

---

*Г. Д. Толстой.*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРЕВА ЭЛАСТИЧНЫХ ВАЛИКОВ КРАСОЧНЫХ АППАРАТОВ**

Под влиянием циклических повторных нагрузжений, сопровождаемых сложными объемными деформациями эластичной оболочки, валики красочных аппаратов в процессе работы печатных машин нагреваются до 40°C и выше в зависимости от многих факторов [8].

В современной полиграфической промышленности при изготовлении эластичных валиков красочных аппаратов используется ряд высокополимерных материалов с различными печатно-техническими характеристиками, теплостойкостью и сопротивлением износу.

Для того, чтобы выяснить механизм разогрева валиков в процессе их работы, необходимо представить строение этих материалов и их поведение при многократном сложном нагружении. Современная статистическая теория молекулярных сеток дает представление о строении высокополимеров [13]. Согласно этой теории, высокополимеры являются совокупностью длинноцепочечных макромолекул, связанных в относительно малом количестве точек (точек вулканизации или поперечных сшивков), образующих неправильную трехмерную сетку.

В зависимости от условий механического нагружения происходит либо поворот и перегруппировка только звеньев цепей макромолекул материала оболочки эластичного валика, либо смещение цепей в целом друг относительно друга, либо, наконец, происходят и те и другие явления одновременно. Благодаря этому между отдельными молекулами происходит трение, работа которого превращается в тепло.

Таким образом, одним из факторов, вызывающих нагрев валиков, является работа внутреннего трения в материале эластичной оболочки.

В работающем красочном аппарате существуют, очевидно, и другие факторы, способствующие нагреву эластичных валиков. Исследованию этого вопроса и посвящается настоящая работа.

### Методика измерения температуры валика

Для измерения температуры эластичного валика были использованы специальные термосопротивления [15]. Применение подобных термосопротивлений удобно тем, что они имеют высокий температурный коэффициент сопротивления и могут использоваться в схемах, не требующих усилительной аппаратуры. Это последнее обстоятельство обеспечивает высокую стабильность показаний во времени, т. к. они не зависят от изменения параметров усилительной аппаратуры.

В качестве чувствительного элемента использовано сопротивление типа ММТ-1, состоящее из смеси двуокиси титана и окиси магния. Значительный температурный коэффициент сопротивления (изменение сопротивления при изменении температуры на  $1^{\circ}\text{C}$ ) позволяет обнаружить колебания температуры измеряемого объекта до  $0,1^{\circ}\text{C}$ , чего не дают обычные сопротивления.

Термосопротивление, служащее для измерения температуры валика ( $R_{\text{тр}}$ ), было размещено непосредственно в его эластичной оболочке, как показано на рис. 1 и 2 и включено в одно из плеч моста Уитстона (рис. 3).

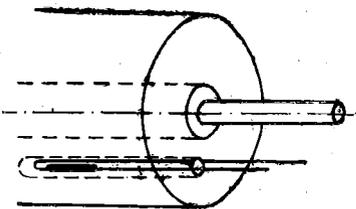


Рис. 1.

Положение термосопротивления в эластичной оболочке валика

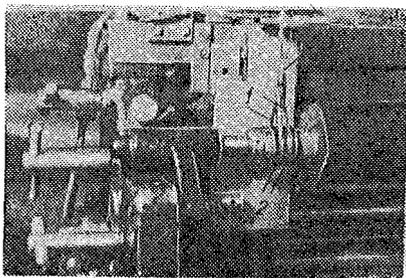


Рис. 2.

Общий вид токосъемного устройства.

Термосопротивление  $R_{\text{тр}}$  подключалось к мостовой схеме через токосъемное устройство (рис. 2 и 3), состоящее из двух изолированных друг от друга бронзовых колец 2 и подпружиненных токосъемных ленточек 1.

Использование в схеме термосопротивления ММТ-1 предъявляет жесткие требования к обеспечению компенсации колебаний температуры внешней среды. С этой целью в схеме применено компенсационное сопротивление  $R_{\text{тк}}$ , включенное в смежное с  $R_{\text{тр}}$  (рабочее термосопротивление) плечо моста. Таким образом, изменение внешней температуры (температуры комнаты)

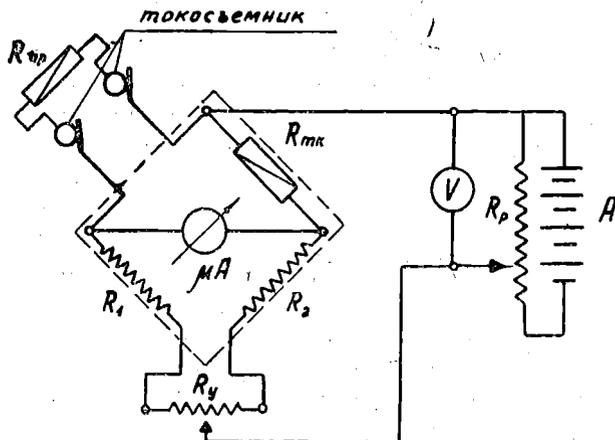


Рис. 3.

Включение термосопротивления в измерительную схему.

вызывает одинаковые изменения сопротивлений смежных плеч моста ( $R_{\text{тк}} = R_{\text{тр}}$ ), что не приводит к его разбалансу. Кроме того, для обеспечения идентичности условий влияния колебаний температуры часть схемы, очерченная на рис. 3 пунктиром, смонтирована на отдельной панели и заключена в такую же среду как и рабочее сопротивление.

Питание схемы осуществлялось от щелочного кадмиево-никелевого аккумулятора типа 2НКН-24, имеющего на выходе напряжение  $U = 2,5V$ . Контроль напряжения в схеме производился вольтметром, а сила тока регистрировалась микроамперметром типа М-24 со шкалой от 0—100  $\mu A$ .

Для тарировки схемы рабочий датчик  $R_{\text{тр}}$  помещался в резиновый мешочек (рис. 4) и опускался в сосуд с водой. Сосуд нагревался на электроплитке, а изменение температуры воды контролировалось при помощи спиртового термометра с ценой деления  $0,5^{\circ}C$ .

Полученные в процессе тарировки значения показаний микроамперметра, выражающие характер изменения сопротивления  $R_{\text{тр}}$  под влиянием температуры, послужили данными для построения тарировочного графика. График тарировки представлен на

рис. 5. Из него следует, что в условиях нашего опыта между температурой и сопротивлением сохранялась линейная зависимость. Тарировка и опыты проводились при одном и том же напряжении. Постоянство напряжения обеспечивалось с помощью изменения сопротивления  $R_p$ . Контроль величины напряжения осуществлялся с помощью вольтметра.

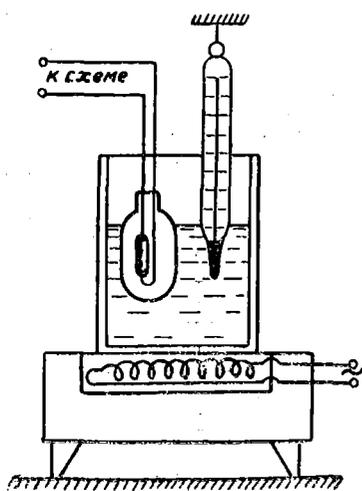


Рис. 4.  
Схема тарировки термосопротивления.

