет.

Защита состоится 14-го декабря 2018г. в 13:00 ч. на заседании Специализированного совета ВАК 034 – “Машиностроение и Машиноведение”, действующего при НПУА, по адресу: 0009, г. Ереван, ул. Теряна, 105.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НПУА.

Автореферат разослан 3-го ноября 2018г.

Ученый секретарь Специализированного совета 034

к.т.н.



М.Г. Арутюнян

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Рост объёма полиграфического производства за последнее десятилетие, а также возрастающие требования к качеству и оформлению печатной продукции диктуют необходимость применения новых технологических процессов и полиграфических материалов, обеспечение нормальных режимов работы полиграфического оборудования за назначенный срок службы. Для этого необходимо в первую очередь создание оптимальных условий в зоне печати, которые могут изменяться с повышением производительности производства, исключение возможности неравномерной подачи и выхода печатной бумаги из зоны контакта, ее сплющивания, приводящие к нарушению подачи типографской краски и раздвоению печати. Важным условием при этом является обеспечение постоянства давления в зоне контакта основных типографских цилиндров и исключения их относительного смещения, вызывающего нарушение перемещения типографской бумаги через зону контакта.

С целью исключения указанных негативных явлений необходимо глубокое исследование деформационных характеристик поверхностных составных слоев офсетных цилиндров, поскольку при вариации рабочих скоростей машины существенно меняются деформации именно этих слоев вследствие применения в них составных эластичных материалов. Переменные деформации вызывают относительное скольжение и снижение давления по длине контактной зоны а также инициируют процессы трения и износа печатных элементов, что в конечном итоге может привести как к снижению качества продукции, так и сокращению срока службы оборудования.

Анализ результатов известных исследований свидетельствует о преобладающем дифференцированном подходе к изучению названных выше факторов. Однако лишь при комплексном и совокупном их рассмотрении можно получить данные о технологических режимах, способствующих повышению качества и обеспечению необходимых объемов печатной продукции, что в настоящее время является одной из первоочередных проблем полиграфического производства. Этим и обусловлена актуальность настоящей диссертационной работы, посвященной комплексному и

совокупному исследованию влияния деформационных характеристик полиграфических машин на качество печатной продукции.

**Цель и задачи исследования.** Целью исследования является повышение качества печатной продукции путем изменения деформационных характеристик узлов полиграфических машин и установления оптимальных технологических режимов процесса печати.

Исходя из поставленной цели и выполненного анализа сформулированы и решены следующие задачи исследования:

1. Исследовать макроструктуру и физико-механические показатели типографской бумаги путем проведения комплексных механических испытаний и получить рекомендации для улучшения качества печатной продукции.

2. Изучить деформационные характеристики резинотканевой прослойки офсетного цилиндра в контактной зоне печати.

3. Определить контактные давления и трибологические показатели поверхностных слоев рабочих элементов в контактной зоне печати и дать количественную оценку их совместного действия.

4. Разработать рекомендации об оптимальных условиях печати в контактной зоне путем управления параметрами конструктивных элементов и физико-механических показателей типографской бумаги.

**Методы исследования.** Для определения механических свойств типографской бумаги использованы требования существующего стандарта *ГОСТ30436-96* и лабораторная тензометрическая установка фирмы National Instruments (NI) марки ANI1.

Результаты экспериментов обработаны стандартной вычислительной программой Wolfram Mathematica. Для определения основного силового параметра процесса печати: нормального давления использованы методы решения контактных задач, а для исследования статических и динамических режимов нагружения контактной зоны печати применен программный пакет ANSYS.

**Научная новизна работы.** В процессе исследования получены результаты, отличающиеся новизной:

1. Экспериментально определены физико-механические свойства наиболее часто используемых типографских бумаг: прочностные характеристики бумаг в продольном и поперечном направлениях макроволокон в их структуре.

2. Предложена модель, описывающая возникновение контактного касательного напряжения в печатных цилиндрах и типографской бумаге в зоне их контакта.

3. Применением стандартного программного пакета ANSYS предложена численная модель и получены оптимальные параметры поверхностных слоев составной пленки офсетного цилиндра при контакте с типографской бумагой, позволяющие количественно оценить динамику процесса печатания.

4. Разработана методика определения оптимальных параметров в контактной зоне печати: относительного скольжения и износа, требуемого типа печатной бумаги, а также дана количественная оценка срока службы офсетной пленки на основании исследования явлений трения, контактной прочности и износа.

**Практическая значимость работы.** Увеличение объемов производства и повышение качества печатной продукции требуют реализации высокопроизводительных технологических процессов с одновременным повышением работоспособности ответственных узлов и деталей полиграфических машин. Это, в первую очередь, предполагает обеспечение нормальных условий работы полиграфических машин в зоне печати: выбор оптимального типа бумаги; определение оптимального давления в зоне контакта; вариация геометрических параметров составной поверхностной пленки офсетного цилиндра. Результаты диссертационной работы дают возможность повышения износостойкости поверхностного слоя офсетного цилиндра и как следствие обеспечения стабильности качества печати. Разработанные расчетно-экспериментальные методы могут быть также использованы при преподавании дисциплин по типографскому делу в НПУА.

Диссертационная работа выполнена на кафедре Механики и машиноведения НПУА в соответствии с планами исследовательских работ кафедры на 2014-2017 гг.

**Основные положения, выносимые на защиту.** На защиту выносятся следующие положения:

1. Исследование физико-механических свойств печатной бумаги с использованием тензометрической лабораторной установки AN11 фирмы National Instruments (NI).

2. Исследование напряженно-деформированного состояния в зоне контакта печатных цилиндров и бумаги аналитическим методом.

3. Моделирование контактных явлений в процессе печати с применением программного пакета ANSYS.

4. Обеспечение необходимой долговечности оборудования и устойчивого качества печати с применением методов количественной оценки параметров трибологии и износостойкости.

**Апробация результатов исследования.** Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались на ежегодных научных конференциях профессорско-преподавательского состава и аспирантов НПУА, а также на научных семинарах факультета Механики и машиноведения НПУА за 2015-17 гг.

**Публикации.** Основные результаты исследования опубликованы в 7 научных статьях, список которых представлен в конце автореферата.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов и рекомендаций, списка литературы из 105 наименований на армянском, русском и английском языках и приложений (48 стр.). Общий объем диссертации составляет 118 страниц, включая 46 рисунка и 4 таблиц. Диссертация написана на армянском языке.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, представлены методы исследования, предложены научная новизна, практическая ценность и основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** выполнен анализ литературных источников по изучению конструктивных особенностей полиграфического оборудования, технологических процессов печатания, происходящих в контактной зоне печатных цилиндров, а также физико-механических свойств типографской бумаги. Особое внимание уделено деформационным процессам в

многослойной резинотканевой пленке на офсетном цилиндре, дважды входящей в рабочий контакт с другими элементами за один оборот вращения. Отмечено, что величина рабочего давления зависит от типа офсетной пленки, поверхностного состояния печатной бумаги, состава и вязкости краски. Из типографского оборудования выбран тип офсетной машины, как наиболее распространенной и высокопроизводительной в сфере полиграфии.

Правильный выбор и установка офсетной пленки предопределяет качество печатной продукции. Применение сравнительно жестких пленок приводит к увеличению зоны контакта и появлению относительного скольжения, следовательно – раздвоению и размазыванию печатного изображения. Поэтому для четкого перевода растровых элементов на поверхности бумаги в современных конструкциях составных пленок введены легко деформируемые и быстро восстанавливаемые пористые слои, которые решают эту задачу. Рассмотрены физико-механические свойства типографской бумаги, дана классификация ее типов с учетом макроструктурных и полиграфических особенностей. Дана методика проведения стандартных испытаний, а также изучены процессы трения и износа в контактной зоне для определения долговечности элементов оборудования. Учитывая одновременное воздействие нескольких разнохарактерных факторов предложено исследовать напряженно-деформированное состояние в зоне контакта с применением программного пакета ANSYS. На основе анализа известных работ намечены цель и задачи исследования, позволяющие обеспечить высокую производительность типографского оборудования и качество выпускаемой продукции.

**Вторая глава** посвящена исследованию прочности типографской бумаги, для чего произведен анализ ее макроструктуры и физико-механических свойств, а для обеспечения качества печати – состояния ее поверхности. Дана классификация типов бумаги, применяемых в различных видах печати (высокой, глубокой, офсетной). Подробно рассмотрен рельеф поверхности, как основной показатель получения продукции высокого качества. Для определения физико-механических свойств бумаги она рассмотрена как разновидность полимерного композиционного материала, состоящего из древесных волокон различных видов и длин, взаимосвязанных

полимерным клеем, а полоса бумаги выпускается методом обкатки, формирующей взаимное и направленное расположение волокон в бумаге.

Прочность бумаги характеризуется ее сопротивлением ударным нагрузкам, давлению, гибке и разрыву. На прочность действуют следующие факторы: размеры, гибкость и прочность волокон; влажность; силы взаимодействия между волокнами, обусловленные типом полимерного связывающего материала; плотность и ориентация волокон по направлению обкатки. Поэтому прочность бумаги в продольном и поперечном направлениях обкатки разная и обусловлена преимущественным расположением волокон в продольном направлении. Согласно ГОСТ 30436-96 для типографской бумаги установлены следующие показатели прочности: длина обрыва, предельная прочность, индекс прочности, относительное удлинение, а также правила выполнения статических испытаний для определения указанных показателей.

Испытания проведены на лабораторной установке марки ANI1, оснащенной необходимыми контрольно-измерительными приборами и программным средством для получения этих показателей. Испытано 7 видов типографской бумаги с применением образцов, вырезанных в продольном и поперечном направлениях бумажных полос (табл. 1).

Таблица 1

Результаты испытаний образцов бумаги

N	Тип бумаги	Удельная масса, $q, \text{г/м}^2$	Толщина $h, \text{мм}$	Предельная прочность, $S, \text{кН/м}$		Индекс прочности, $I, \text{кН-м/г}$		Усилие отрыва, $\bar{F}, \text{Н}$		Абсолютная деформация, $\Delta\delta, \text{мм}$	
				$S_1$	$S_2$	$I_1$	$I_2$	$\bar{F}_1$	$\bar{F}_2$	$\Delta\delta_1$	$\Delta\delta_2$
1	Газетная	45	0,07	2,30	1,10	51,1	24,4	57,5	27,5	5,83	7,11
2	Офсетная	60	0,08	3,10	1,70	51,7	28,3	77,5	42,5	6,39	8,88
3		70	0,10	5,50	2,30	78,6	32,9	137,5	57,5	6,71	9,45
4		80	0,11	6,30	2,50	78,8	31,3	157,5	62,5	6,80	8,97
5		100	0,13	6,50	2,70	65,0	27,0	162,5	67,5	7,26	7,91
6		120	0,15	6,70	3,50	55,8	29,2	167,5	87,5	7,22	7,05
7		150	0,18	7,10	5,50	47,3	36,7	177,5	137,5	6,80	8,62

Примечание. Индексами 1 и 2 обозначены показатели по продольному и поперечному направлениям полосы