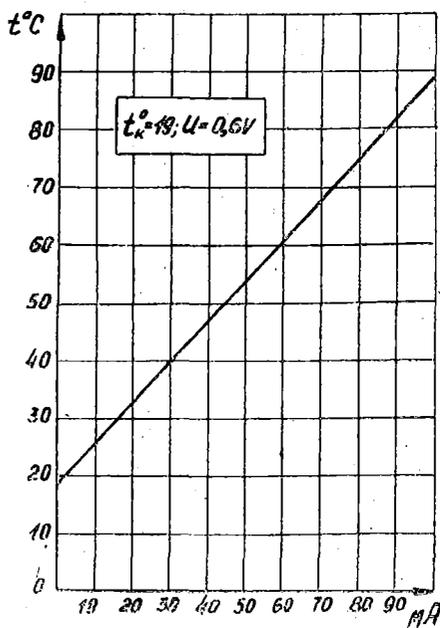


Рис. 5.  
Тарировочный график.

### Проверка работоспособности измерительной схемы

В процессе проведения первых пробных опытов оказалось, что кольца токосъемного устройства в течение 4—6 часов непрерывной работы нагреваются до 50—60 $^{\circ}\text{C}$ . В этой связи возникла необходимость проверки влияния нагрева колец на точность измерения температуры валика. С этой целью было проведено два опыта.

Первый из них состоял в следующем.

Вместо рабочего сопротивления  $R_p$  в соответствующее плечо моста было включено проволочное сопротивление из манганина  $R=1,8$  килоома, имеющее низкий температурный коэффициент. Давление между цилиндром и валиком было выключено, а вра-

щательное движение последнему сообщалось с помощью ремня, как показано на рис. 6. Кроме того, проволочное сопротивление было тщательно изолировано от поверхности эластичного валика.

Натяжение ленточек токосъемного устройства сохранялось прежним. Благодаря созданию таких условий нагрев колец происходил в той же степени, что и при проведении первых опытов.

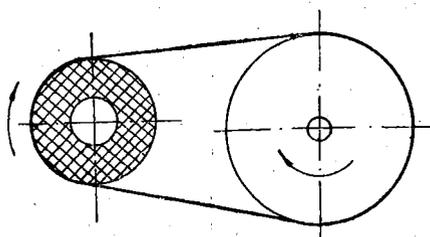


Рис. 6.

Привод эластичного валика с помощью ремня.

Влияние нагрева токосъемника на изменение сопротивления  $R$  сводилось к ничтожно малой величине и на показания микроамперметра могло сказываться только лишь изменение сопротивления контактной пары кольцо-ленточка. Как показал опыт, в течение длительного времени показания контрольного прибора практически не изменились (таблица 1).

Таблица 1.

Время в минутах	0	30	60	90	120	150	180	210	240
Температура комнаты в °С	23,0	24,5	25,0	25,2	25,5	24,5	24,2	24,0	24,7
Показания прибора в $\mu A$	6	5,5	4,7	4,25	3,75	4,25	4,65	5,0	5,2
Показания прибора в °С	23,00	22,80	22,30	22,05	21,70	22,05	22,30	22,50	22,60

Колебания показаний прибора в пределах  $1,3^{\circ}C$  можно объяснить влиянием температуры окружающего воздуха на компенсационное сопротивление  $R_{тк}$ .

Второй опыт был осуществлен иначе. После того, как кольца токосъемника вследствие трения о них ленточек нагрелись до  $50^{\circ}C$ , они были быстро охлаждены до комнатной температуры. Такое охлаждение не привело к изменению показаний микроамперметра.

Таким образом, второй опыт подтвердил результаты первого и дал возможность окончательно убедиться в том, что нагрев колец токосъемного устройства на точность измерения температурных характеристик эластичного валика влияния не оказывает.



результате трения в подшипниках становится равным количеству тепла, отданного в окружающую среду.

Из данных графика (рис. 7) и данных последующих опытов видно, что величина условных периодов нагрева валика может быть разной в зависимости от условий опыта (давление, скорость и т. д.).

При включенном давлении происходит более интенсивный нагрев эластичной оболочки валика (рис. 7), что, очевидно, вызвано внутренним трением в материале резинового валика при его качении и относительным проскальзыванием.

При этом разогрев валика может быть условно разделен, в отличие от первого случая, лишь на два периода. Первый, характеризующийся интенсивным изменением температуры от 0 до 240 мин., и второй стабилизированный период, — от 240 мин. и далее. В дальнейшем будет показано, что длительность этих периодов также зависит от условий проведения опыта.

На примере вальцмассного валика (средняя вальцмасса) диаметром 82 мм (рис. 8) показано влияние краски на разогрев

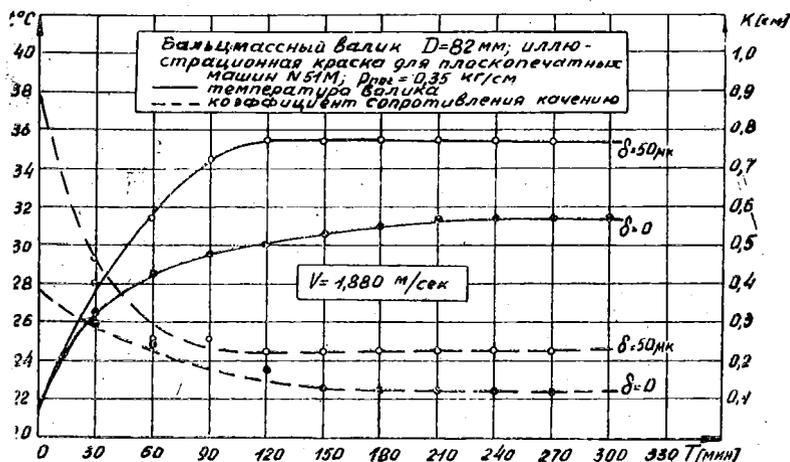


Рис. 8.

Влияние краски на нагрев и величину сопротивления качению вальцмассного эластичного валика.

эластичной оболочки. При отсутствии краски температура валика со временем возросла на  $10^{\circ}\text{C}$ , а при наличии слоя краски толщиной 50 мкм при прочих равных условиях на  $14^{\circ}\text{C}$ . При этом период, характеризующийся постоянством температуры валика наступил значительно раньше (через 120 мин.), нежели в случае отсутствия краски.

Таким образом, предположения, выдвинутые в самом начале, оказались справедливыми. В количественном отношении наибольшее влияние на разогрев валика оказывает трение в подшипни-

ках валика. В нашем случае последние выполнены в виде подшипников скольжения. В этой связи можно ожидать, что в случае применения подшипников качения нагрев эластичных валиков может быть уменьшен.

Влияние внутреннего трения в материале эластичного валика и в слое краски менее интенсивно, что не дает, однако, права распространять это положение на все случаи работы красочных аппаратов. В других условиях опыта (давление, скорость, сорт, толщина слоя краски и др.) соотношение оказывается иным. Об этом свидетельствуют, например, данные работы [5], а также результаты ряда опытов, проведенных нами.

### Зависимость температуры валика от давления и скорости

В процессе проведения опытов было установлено, что увеличение скорости работы красочного аппарата, а также давления в контактной зоне всегда сопровождается более интенсивным ростом температуры эластичного валика. Это объясняется увеличением частоты многократного деформирования эластичной оболочки, а также увеличением работы трения как в зоне контакта валика, так и в его подшипниках. Для подтверждения сказанного можно сослаться на уже известные графики, представленные на рис. 7. Из них следует, что рост скорости сопровождается увеличением нагрева эластичного валика. Кроме того, на рис. 9 приведены данные, свидетельствующие о том, что

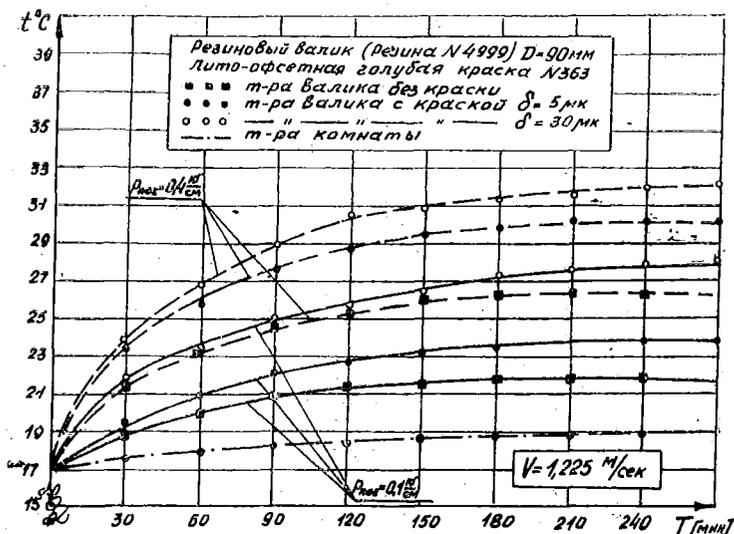


Рис. 9.

Зависимость нагрева эластичного валика из резины № 4999 от величины погонной нагрузки при раскате лито-офсетной голубой краски № 363.

увеличение давления в контактной зоне, при прочих равных условиях, также сопровождается повышением температуры валика.

Подобная закономерность подтверждается данными, полученными в тех же условиях, но для другой краски. На рис. 10 рас-

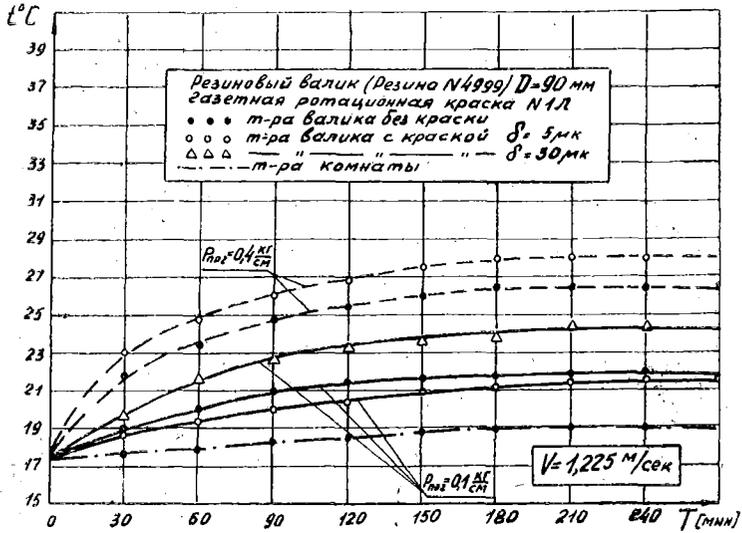


Рис. 10.

Зависимость нагрева эластичного валика из резины № 4999 от величины погонной нагрузки при раскате газетной ротационной краски № 1-Л.

смаиваются зависимости  $t=f(T, p_{пог})$ . В данном случае в отличие от результатов, приведенных на рис. 9, температура валика при наличии на контактирующих поверхностях слоя газетной ротационной краски № 1Л, толщиной 5 микронов, оказалась ниже, нежели при отсутствии краски. О том, что отмеченное явление не является случайностью, говорят данные опыта, представленные на рис. 11, характеризующие зависимость  $t=f(T)$  для вальцованного валика.

Повседневный опыт, а также целый ряд исследований, например [11], свидетельствуют о том, что вальцованной свойственна так называемая липкость поверхности. Рассматривая в этой связи качение валика без краски и влияние на его нагрев фактора внутреннего трения, не трудно представить, что в данном случае нагреву валика способствует работа, затрачиваемая на преодоление прилипания контактирующих поверхностей, вызывающего дополнительные деформации эластичной оболочки валика.

При качении эластичного валика в случае наличия тонкого слоя маловязкой краски работа внутреннего трения, очевидно,

уменьшается за счет полной ликвидации сопротивления прилипания, а силы адгезии в этом слое оказываются несколько меньшими, нежели силы прилипания поверхностей, не смоченных краской. Это и является, по всей видимости, причиной некоторого понижения нагрева валика. Точно такие же рассуждения можно отнести и к случаю, представленному на рис. 10. Но здесь дополнительные деформации эластичной оболочки валика происходят

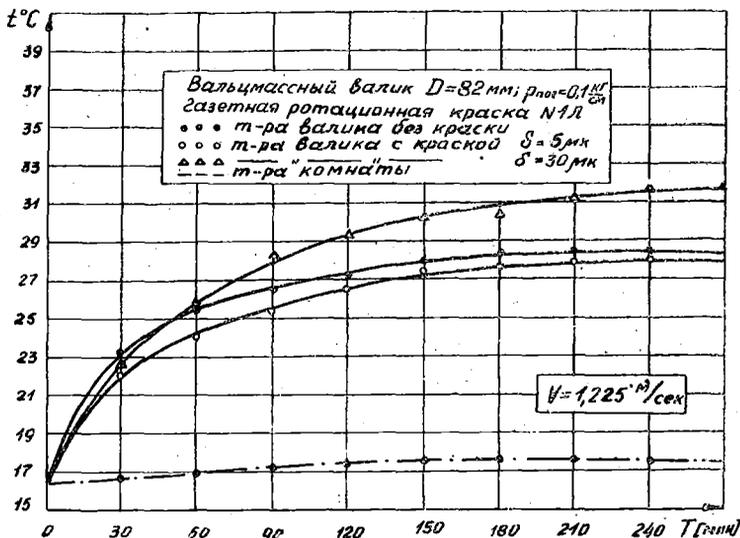


Рис. 11.

Влияние толщины слоя краски на нагрев вальцмассного валика.

не в результате проявления сил прилипания, а вследствие механического сцепления поверхностей благодаря наличию на них микронеровностей.