По результатам испытаний (140 серий) выявлены не замеченные ранее закономерности: в продольном направлении функции  $F_1 = f_1(\Delta\delta_1)$  почти линейны и подчиняются закону Гука; функции  $F_2 = f_2(\Delta\delta_2)$  меняются по параболическому закону 2-го порядка. С увеличением удельной массы  $q$  функции  $F_1 = f_1(\Delta\delta_1)$  и  $F_2 = f_2(\Delta\delta_2)$  приближаются друг к другу (рис. 1), что в печатном производстве позволяет применять и краевые участки бумажной полосы, которые, как правило, отбраковываются. Не были ранее исследованы также изменения  $F_i$  и  $\Delta\delta_i$  при расположении среза под углом к продольному направлению волокон в бумаге. Важно также изучение предельного состояния типографской бумаги, предшествующего разрыву, математическую модель которого можно представить системой функций разрушения:

$$\bar{F}_{1,2} = \varphi_{1,2}(q), \quad \overline{\Delta\delta}_{1,2} = \varphi_{3,4}(q), \quad S_{1,2} = \varphi_{5,6}(q), \quad \delta_{1,2} = \varphi_{7,8}(q), \\ \bar{F}_{1,2} = \Psi_{1,2}(\Delta\delta_{1,2}).$$

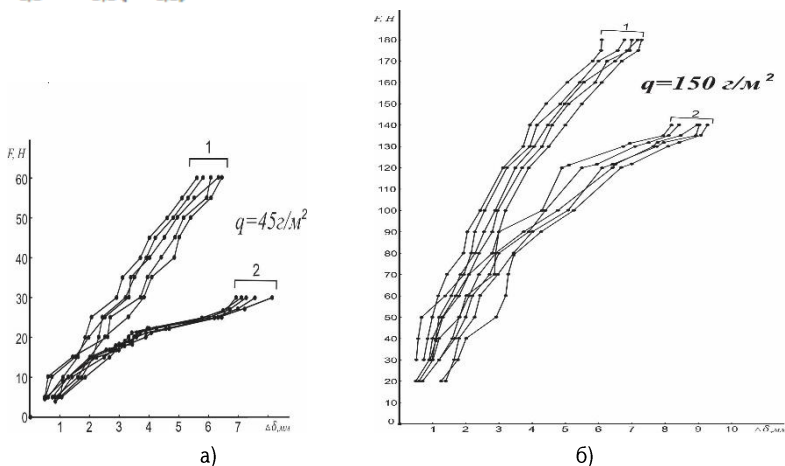


Рис. 1. Функции:  $F_1 = f_1(\Delta\delta_1)$  и  $F_2 = f_2(\Delta\delta_2)$  при  $q = 45 \text{ г/м}^2$  (а) и  $q = 150 \text{ г/м}^2$  (б):

1 – продольное, 2 – поперечное направления волокон

Данные обработаны программным пакетом Wolfram Mathematica и выбраны оптимальные уравнения регрессии при значениях коэффициента детерминации  $R^2 > 0,9$  (табл. 2).

Использование данных уравнений в печатном процессе, исходя из типа выбранной типографской бумаги, позволяет рассчитать оптимальные значения силы натяжения  $F_i$  полосы бумаги.

**В третьей главе** даны результаты изучения напряженно-деформированного состояния элементов конструкции печатных цилиндров в результате действия рабочего давления в контактных зонах. К давлению предъявляются требования постоянства значения на протяжении всего процесса печатания. При этом рабочее давление создается силовым и кинематическим методами. В первом случае постоянной остается нормальная сила, а во втором - деформация поверхностной пленки офсетного цилиндра. Даны деформационные свойства и видоизменение компонентов деформации офсетной пленки в процессе печатания.

С увеличением скорости печатного процесса становится обязательным изучение влияния относительных окружных перемещений в контактной зоне, что связано с изменением напряженного состояния в поверхностном слое офсетной пленки (рис. 2). Согласно А.А. Тюрину, нормальные напряжения в точке  $K$  равны  $\sigma_x = \sigma_{\max}[1 - 4(x/a)^2]$ , где  $\sigma_{\max}$  - максимальные напряжения в точке В.

Таблица 2

Оптимальные уравнения регрессии для функций (1)

г	Направление волокон	Функция	Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации, $R^2$
1	Продольное	$\bar{F}_1 = \varphi_1(q)$	$y = 1,0886x + 36,732$	0,7075
			$y = -0,0187x^2 + 4,733x - 118,5$	0,9093
			$y = 2 \cdot 10^{-4}x^3 - 0,0777x^2 + 10,021x - 262,81$	0,9284
2	Поперечное	$\bar{F}_2 = \varphi_2(q)$	$y = 0,9484x - 15,746$	0,9448
			$y = 0,0044x^2 + 0,0891x + 20,855$	0,9645
			$y = 0,0002x^3 - 0,0517x^2 + 5,1127x - 116,23$	0,9948
3	Продольное	$\Delta\sigma_1 = \varphi_3(q)$	$y = 0,0093x + 5,8861$	0,4758
			$y = -0,0003x^2 + 0,0697x + 3,3137$	0,9875
			$y = -4 \cdot 10^{-4}x^3 - 0,0002x^2 + 0,0582x + 3,6271$	0,9883