Тем не менее при дальнейшем увеличении толщины слоя краски, даже такой, как газетная ротационная № 1Л, температура валика, при прочих равных условиях (скорость, давление, материал валика), возрастает. Интересно, что при раскате более вязкой краски (рис. 9), даже при тонких слоях, температура валика увеличивается, т. к. в этом случае силы внутреннего трения в слое превышают силы, возникающие при преодолении сцепления поверхностей при отсутствии краски.

### Зависимость температуры валика от вязкости краски и жесткости материала эластичной оболочки

Сопоставляя опытные данные, представленные на графиках (рис. 9 и 10), заметим, что с увеличением вязкости краски, при прочих равных условиях, температура валика повышается. Так,

при качении резинового валика и раскате лито-офсетной голубой краски № 363 в течение четырех с половиной часов температура валика увеличивается на 15°C, а при раскате газетной ротационной краски № 1Л за то же время — на 11°C.

В процессе исследования температурных режимов эластичных валиков были испытаны валики, изготовленные из различных материалов. Механические характеристики этих материалов \* приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Наименование материала	Условный модуль упругости в $E'$ в $\text{кг}^{\text{см}} \text{см}^2$	Модуль упругости $E$ в $\text{кг} \text{см}^2$	$m$	Твердость по прибору ТМ-2
Средняя вальцмасса	4,11	11,20	0,585	—
Полиэфиуретан **	4,77	7,35	0,784	22
Резина № 4974-7	9,55	46,28	0,590	30
Резина № 4999	18,00	102,20	0,625	50

Оказалось, что с увеличением жесткости материала оболочки, степень разогрева валика, при прочих равных условиях, понижается. В этом также легко убедиться проанализировав результаты опыта, представленные на графиках (рис. 10 и 11). Резиновый валик (резина № 4999) при погонной нагрузке  $p_{\text{пог}} = 0,1 \text{ кг/см}$  нагрелся на 7°C, а вальцмассный при тех же условиях на 15°C.

О влиянии жесткости материала эластичного валика на его нагрев можно судить также по данным графика, приведенного на рис. 12.

Как известно [1, 6], высокополимерным материалам характерен определенный период приработки, сопровождающийся стабилизацией механических свойств вследствие уплотнения молекулярной сетки. Этому периоду свойственны и различные температурные режимы. Так, например, при качении неприработанного резинового валика (резина № 4974-7) его температура возросла на 10°C, а после приработки — только на 7,5°C. Влияние времени приработки на температурный режим более заметно для случая качения полиэфируретанового валика (рис. 12). Начальный этап приработки характеризуется резким ростом температуры, которая за 5 часов работы возрастает до 47°C. При последующей приработке температура валика в тех же условиях не превышает 42,3°C. Перерыв на 15 минут после трех-

\* Механические характеристики определены по методике, предложенной в работе [12].

\*\* Образцы для исследований были любезно изготовлены А. Ф. Гаевским и В. М. Шиманским в химической лаборатории УНИИПП.

часовой работы валика сопровождается падением его температуры примерно на  $6^{\circ}\text{C}$ . После возобновления работы температура вновь возросла. В этой связи на примере резинового валика (рис. 12) была исследована закономерность охлаждения валика после прекращения работы.

В течение первых двух часов происходит заметное охлаждение валика. В последующем интенсивность охлаждения резко

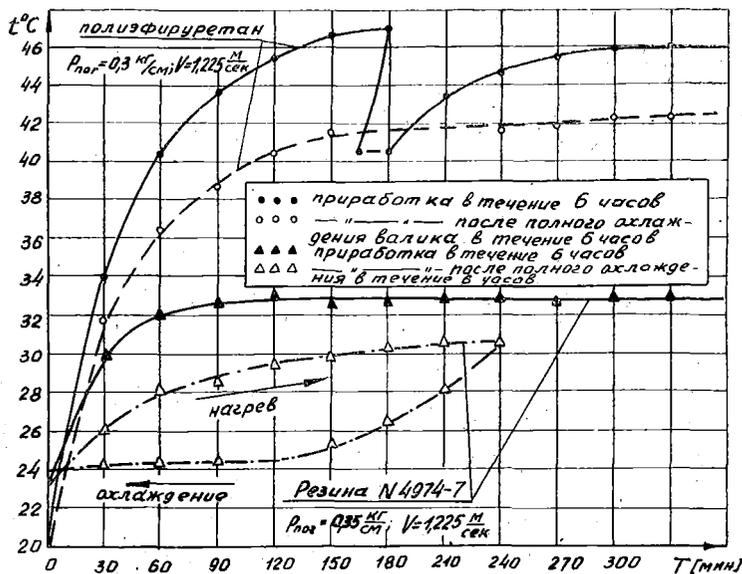


Рис. 12.

Влияние процесса приработки эластичной оболочки на нагрев полиэфируретанового и резинового валиков.

уменьшается. Оказалось, что разогрев резинового валика до достижения стабилизированной температуры длился 210 минут, в то время как для его полного охлаждения потребовалось примерно 270 минут.

### Влияние нагрева на величину сопротивления качению и на стойкость валика

Нагреваясь, материал эластичной оболочки валика размягчается, что приводит к изменению его механических характеристик. Измерение нормального давления\* в течение четырехчасовой работы валика показало (рис. 13), что нагрев валика сопровождается постепенным понижением давления в зоне кон-

\* Давление измерялось с помощью специальных месдоз, снабженных проволочными датчиками.

такта. Так, если вначале нормальное давление для резинового валика при скорости качения 0,785 м/сек было 17 кг, то к концу работы оно, понизившись, стабилизировалось и оказалось равным 11,2 кг. Уменьшение давления, таким образом, составило примерно 34%. В то же время коэффициент сопротивления качению уменьшился с 0,220 до 0,105. Уменьшение соответственно составило 53%.

В другом случае при скорости качения 2,5 м/сек нормальное давление снизилось до 7,0 кг, тогда как перед началом работы оно равнялось 10,4 кг. Коэффициент сопротивления качению

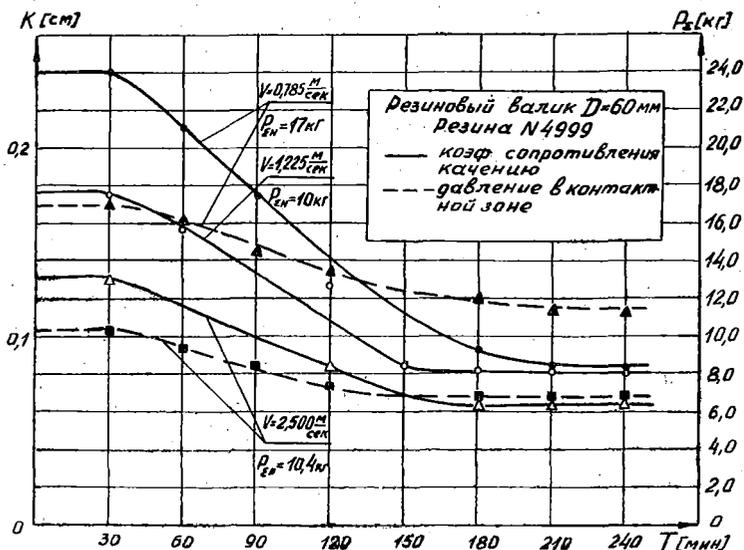


Рис. 13.