4	Поперечное	$\Delta\delta_2 = \varphi_4(q)$	$y = -0,002x + 8,4605$	0,0059
			$y = -0,0001x^2 + 0,0232x + 7,3871$	0,0301
			$y = 3 \cdot 10^{-6}x^3 - 0,0085x^2 + 0,7705x - 13,004$	0,9873
5	Продольное	$S_1 = \varphi_5(q)$	$y = -0,0007x^2 + 0,1893x - 4,7401$	0,9093
			$y = 8 \cdot 10^{-6}x^3 - 0,0031x^2 + 0,4008x - 10,512$	0,9284
			$y = 4 \cdot 10^{-7}x^4 - 0,0002x^3 + 0,02x^2 - 0,906x + 15,38$	0,9515
6	Поперечное	$S_2 = \varphi_6(q)$	$y = 0,0379x - 0,6298$	0,9448
			$y = 0,0002x^2 + 0,0036x + 0,8342$	0,9645
			$y = 8 \cdot 10^{-6}x^3 - 0,0021x^2 + 0,2045x - 4,6494$	0,9948

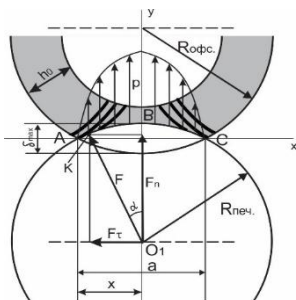
*Примечание. Затемнены оптимальные варианты уравнений регрессии*

Для касательных напряжений -  $\tau_x = \sigma_x \operatorname{tg} \alpha$ , а  $\operatorname{tg} \alpha \approx \sin \alpha = x/R$ , откуда можно записать, что

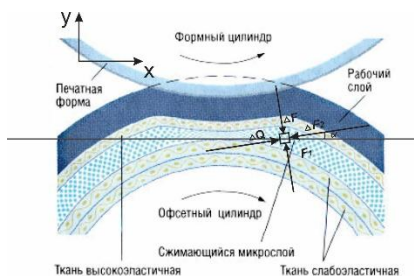
$$\tau_x = \sigma_{\max} [1 - 4(x/a)^2] / (x/R)$$

При динамическом режиме нагружения, учитывая переменность мгновенного контактного радиуса офсетного цилиндра, переменными являются также силы давления  $\Delta F, \Delta Q$  и сопротивления  $\Delta F_1, \Delta F_2$  (рис. 3). Из уравнения равновесия сил получается:

$$\Delta F_2 = (\Delta Q / \Delta F) \Delta F_1 \quad \text{или} \quad \tau_x = \Delta Q / \Delta F \sigma_x .$$



*Рис. 2. Схема статического нагружения офсетной пленки в зоне контакта*



*Рис. 3. Схема усилий в элементах офсетной пленки при динамическом нагружении*

Переменность точки контакта  $K$  при динамическом нагружении приводит к смещению (рис. 4) точек действия  $\sigma_{max}$  и  $\tau_{max}$ , что может повлиять на качество выпускаемой продукции.

В зоне контакта офсетной пленки с печатной формой возникают остаточные деформации пленки, относительное скольжение между ними, а также поперечные деформации валов цилиндров. В сумме они могут инициировать дополнительные колебания и повлиять на качество печати. В первом цикле печати (1-й оборот цилиндра) максимальная деформация пленки достигает  $\delta_{max1}$  а давление -  $p_{max1}$ . После первого цикла толщина пленки полностью не восстанавливается: а максимальная деформация -  $\delta_{max2} < \delta_{max1}$ , т.е.  $p_{max2} < p_{max1}$ . В конце работы, после  $n$ -го цикла  $\delta_{maxn} < \delta_{max1}$ . Учитывая характер изменения  $\delta_{max1}, \delta_{max2}, \dots, \delta_{maxn}$ , можно получить временную функцию напряжений  $\sigma_t$ .

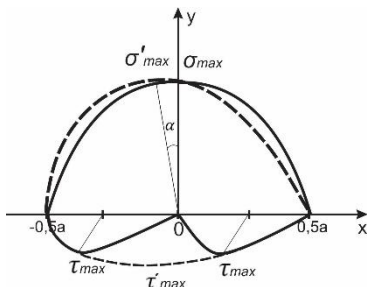


Рис. 4. Распределение напряжений  $\sigma_x$  и  $\tau_x$  по ширине контактной линии при статическом (—) и динамическом (---) режимах нагружения

Функция  $\sigma(t)$  действует в зоне контакта, следовательно, рабочее давление также является переменным и зависит от соотношения компонентов. Контактное давление между цилиндрами офсетным и печатной формы больше, что вызывает значительные деформации в поперечном и продольном направлениях контакта (рис. 5). Максимальная деформация в произвольной точке контакта с радиус –вектором  $\rho_\alpha$  и углом  $\alpha$  равна

$$\delta_{max}(\omega t) = R - L \sin(\omega t) \pm \sqrt{(L \sin(\omega t))^2 - (L^2 - R^2)}.$$

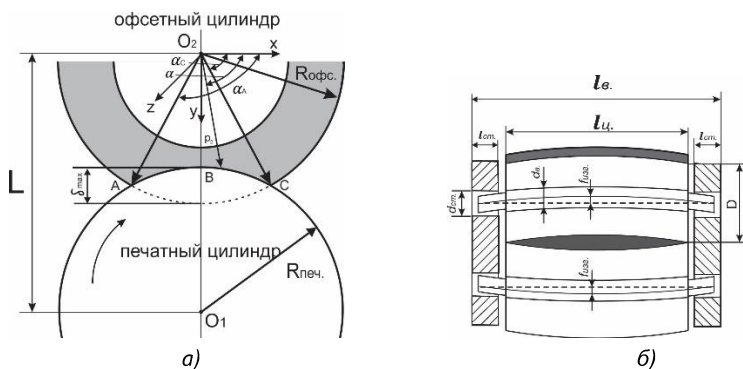


Рис.5. Контакт между офсетным и печатным цилиндрами в поперечном (а) и продольном (б) направлениях

Результаты расчетов позволяют выполнить количественную оценку напряжений и давления в любой точке контактной зоны и при любом цикле работы цилиндров. Определение деформаций стен цилиндров при особенностях их внутренней конструкции, а также сложность воздействия переменного давления является сложной задачей, поэтому аналитически она решена только при статическом приложении нормальной силы. Показано, что изменение напряженно-деформированного состояния и рабочего давления в контактной зоне с учетом действия указанных выше явлений приводят к нарушению нормального режима печатных процессов и выдвигает необходимость их регулирования конструктивно-технологическими и эксплуатационными мероприятиями.