Изменение сопротивления качению и давления между валиками во времени.

соответственно уменьшился с 0,130 до 0,065. Таким образом, давление понизилось на 33%, а коэффициент сопротивления качению на 50%.

Процесс понижения давления и сопротивления качению можно условно разделить на три периода. Первый период (от 0 до 30 мин.) характеризуется постоянством давления и сопротивления качению. Во втором периоде (от 30 до 180—210 мин.) происходит плавное уменьшение этих величин. Для третьего периода характерно постоянство давления и сопротивления качению, что объясняется стабилизацией теплового процесса. Последнее иллюстрируется рисунком 8, где рассматриваются зависимости  $t=f(T)$  и  $k=f(T)$  при качении вальцмассного

валика. После того, как установилась температура валика, давление и сопротивление качению остаются постоянными.

Однако в этом случае уменьшение давления и сопротивления качению происходит с самого начала работы, т. е. отсутствует первый период, характерный для более жесткого материала (резина № 4999), что объясняется, очевидно, повышенным здесь внутренним трением, а поэтому более интенсивным выделением тепла.

Развитие и совершенствование печатных машин характеризуется дальнейшим повышением скоростей печатания, что предъявляет более жесткие требования к термостойкости эластичных валиков красочных аппаратов. Вальцмасса, обладая высокими печатно-техническими свойствами, имеет низкую термостойкость и не может поэтому использоваться на быстроходных печатных машинах. Поэтому наряду с вальцмассой для валиков в настоящее время используется много других материалов, которые, имея большую термостойкость, не обладают достаточно высокими печатно-техническими свойствами. Вопросам создания материалов, сочетающих высокую термо- и износостойкость, а также удовлетворительные печатно-технические свойства, уделено большое внимание у нас и за рубежом.

В последние годы в УНИИПП'е получен новый материал для эластичных валиков, являющийся представителем синтетических масс на основе полиэфирных соединений, — полиэфируретан. Исследования, проведенные в УНИИПП'е [14], свидетельствуют о том, что коэффициенты восприятия и отдачи краски для полиэфируретановых и желатино-глицериновых валиков практически одинаковы. Следовательно, печатно-технические свойства полиэфируретана весьма близки к свойствам вальцмассных валиков. Вместе с тем, полиэфируретановые валики обладают высокой термостойкостью, что дает возможность успешно использовать их на быстроходных машинах.

На рис. 12 представлен график зависимости  $t=f(T)$  для полиэфируретанового валика диаметром 60 мм при погонной нагрузке 0,3 кг/см и скорости 1,225 м/сек. Температура валика после трех часов работы достигла 47°C, но разрушения валика не произошло.

В то же время при погонной нагрузке в три раза меньшей и раскате лито-офсетной голубой краски № 363 на той же скорости поверхность вальцмассного валика по истечении трех часов работы (рис. 14) была разрушена.

При этом была зафиксирована температура 38,5°C. Наступило так называемое лавинное разрушение массы. По данным С. А. Кизбер [7] валик из средней вальцмассы может успешно эксплуатироваться при нагрузке 0,3 кг/см<sup>2</sup> и температуре 20—30°C. В остальных случаях наступает лавинное разрушение. В нашем случае при температуре 30—35°C разрушение не наступило, так как нагрузка составляла около 0,1 кг/см<sup>2</sup>.

В процессе измерения температуры вальцмассного валика \* было обнаружено интересное явление. Оказывается, что нагрев валика происходит неравномерно. На среднем участке валика его температура оказывается выше, нежели на концах. Объясняется это, очевидно, тем, что теплоотдача через торцы валика

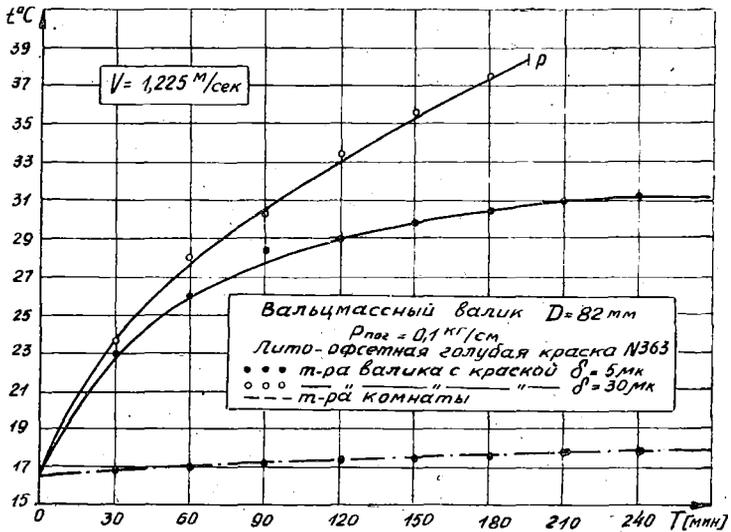


Рис. 14.

Нагрев эластичного вальцмассного валика при раскате лито-офсетной голубой краски № 363.

происходит интенсивнее нежели от рабочей поверхности, покрытой краской.

Нагрев валиков сопровождается не только размягчением материала эластичной оболочки, но и изменением ее размеров вследствие теплового расширения.

В зависимости от условий работы валиков изменение размеров происходит в различной степени [2, 5]. Так, например, диаметр вальцмассного валика ( $d=82\text{ мм}$ ) после 4,5 часов работы со скоростью  $1,880\text{ м/сек}$  при погонной нагрузке  $0,35\text{ кг/см}$  возрос на  $0,5\text{ мм}$ , а резиновый валик ( $d=89,55\text{ мм}$ ) при скорости  $1,225\text{ м/сек}$  и погонной нагрузке  $0,2\text{ кг/см}$  за то же время увеличился в диаметре на  $0,25\text{ мм}$ . Не трудно представить, что с увеличением скорости работы, а также погонной нагрузки размеры валиков будут изменяться больше.

\* \* \*

\* Для резиновых валиков это явление менее заметно.

Накопленные экспериментальные данные дают возможность сделать обобщения. На основании первого начала термодинамики [3] для равномерно вращающегося валика справедливо уравнение

$$AL = Q - dU, \quad (1)$$

где  $Q$  (ккал) — внешняя теплота процесса (отдача тепла в окружающую среду);

$dU$  (ккал) — изменение внутренней энергии валика;

$L$  (кГм) — произведенная, т. е. затраченная механическая работа;

$A = \frac{1}{427} \frac{(\text{ккал})}{\text{кГм}}$  — термический эквивалент единицы механической работы.

Механическая работа, переходящая в тепло при равномерном вращении эластичного валика за один оборот:

$$L_1 = \pi P d_v, \quad [\text{кГм}], \quad (2)$$

где  $P$  — окружное усилие в кГ (рис. 15);

$d_v$  — диаметр валика в м.