**В четвертой главе** выполнено исследование и моделирование процессов, протекающих в контактной зоне цилиндров. Показано, что эти явления вызывают переменное напряженно-деформированное состояние, что в свою очередь это состояние при динамичном нагружении инициирует относительное скольжение в контактной зоне и вызывает необходимость комплексного исследования процесса. Из-за различия химико-физических свойств материалов (сталь, композиционный полимерный каучук, типографская бумага, печатная краска), а также динамического нагружения и наличия воздействия жидкостей в контактной зоне происходят процессы относительного скольжения, износа и повреждений, которые не только

вливают на качество продукции, но из-за макроструктурных изменений поверхностных слоев – также и на несущую способность и долговечность элементов конструкции.

Для снижения влияния переменного напряженно-деформированного состояния и относительного скольжения в контактной зоне используется многослойная композиционная пленка, которая легко деформируется, обеспечивает плотность контакта и легко восстанавливается после выхода из контакта (рис. 6).

Применение синтетических полимерных материалов с металлами в типографских машинах приводит к явлениям трения и износа разнородных контактирующих поверхностей. Поверхностные повреждения, в основном, возникают от относительного скольжения, циклического нагружения, которые вызывают повреждения. Влияние указанных факторов значительно для офсетной пленки, которая за один оборот цилиндра дважды проходит через контактную зону и не успевает полностью восстанавливаться из-за наличия остаточных деформаций.

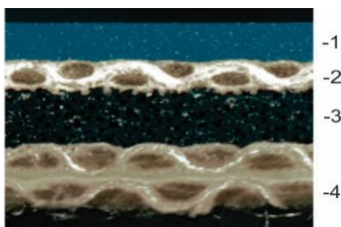


Рис. 6. Поверхностная пленка офсетного цилиндра. Слои: 1 – хлоропренового каучука, 2, 4 – резинотканевые прослойки, 3 – пористой резиновой прослойки. Общая толщина – 1,95 мм

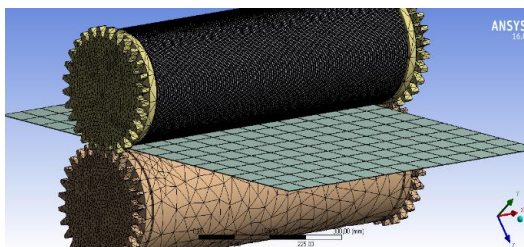


Рис. 7. Разбивка на конечные элементы бумаги и поверхностей печатных цилиндров

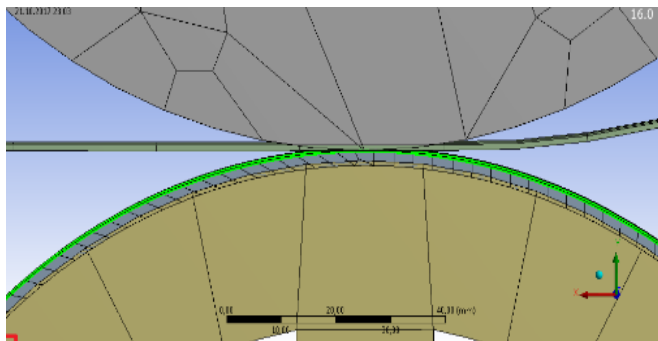
Наличие типографской бумаги, в свою очередь, вызывает износ за счет появления в контакте мелких частиц бумаги. Аналогичные явления происходят и на поверхности печатной формы, которая деформируется при наличии увлажняющей жидкости, печатной краски и износа частиц бумаги. При этом появление на поверхности печатной формы клееобразной среды “краска-вода-частицы бумаги” вызывает дополнительное натяжение по краям формы и влияет на качество продукции.

Учитывая разнородность и комплексное воздействие указанных факторов, для изучения напряженно-деформированного состояния контактной зоны применен метод конечных элементов. Составлена двумерная система конечных элементов (рис. 7). Для выполнения расчетно-графических процедур при статическом и динамическом режимах нагружения использован компьютерный пакет программ ANSYS.

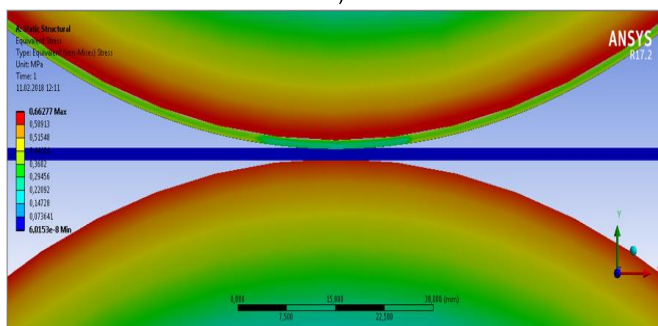
В качестве примера представлено распределение напряжений в офсетной пленке при контакте с типографской бумагой  $q = 60 \text{ г/м}^2$  (рис. 8).

При динамическом нагружении наблюдается некоторое повышение напряжений и деформаций. Процессы, протекающие в контактной зоне офсетного цилиндра, выдвигают требования количественной оценки основных механических показателей в этой зоне с целью обеспечения безотказной работы оборудования, с заданным сроком службы и высоким качеством продукции. Применение программного пакета ANSYS позволяет методом численного моделирования указанных процессов решить эту комплексную задачу.

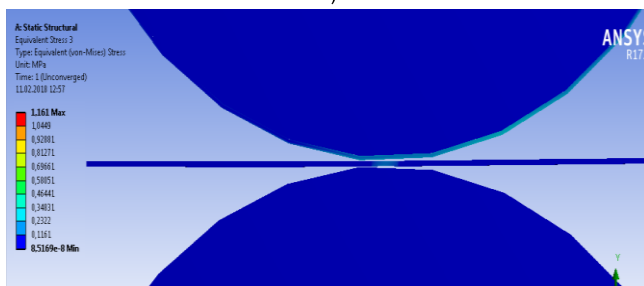
Для оценки работоспособности офсетной пленки рассмотрено совместное действие циклического нагружения и износа. Выбраны три варианта толщин наружной хлоропреновой прослойки  $h_1 = 0,36; 0,60 \text{ и } 0,75 \text{ мм}$  при постоянной общей толщине пленки ( $h = 1,95 \text{ мм}$ ).



а)



б)



в)

Рис. 8. Схема конечных элементов в зоне контакта (а), общий вид распределения напряжений при статическом (б) и динамическом (в) режимах нагружения.

Рассчитан линейный износ упругой прослойки  $\Delta h = kp^m l$ , который при стационарном режиме работы оборудования имеет вид  $h = kpl$ , где



$k = 6,05 \cdot 10^{-9}$  – коэфф. пропорциональности;  $p = 0,8$  МПа – давление в зоне контакта,  $l = aN$  – общая длина траектории трения,  $N$ - циклическая долговечность,  $a$  - ширина зоны контакта. Для рассмотренных вариантов прослоек согласно получены значения линейного износа:  $\Delta h = 0,068; 0,063$  и  $0,060$  мм. Для длины относительного скольжения получены:  $\Delta S = 0,031; 0,035; 0,036$  мм. Аналогично рассчитаны также ширины  $a$  контактной зоны для рассмотренных вариантов прослоек, получено:  $a = 5,16; 5,38; 5,42$  мм.

Анализ полученных результатов показывает, что расчетные показатели мало отличаются друг от друга и оптимальным является второй вариант прослойки, при котором срок службы приемлемый, а износ незначительный. Ширина контактной зоны совпадает с аналогичным значением ( $\bar{a} = 5,2...5,8$  мм) для подавляющего большинства типов современных офсетных машин. Для оптимального выбора целлюлозной бумаги из 7 рассмотренных видов выбраны 3 варианта с удельными массами:  $q = 45, 60$  и  $120$  г/м<sup>2</sup> и толщинами  $h_g = 0,07; 0,08$  и  $0,15$  мм и с применением программного пакета ANSYS исследовано напряженно-деформированное состояние бумаги при разных режимах нагружения.

Значения напряжений и деформаций при динамическом режиме нагружения для рассмотренных вариантов бумаг в продольном и поперечном направлениях, соответственно, равны:

$$\sigma = 0,197; 0,200; 0,210 \text{ МПа и } 0,420; 0,482; 0,495 \text{ МПа};$$

$$\Delta \delta = 0,70; 0,76; 0,78 \text{ мм и } 1,32; 1,36; 1,44 \text{ мм}.$$

Из рассмотренных вариантов в общем случае предпочтительно применение бумаги в продольном направлении вырезки, для которой значения  $\sigma$  и  $\Delta \delta$  сравнительно близки, что указывает на применение бумаги, обладающей необходимой прочностью и сравнительно низкой удельной массой, удобной для длительного пользования печатного продукта, изготовленного из такого типа бумаги. Учитывая эти обстоятельства, оптимальным является вариант бумаги с  $q = 60$  г/м<sup>2</sup>.

## ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Выполнено экспериментальное исследование физико-механических параметров офсетной бумаги в широком диапазоне ее удельной массы ( $q = 45 \dots 150 \text{ г/м}^2$ ) при продольном и поперечном направлениях макроволокон в бумаге. Получены основные физико-механические параметры бумаги и показано, что с увеличением  $q$  наблюдается сближение этих параметров по обоим направлениям макроволокон, что позволяет применение бумаги и в поперечном направлении, что ранее не использовалось.

2. На основании теоретического анализа напряженно-деформированного состояния контактирующих элементов получены зависимости для оценки напряжений и деформаций в многослойной составной пленке офсетного цилиндра и для обеспечения постоянства давления в зоне контакта.

3. Исследование напряженно-деформированного состояния в зоне контакта при статическом и динамическом нагружениях выполнено с использованием компьютерного программного пакета ANSYS. Кинематический анализ процесса печати показал, что в результате неравномерной деформации офсетной пленки мгновенный радиус в точках контакта офсетного цилиндра меняется и достигает минимального значения в центре контактной площадки, что приводит к изменению линейных скоростей поверхности офсетного цилиндра и появлению относительного скольжения в зоне контакта, что влияет на качество печати.

4. С применением предложенной математической модели линейного коррозионного износа поверхностного слоя пленки офсетного цилиндра с учетом циклических напряжений определены срок службы поверхностной пленки (около 4 лет) и величина ее линейного износа. Полученные результаты могут быть применены для обеспечения требуемых условий работы типографских машин и необходимого качества продукции при производительности выпуска до  $7200 \text{ шт./час}$ .

5. Результаты исследований могут быть использованы с целью обеспечения адекватной и безотказной работы полиграфических машин, оценки напряженно-деформированного состояния и износа их наиболее нагруженных конструктивных элементов: печатных форм цилиндров, офсетных пленок и назначения достоверных сроков эксплуатации,

технического обслуживания и ремонта машин для обеспечения стабильного качества печатной продукции.

**Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:**

1. **Մարգարյան Ա.Ա.** Տպագրական թղթի մեխանիկական հատկությունները // ՃՇՀԱՀ Գիտ. աշխատություններ.-2015.-№2(57).-էջ 118-123:

2. **Մարգարյան Ա.Ա.** Ֆիզիկամեխանիկական երևույթները տպագրության հպման գոտում // ՃՇՀԱՀ Տեղեկագիր.-2015.-№3(47).-էջ 104-110:

3. **Մարգարյան Ա.Ա.** Տպագրական թղթի կառուցվածքային ամրությունը // Լրաբեր. Գիտ. հոդվ. ժող., Մ.2.-Երևան, ՀԱՊՀ ճարտարագետ, 2016.-էջ 415-421:

4. **Մարգարյան Ա.Ա.** Տպագրական թղթի ամրության ցուցանիշների քանակական գնահատումը // ՃՇՀԱՀ Տեղեկագիր.-2016.-№3(52).-էջ 53-62:

5. **Մարգարյան Ա.Ա.** Տպագրական գլանների հպման գոտում լարվածադեֆորմացիոն վիճակի ուսումնասիրումը // Լրաբեր. Գիտ. հոդվ. ժող., Մ 2. -Երևան, Ճարտարագետ, 2017.- էջ 543-549:

6. **Մարգարյան Ա.Ա., Բարսեղյան Ռ.Ն., Վերլինսկի Ա.Վ.** Տպագրական մեքենաների աշխատանքային գոտիներում լարվածադեֆորմացիոն վիճակի հետազոտումը //Հայաստանի Ճարտարագիտական ակադեմիայի Լրաբեր.- 2018.- Հ.15, №1.- էջ 88-92:

7. **Маргарян А.А., Барсегян Р.Н.** Оценка процессов трения и износа в зоне контакта полиграфических машин // Вестник НПУА. Механика, машиноведение.- 2018.-№1.- С. 69-75.

**Մարգարյան Արմինե Աշոտի**

**ՏՊԱԳՐԱԿԱՆ ԱՐՏԱԴԻԱՆՔԻ ՈՐԱԿԻ ԲԱՐԵԱՎՈՒՄԸ  
ՊՈԼԻԳՐԱՖԻԱԿԱՆ ՄԵՔԵՆԱՆԵՐԻ ՀԱՆԳՈՒՅՑՆԵՐԻ ԴԵՖՈՐՄԱՑՄԱՆ  
ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՄԲ**

Տպագրության ոլորտում արտադրության ծավալների, որակի և ձևավորման պահանջների աճը թելադրում է կատարելագործել տպագրական մեքենաների հանգույցները և բարձրացնել արտադրողականությունը, որն արդիական խնդիր է: **Աշխատանքի նպատակն է՝** տպագրական արտադրանքի որակի բարձրացումը սարքավորումների հանգույցների մեխանիկական բնութագրերի փոփոխմամբ, որը կապահովի բնականոն աշխատանքային գործընթաց: **Խնդիրներն են՝** տպագրական թղթի մեխանիկական բնութագրերի ճշտումը, տպագրության հպման գոտում հանգույցների լարվածադեֆորմացիոն վիճակի ուսումնասիրումը և կարևոր ցուցանիշների օպտիմալ արժեքների որոշումը:

**Ատենախոսության առաջին գլխում** կատարված է բնագավառի վերաբերյալ գիտատեխնիկական գրականության վերլուծություն, տրված են օֆսեթ մեքենաների կառուցվածքային, տեխնոլոգիական և շահագործական ցուցանիշները, տպագրական գոտում ընթացող երևույթների նկարագրումը և հանգույցների աշխատանքի սկզբունքները, տպագրական թղթի նյութաբանական և մակրոկառուցվածքային առանձնահատկությունները, օֆսեթ թաղանթի կառուցվածքը և դեֆորմացիաները: Առաջադրվում է հպման գոտու լարվածադեֆորմացիոն վիճակի ուսումնասիրման նպատակով օգտագործել ANSYS համակարգչային փաթեթը, որը կիրառվում է տպագրական հետազոտություններում:

**Ատենախոսության երկրորդ գլխում** դիտարկված են տպագրական (օֆսեթ) թղթի կառուցվածքային առանձնահատկությունները, կախված պատրաստման տեխնոլոգիայից և մակրոթելիկների ուղղորդված դասավորությունից: Կատարված են 7 տեսակի թղթերի ստանդարտ մեխանիկական փորձարկումներ երկայնական և լայնական ուղղություններով կտրված փորձանմուշներով: Ստացվել են <<ճգող ուժ-դեֆորմացիա>> և <<քայքայող ուժ-խզման դեֆորմացիա>> ֆունկցիոնալ կապերը և ցույց է տրված, որ թղթի **q** տեսակարար զանգվածի աճի դեպքում նշված ուղղություններով տպաթղթի մեխանիկական հատկությունները մոտենում են, որը թույլ է տալիս **q**-ի բարձր արժեքների դեպքում կիրառել նաև լայնական ուղղությամբ կտրված թուղթը, որը սովորաբար ավելցուկ է համարվում:

**Ատենախոսության երրորդ գլուխը** նվիրված է տպագոտու լարվածադեֆորմացիոն վիճակի հետազոտմանը, որը տպագրական

արտադրանքի որակը բնութագրող հիմնական ցուցանիշներից մեկն է: Նշված գոտում հայտնված բոլոր նյութերը և տարրերը իրենց մեխանիկական հատկություններով էապես տարբերվում են միմյանցից (մետաղական տպագլան, բազմաշերտ ռետինատեխնիկական թաղանթ, տպագրական թուղթ, տպաներկ, խոնավացնող հեղուկ), իսկ ընթացող երևույթներն ու ներգործումները տարաբնույթ են (ցիկլային հպում, առաձգապլաստիկ դեֆորմացիաներ, հարաբերական սահք և մաշում): Առաջին մոտարկմամբ նշված երևույթների ազդեցությունները թելադրում են դրանց ուժային, լարվածադեֆորմացիոն և կինեմատիկական գնահատումները մեխանիկայի սկզբունքների կիրառմամբ, որը և կատարվել է:

**Ատենախոսության չորրորդ գլխում** կատարված է տպագոտում ընթացող երևույթների մաթեմատիկական մոդելավորումը, որը նպատակ ունի ընտրել այդ երևույթների օպտիմալ ցուցանիշները, որոնք էլ թույլ կտան բարելավել տպագրության որակը և բարձրացնել տպամեքենաների արտադրողականությունը: Ուսումնասիրված է հպագոտում առաջացող հարաբերական սահքի կինեմատիկական, որն ընթանում է օֆսեթ թաղանթի սեղման դեֆորմացիայի և օֆսեթ գլանի ակնթարթային շառավղի փոփոխության արդյունքով: Հպագոտում հարաբերական սահքի, տպաթղթի միկրոմասնիկների, ներկանյութի և խոնավացնող հեղուկի համատեղ առկայության պայմաններում հարուցվում են մաշման երևույթներ, որոնք կարող են նվազեցնել հպման գոտում գործող աշխատանքային ճնշման մեծությունը և իջեցնել օֆսեթ թաղանթի երկարակեցությունը: Հպագոտու լարվածադեֆորմացիոն վիճակի գնահատումները կատարված են ANSYS համակարգչային փաթեթով, ստատիկ և դինամիկ բեռնվածության ռեժիմների համար: Վերցված են օֆսեթ թաղանթի երեք տարբերակներ շերտերի և որոշված են դրանց ցիկլային երկարակեցությունները, գծային մաշման չափը, ինչպես նաև հարաբերական սահքի երկարությունը և հպագոտու լայնությունը, որոնց գումարային արդյունքով ընտրված է օֆսեթ թաղանթի օպտիմալ տարբերակը: Նույն ընթացակարգով ընտրված է օպտիմալ օֆսեթ տպաթուղթը, որն ապահովում է տպագրական արտադրանքի նվազագույն գանգվածը, անհրաժեշտ ամրությունը և երկարակեցությունը:

**Armine Ashot Margaryan**

**IMPROVING THE QUALITY OF THE PRINTED PRODUCTION BY  
CONTROLLING THE DEFORMATION CHARACTERISTICS OF  
THE MACHINE UNITS**

The growth of demands for the production volumes, quality, and design in the sphere of printing industry requires that the machine units be improved and the productivity be raised, which is an urgent problem. The aim of the work is to improve the quality of the printed production, by changing the mechanical characteristics of the equipment units, which will ensure a regular operation. The objectives are as follows: specification of the mechanical characteristics of the printing paper, investigation of the units' stress-strain state in the printing contact zone, and determination of the optimal values of important performance indicators.

**In Chapter 1** of the dissertation, an analysis of the scientific and technical literature in the mentioned sphere is carried out, the description of structural, technological and maintenance indicators of the offset machines, the processes taking place in the printing zone and the principles of the units operation is given, the material and macrostructural specifics of the printing paper, the structure and deformations of the offset film are presented as well. To investigate the stress-strain state of the contact zone it is proposed to use the ANSYS software package used in printing research.

**In Chapter 2** of the dissertation, the structural peculiarities of the printing (offset) paper, depending on the production technology and the oriented arrangement of the microfibrers are considered. Standard mechanical testing of 7 types of paper by samples cut in longitudinal and transverse directions are carried out. The functional relations “pulling force – stress” and “destruction force – breaking stress” have been obtained, and it is shown that in case of the growth of the specific weight  $q$  of the paper, the mechanical properties of the printing paper in the mentioned directions become closer which allows for large, in case of large values of  $q$ , also to apply the paper cut in the transverse direction which is usually considered an excess.

**Chapter 3** of the dissertation is devoted to the investigation of the stress-strain state of the printing zone which is one of the main performance indicators, characterizing the quality of the printed production. All the materials and elements which appear in that zone differ from one another essentially by their mechanical properties (mechanical printing cylinder, multilayer industrial rubber film, printing paper, printing ink, moistening liquid), while the proceeding processes and effects are diverse (cyclic contact, elastoplastic deformations, relative slide, and wear). According to the first approximation, the impacts of the mentioned processes require their power, stress-state and kinematic assessments carried out by applying the known principles.

**In Chapter 4** of the dissertation, the mathematical modelling of the processes going on in the printing zone has been performed aimed at selecting the optimal indices of those processes, allowing to improve the printing quality and raise the productivity of the printing machines. The kinematics of the relative slide arising in the contact zone as a consequence of the compression deformation of the offset film and the instantaneous change in the cylinder radius has been studied. At the combined presence of the relative slide, microparticles of the printing paper, printing ink, and moistening liquid in the contact zone, wear phenomena arise which can reduce the magnitude of the operating pressure acting in the contact zone, and decrease the durability of the offset film. Estimations of the stress-strain state of the contact zone have been carried out by the software package ANSYS for the static and dynamic loading modes. Three variants of the offset film are taken and their cyclic durability, the size of the linear wear, as well as the length of the relative slide and the width of the contact zone have been determined and used on the overall result, the optimal variant of the offset film has been selected. By the same procedure, the offset printing paper has been selected to ensure the minimum weight, the required strength, and durability of the printed product.