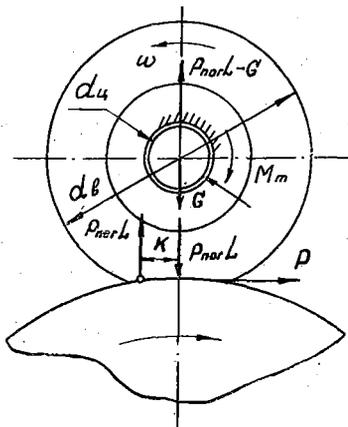


Рис. 15.

Схема контакта эластичного валика и жесткого цилиндра.

За  $n$  оборотов в минуту и за  $M$  минут до стабилизации температуры валика накапливается работа:

$$L = L_1 M n, \quad (2a)$$

где  $M$  — время вращения до стабилизации температуры валика в минутах;

$n$  — число оборотов валика в минуту.

Окружное усилие приложенное к валуку:

$$P = \frac{2 \left[ p_{\text{пог}} l k + (p_{\text{пог}} l - G) f \frac{d_{\text{ц}}}{2} \right]}{d_{\text{в}}} =$$

$$= \frac{p_{\text{пог}} l \left[ 2k + \left( 1 - \frac{G}{p_{\text{пог}} l} \right) f d_{\text{ц}} \right]}{d_{\text{в}}} \quad [\text{кг}], \quad (3)$$

где  $p_{\text{пог}}$  — погонная нагрузка в  $\text{кг/см}$ ;  
 $l$  — рабочая длина валика в  $\text{см}$ ;  
 $k$  — комплексный коэффициент сопротивления качению валика в  $\text{см}$ ;  
 $G$  — вес валика в  $\text{кг}$ ;  
 $f$  — коэффициент трения первого рода;  
 $d_{\text{ц}}$  — диаметр цапфы стержня валика в  $\text{см}$ ;  
 $d_{\text{в}}$  — диаметр валика в  $\text{см}$ .

Обозначив  $f_{\text{пр}} = \frac{\left[ 2k + \left( 1 - \frac{G}{p_{\text{пог}} l} \right) f d_{\text{ц}} \right]}{d_{\text{в}}}$ , перепишем уравнение (3)

$$P = p_{\text{пог}} l f_{\text{пр}}. \quad (3a)$$

После подстановки значения окружного усилия в формулу (2a), получим:

$$L_{\text{м}} = \pi M n d_{\text{в}} p_{\text{пог}} l \frac{f_{\text{пр}}}{100} = 0,01 \pi M d_{\text{в}} n p_{\text{пог}} l f_{\text{пр}} \quad [\text{кгм}]. \quad (4)$$

Т. к. при установившемся тепловом процессе изменения внутренней энергии эластичного валика не происходит [3], уравнение (1) приобретает вид

$$A L_{\text{м}} = Q \quad [\text{к кал}]. \quad (5)$$

Для дальнейшего анализа теплового процесса валика при установившемся режиме составим для эластичного валика уравнение теплопередачи. В нашем случае температура окружающей среды (воздух, замки и стенки аппарата) всегда ниже температуры эластичного валика. Благодаря этому между валиком и окружающей средой постоянно происходит процесс теплообмена.

Тепловой поток, возникающий вследствие разности температур, является результатом протекания одновременно трех видов теплопередачи: теплопроводности, теплового излучения

и конвекции. Разбив условно валик на три участка (рис. 16), увидим, что на первом участке тепло отводится через подшипники, на втором участке тепло отводится от поверхностей шеек стержня в окружающую среду путем лучеиспускания и конвекции и, наконец, на третьем участке теплообмен происходит по

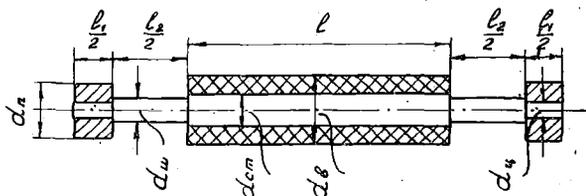


Рис. 16.

Условные участки эластичного валика.

всей рабочей поверхности валика, включая и его торцы. Таким образом, суммарное количество тепла, отводимое в окружающую среду

$$Q_{\Sigma} = Q_I + Q_{II} + Q_{III} \quad [\text{к кал}], \quad (6)$$

где  $Q_I$ ,  $Q_{II}$  и  $Q_{III}$  — тепло отводимое в окружающую среду на отдельных участках валика.

Минуса громоздкий вывод, на основании известной методики [9] запишем для отдельных участков эластичного валика уравнения теплопередачи.

Первый участок (подшипники валика).

$$Q_I = \frac{2\pi}{\frac{1}{\lambda} 2,3lg \frac{r_n}{r_{II}} + \frac{1}{\alpha_1 r_n}} l_1 T (t_{ст} - t_{в}).$$

Обозначив

$$k_{R_1} = \frac{2\pi}{\frac{1}{\lambda} 2,3lg \frac{r_n}{r_{II}} + \frac{1}{\alpha_1 r_n}},$$

получим 
$$Q_I = k_{R_1} l_1 T (t_{ст} - t_{в}), \quad (7)$$

где  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности стенки подшипника  
 $\frac{\text{к кал}}{\text{м час } ^\circ\text{C}}$ ;

$\alpha_1$  — коэффициент теплоотдачи поверхности подшипников  
за счет конвекции и теплового излучения в  $\frac{\text{к кал}}{\text{м}^2 \text{ час } ^\circ\text{C}}$ ;

- $t_{ст}$  — температура стержня в °C;  
 $t_{в}$  — температура окружающего воздуха в °C;  
 $r_{п}$  — радиус подшипника в м;  
 $r_{ц}$  — радиус цапфы стержня в м;  
 $l_1$  — длина цапфы стержня (в нашем случае  $l_1$  равно длине подшипника) в м;  
 $T$  — время работы валика от начала до стабилизации температуры валика в часах;  
 $k_{в1}$  — коэффициент теплопередачи, показывающий какое количество тепла передается в окружающую среду за час от цилиндрической стенки длиной в 1 м при разности температур в 1°С.

Второй участок (шейки стержня валика).

$$Q_{II} = \frac{2\pi}{1} l_2 T (t_{ст} - t_{в})$$

$$a_2 r_{ш}$$

или

$$Q_{II} = k_{в2} l_2 T (t_{ст} - t_{в}) \quad [к кал], \quad (8)$$

где  $a_2$  — коэффициент теплоотдачи поверхности шеек стержня

$$\text{валика в } \frac{к кал}{м^2 час °C};$$

$k_{в2}$  — коэффициент теплопередачи в  $\frac{к кал}{м час °C}$ ;

$l_2$  — длина шеек стержня валика в м;

$r_{ш}$  — радиус шейки стержня валика в м.

Третий участок (часть стержня с эластичной оболочкой).

$$Q_{III} = \frac{2\pi}{\frac{1}{\lambda_1} 2,3lg \frac{r_{в}}{r_{ст}} + \frac{1}{a_3 r_{в}}} l T (t_{ст} - t_{в})$$

или

$$Q_{III} = k_{в3} l T (t_{ст} - t_{в}) \quad [к кал], \quad (9)$$

где  $\lambda_1$  — коэффициент теплопроводности эластичной оболочки

$$\text{валика в } \frac{к кал}{м час °C};$$

$r_{в}$  — радиус валика в м;

$a_3$  — коэффициент теплоотдачи поверхности эластичной

$$\text{оболочки в } \frac{к кал}{м^2 час °C};$$

$l$  — рабочая длина валика в м.

Для удобства величины  $l_1$  и  $l_2$  выразим через  $l$ .

$$l_1 \approx (0,04-0,1)l \approx \gamma_1 l;$$

$$l_2 \approx (0,2-0,5)l \approx \gamma_2 l.$$

При установившемся тепловом процессе разность температур стержня и эластичной оболочки — незначительна, поэтому в дальнейшем примем, что

$$t_{ст} \approx t_{об},$$

где

$t_{ст}$  и  $t_{об}$  — соответственно температура стержня и эластичной оболочки в °С.

Подставляя значения  $Q_I$ ,  $Q_{II}$  и  $Q_{III}$  в уравнение (6) с учетом вышеизложенного, получим

$$Q_{\Sigma} = k_{r_1} \gamma_1 l T (t_{об} - t_B) + k_{r_2} \gamma_2 l T (t_{об} - t_B) +$$

$$k_{r_3} l T (t_{об} - t_B) = (\gamma_1 k_{r_1} + \gamma_2 k_{r_2} + k_{r_3}) l T (t_{об} - t_B).$$

Обозначив  $k_{r_{\Sigma}} = \gamma_1 k_{r_1} + \gamma_2 k_{r_2} + k_{r_3}$ , запишем

$$Q_{\Sigma} = k_{r_{\Sigma}} l T (t_{об} - t_B) \quad [к кал]. \quad (10)$$

Комплексный коэффициент теплопередачи  $k_{r_{\Sigma}}$  имеет сложное выражение

$$k_{r_{\Sigma}} = 2\pi \left( \gamma_1 \frac{1}{\frac{1}{\lambda} 2,3lg \frac{r_{II}}{r_{I}} + \frac{1}{\alpha_1 r_{II}}} + \gamma_2 \alpha_2 r_{III} + \frac{1}{\frac{1}{\lambda_1} 2,3lg \frac{r_B}{r_{ст}} + \frac{1}{\alpha_3 r_B}} \right).$$

Теоретически определить  $k_{r_{\Sigma}}$  не представляется возможным, т. к. коэффициенты  $\lambda$  и  $\alpha$ , определяющие его величину, зависят от многих факторов и на практике могут быть найдены только опытным путем [9].

Как вытекает из предыдущего, для установившегося теплового процесса справедливо равенство

$$A \dot{L}_M = Q_{\Sigma}$$

или

$$0,01 A \pi M n d_B \rho_{пор} l f_{пр} = k_{r_{\Sigma}} l T (t_{об} - t_B) \quad (11)$$

откуда

$$k_{r_{\Sigma}} = \frac{0,01 A \pi M n d_B \rho_{пор} f_{пр}}{T(t_{об} - t_B)} \quad \left[ \frac{к кал}{м час °С} \right] \quad (11a)$$

Воспользовавшись уравнением (11а), а также результатами опытов, найдем значения  $k_{\text{РЭ}}$  для эластичных валиков из резин № 4999, № 4974-7 и средней вальцмассы при раскате вязкой лито-офсетной краски № 363. Значения  $k_{\text{РЭ}}$  представлены в таблице 3.

Таблица 3.

$\delta, \rho_{\text{пог}}$	Лито-офсетная голубая краска № 363					
	$\delta=5 \text{ мк}$			$\delta=30 \text{ мк}$		
	0,1 кг/см	0,4 кг/см	0,1—0,4 кг/см	0,1 кг/см	0,4 кг/см	0,1—0,4 кг/см
Материал эластичной оболочки валика						
Резина № 4999	2,33	2,10	2,22 *	2,26	2,20	2,23 *
Резина № 4974-7	3,26	2,88	3,07 *	3,39	3,29	3,34 *
Средняя вальц-масса . . . . .	3,92	3,95	3,93 *	3,80	4,20	4,00 *

Из таблицы 3 видно, что изменение погонной нагрузки в пределах 0,1—0,4 кг/см и толщины слоя краски от 5 до 30 мк на величину  $k_{\text{РЭ}}$  влияет незначительно. Поэтому при определении температуры эластичной оболочки валика при установленном тепловом процессе можно пользоваться средними значениями.

Из равенства (11), после соответствующих преобразований, получаем формулу для определения температуры эластичной оболочки валика при установившемся тепловом процессе

$$t_{\text{об}} \approx \frac{8,43}{k_{\text{РЭ}}} \rho_{\text{пог}} v f_{\text{пр}} + t_{\text{в}} \quad [^{\circ}\text{C}], \quad (12)$$

где  $t_{\text{об}}$  — температура эластичной оболочки валика при установившемся тепловом процессе в  $^{\circ}\text{C}$ ;

$k_{\text{РЭ}}$  — комплексный коэффициент теплопередачи в  $\frac{\text{к кал}}{\text{м час } ^{\circ}\text{C}}$ ;

$\rho_{\text{пог}}$  — погонная нагрузка в кг/см;

$v$  — окружная скорость валика в см/сек;

$f_{\text{пр}}$  — приведенный коэффициент трения.

В качестве примера (таблица 4) приведены результаты расчета  $t_{\text{об}}$  для эластичного валика из резины № 4999 при раскате лито-офсетной голубой краски № 363, толщине слоя  $\delta=30 \text{ мк}$ , температуре окружающего воздуха  $+20^{\circ}\text{C}$  и окружных скоростях  $v_1=100$ ;  $v_2=200$ ;  $v_3=300 \text{ см/сек}$ .

\* Средние значения  $k_{\text{РЭ}}$

Таблица 4.

Диаметр валика в см	$d_{в} = 6,0$	$d_{в} = 9,0$	$d_{в} = 12,0$	$d_{в} = 15,0$	$p_{пор}, V [см/сек]$
$p_{пор} = 0,1 \text{ кг/см}$	$V_1$	27,80	25,20	23,90	23,10
	$V_2$	35,60	30,40	27,80	26,20
	$V_3$	43,40	35,60	31,70	29,30
$p_{пор} = 0,2 \text{ кг/см}$	$V_1$	29,77	26,50	24,90	23,90
	$V_2$	39,60	33,00	29,80	27,80
	$V_3$	49,40	39,50	34,70	31,70
$p_{пор} = 0,3 \text{ кг/см}$	$V_1$	34,10	29,40	27,05	25,06
	$V_2$	48,20	38,80	34,10	31,20
	$V_3$	62,30	48,20	41,15	36,80
$p_{пор} = 0,4 \text{ кг/см}$	$V_1$	35,70	30,50	27,80	26,30
	$V_2$	51,40	41,00	35,60	32,60
	$V_3$	67,00	51,50	43,40	38,90

Из формулы (12) и таблицы 4 видно, что температура валика увеличивается с ростом скорости и давления. Увеличение же диаметра эластичного валика, при прочих равных условиях, приводит к понижению его температуры. Отмеченные закономерности хорошо согласуются с данными практики. В красочном аппарате ротационного газетного агрегата, характеризующегося высокими скоростями работы (6—8 м/сек), стремятся к использованию эластичных раскатных и накатных валиков большего диаметра чем в тихоходных машинах. Диаметры растирочных цилиндров в большинстве случаев превышают диаметры формных цилиндров [10]. Все это направлено к тому, чтобы увеличить поверхность теплоотдачи и тем самым уменьшить разогрев валиков в процессе работы красочных аппаратов.

Как известно, нагрев валиков красочного аппарата приводит к неприятным последствиям. Краска, подаваемая в раскатную систему, имеет температуру порядка 20—25°C. Распределяясь в результате раската тонкими слоями на поверхностях валиков, краска быстро приобретает температуру валика. Вязкость краски сильно зависит от температуры [4]. Повышение температуры от 20 до 80°C приводит к падению вязкости предельно разрушенной структуры более чем в шесть раз. Причем резкое падение вязкости почти в пять раз происходит при повышении температуры от 20 до 50°C. Таким образом, нагрев тонких слоев от эластичных валиков приводит к разжижению краски, что нарушает нормальное течение процесса печатания и требует дополнительной регулировки красочного аппарата.

При проектировании красочных аппаратов, наряду с соблюдением известных условий, необходимо учитывать и фактор, обеспечивающий минимальный нагрев эластичных валиков, что может быть достигнуто лишь после накопления достаточного количества опытных данных.

Опытные данные, рассмотренные в настоящей работе, позволяют в первом приближении определить расчетным путем возможную максимальную температуру валика при установившемся тепловом режиме (период стабилизации температуры) при раскате вязких красок эластичными валиками из резины № 4999, № 4974-7, средней вальцмассы или материалов близких к ним по своим физико-механическим свойствам. Для того, чтобы привести такие расчеты, необходимо воспользоваться формулой (12), а также данными таблиц 3 и 5. В таблице 5 приведены значения комплексного коэффициента сопротивления качению  $k$  для эластичных валиков из резины № 4999, № 4974-7 и средней вальцмассы при раскате вязкой лито-офсетной голубой краски № 363, полученные опытным путем.\*

Таблица 5.

$\frac{P_{\text{пог}}}{[кг см]}$	Резина № 4999				Резина № 4974-7				Средняя вальцмасса			
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,1	0,2	0,3	0,4	0,1	0,2	0,3	0,4
5	0,423	0,310	0,335	0,209	0,582	0,324	0,260	0,200	0,935	0,515	0,510	0,460
10	0,515	0,320	0,326	0,258	0,840	0,342	0,310	0,291	1,050	0,816	0,520	0,490
30	0,615	0,390	0,371	0,310	0,970	0,363	0,344	0,303	1,060	0,903	0,510	0,500
50	0,930	0,543	0,410	0,375	1,050	0,510	0,425	0,342	1,112	0,910	0,545	0,510

### ВЫВОДЫ

1. Предложен и опробован метод измерения температуры эластичных валиков красочных аппаратов. Метод прост, не требует сложной аппаратуры и может быть использован при исследовании температурных режимов красочных аппаратов.

2. Проведенные опыты свидетельствуют о том, что эластичные валики в процессе работы нагреваются. Нагрев валиков

\* Сведения о методике определения коэффициента  $k$ , а также о явлениях, сопровождающих качение эластичного валика освещены в статье, подготовленной к печати.

сопровождается размягчением материала эластичной оболочки, которое со временем приводит к уменьшению давления в контактной зоне и вызывает увеличение размеров валиков.

3. Причинами, вызывающими нагрев валиков, являются: трение в подшипниках, внутреннее трение в материале эластичной оболочки, а также внутреннее трение в слое краски.

4. Установлено, что степень разогрева валиков зависит от целого ряда факторов: скорости работы, давления, толщины слоя и сорта краски, материала эластичной оболочки валика.

Увеличение скорости работы, давления и толщины слоя краски влечет за собой интенсификацию нагрева валиков. С увеличением вязкости используемой краски, при прочих равных условиях, эластичные валики нагреваются сильнее. Валики, изготовленные из более жестких материалов, нагреваются меньше, чем валики из менее жестких материалов (вальцмасса, полиэфируретан).

5. При анализе температурных кривых установлено, что для нагрева валиков характерно несколько периодов. Вначале температура валика растет, а затем, достигая определенной величины, стабилизируется. Последнее объясняется достижением устойчивого теплового баланса, когда все возникающее тепло отводится в окружающую среду.

6. В течение примерно часа после начала работы давление в контактной зоне и сопротивление качению резинового валика остаются неизменными.

Затем наступает постепенное их уменьшение и, наконец, после достижения определенного значения, зависящего от условий работы, наступает стабилизация. Характерно, что период стабилизации давления и сопротивления качению совпадает с периодом, соответствующим наступлению теплового баланса.

В этой связи уместно заметить, что при энергетическом расчете красочных аппаратов следует пользоваться коэффициентами сопротивления качению, характеризующими начальный период работы печатной машины.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Белозерский Л. К., Исследование общих закономерностей печатных аппаратов машин высокой, офсетной и глубокой печати, рукопись, НИИполиграфмаш, М., 1958.
2. Браун Д., Печатные валики, Сборник научно-технической информации УНИИПП, 6, 1959, перевод из журнала «Америкэн пресмэн», февраль, 1959.
3. Белоконь Н. И., Термодинамика, Государственное энергетическое издательство, М.—Л., 1954.
4. Гудкова Т. И., Козаровицкий Л. А., О связи между реологическими свойствами печатных красок и их поведение в печатном процессе, Научные труды МПИ, сборник одиннадцатый, М., 1949.
5. Деллер Д., Сравнительное исследование резиновых и полиуретановых валиков, Сборник научно-технической информации УНИИПП, 4, 1959, перевод из журнала «Бритиш Принтер», январь, 1959.

6. Зоткин С. Ф., Исследование печатных аппаратов офсетных машин, Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, М., 1960.
7. Кизбер С. А., Изучение свойств резин для красочных валиков машин высокой печати, Сборник научных работ ВНИИПП, № 10, 1959.
8. Кизбер С. А., Красочные валики для печатных машин, Информационные материалы ВНИИППиТ, выпуск XII, 1957.
9. Касаткин А. Г., Основные процессы и аппараты химической технологии, Государственное научно-техническое издательство химической литературы, М., 1955.
10. Куликов Б. В., Типографские печатные машины, «Искусство», М., 1957.
11. Нуркас М. М., О «липкости» поверхности слоя желатино-глицериновых валиков, ж. «Полиграфическое производство», № 12, 1937.
12. Толстой Г. Д., Опыт исследования валиковой массы, Научные записки УПИ им. И. Федорова, том XII, Издательство Львовского университета, 1958.
13. Тредлар Л., Физика упругости каучука, ИЛ, перевод с английского, М., 1953.
14. Шиманский В. М., Гаевский А. Ф., Полиэфируретановые валики для печатных машин, ж. «Полиграфическое производство», № 10, 1959.
15. Шефтель И. Т., Термосопротивления, Государственное издательство физико-математической литературы, М., 1958.