

07  
Министерство высшего и среднего специального  
образования СССР

Челябинский политехнический институт имени  
Ленинского комсомола

На правах рукописи

**БАХТИАРОВ Игорь Петрович**

**ИССЛЕДОВАНИЯ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПРОКЛАДОК  
ИЗ ФТОРОПЛАСТА-4 И ПОЛИЭТИЛЕНА ВП ПРИМЕНИТЕЛЬНО  
К УСТРОЙСТВАМ СКОЛЬЖЕНИЯ ДЛЯ НАДВИЖКИ КОНСТРУКЦИЙ**

Специальность 05.02.02 -  
"Машиноведение и детали машин"

**Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

Челябинск  
1977

Работа выполнена на кафедре "Детали машин и ПТМ" Челябинского политехнического института имени Ленинского комсомола и в Челябинском отделе СКБ Главмостостроя.

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент  
А.Ф. КАРМАДОНОВ.

Официальные оппоненты:

член-корреспондент АН Латвийской ССР,  
доктор технических наук, профессор  
Ю.С. УРКУМЦЕВ (г.Рига),

кандидат технических наук, доцент  
Ф.К. ЛЕБЕДЕВ (г.Курган).

Ведущее предприятие - Специальное конструкторское бюро Главмостостроя (г.Москва).

Автореферат разослан "\_\_\_" мая 1977 г.

Защита диссертации состоится "\_\_\_" июня 1977 г., в \_\_\_\_\_ часов, на заседании Специализированного совета К 053.13.02 по присуждению ученой степени кандидата технических наук Челябинского политехнического института имени Ленинского комсомола (г.Челябинск, проспект им.В.И.Ленина, 76, ауд. \_\_\_\_\_).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института. Просим Вас и сотрудников Вашего учреждения, интересующихся темой диссертации, принять участие в заседании Специализированного совета или прислать свои отзывы в двух экземплярах, заверенных печатью, по адресу: 454044, г.Челябинск, проспект им.В.И.Ленина, 76, Специализированный совет.

Ученый секретарь Специализированного совета  
кандидат технических наук, доцент



А.И. ВАРАНКИН



Актуальность темы. Одной из наиболее трудоемких и сложных операций при строительстве и ремонте является надвижка конструкций. Надвижка широко применяется в строительстве и ремонте мостов, металлургического, химического, энергетического оборудования и сооружений, при погрузочно-разгрузочных работах. При реконструкции отдельных районов городов используют передвижку зданий и сооружений.

Надвижку (передвижку) обычно производили с помощью катков или салазков. В последнее время для надвижки пролетных строений мостов стали применять прокладки из антифрикционных пластмасс, в основном фторопласта-4. При этом достигается существенная экономия материальных средств и трудозатрат за счет отказа от устройства верхних или нижних накаточных путей, упрощения устройств скольжения, обстройки опор, ликвидации трудоемкой операции по переноске катков, улучшения организации работ, повышения темпов строительства.

Фторопласт-4 применительно к устройствам скольжения для надвижки конструкций изучен недостаточно, дефицитен и имеет сравнительно высокую стоимость, в то же время не было нормативных материалов по паре трения фторопласт-полированный (шероховатость 10 класса) стальной лист, которая часто применяется для надвижки пролетных строений больших мостов, и по обоснованному использованию других распространенных недорогих антифрикционных пластмасс.

Исходя из рассмотренного, исследование антифрикционных прокладок из пластмасс применительно к устройствам скольжения для надвижки конструкций являются актуальными.

Цель работы. Теоретические и экспериментальные исследования антифрикционных свойств и определение допускаемого давления на прокладки из пластмасс, в основном фторопласта-4 и полиэтилена ВП, с целью выдачи рекомендации по их использованию в устройствах скольжения для надвижки конструкции.

Общая методика исследований. При исследовании антифрикционных свойств пластмасс частично были использованы методики, разработанные в работах С.Н.Пшеничникова, Ю.А.Евдокимова, А.А.Спирidonова, Н.Г.Васильева, Х.Шенка. Силы трения замерялись после выстойки под нагрузкой иногда в течение 1 суток и более, при опреде-

лении коэффициентов трения покоя нагрузка на контртело передавалась с некоторым ударом, так как в момент приложения нагрузки шток двигался с заданной скоростью. С целью приближения к реальным условиям некоторые испытания проводили на образцах из пластмасс размером до 200x200x10 мм, при нагрузке до 144 тс, в режимах соответствующих практическому использованию.

В основу решения задачи о допустимом давлении на прокладки из фторопласта-4 и полиэтилена ВП (высокой плотности) положена теория пластичного слоя между двумя шероховатыми плитами, разработанная в работах Л.М. Качанова, Е.П. Унксова, М.В. Сторожева, О.А. Бакши, Е.А. Попова и работы по прочности и деформативности полимеров: В.А. Ламакина, П.М. Огибалова, Ю.С. Уржумцева, Р.Д. Максимова, Г.А. Тетерса, С.Б. Аинбиндера, К.И. Аджне, Э.Л. Тонина, М.Г. Дака, Т. Алфрея, И.Я. Альшица, И.П. Землякова, Р.Г. Мирзоева, Э. Бэра, И. Уэрда, И. Хуго, И. Кабелка и др.

Силы трения замеряли автоматическим электронным прибором на основе потенциометра типа ЭПП-09, осциллографом КИ2-22, динамометрами. Сжимающую нагрузку в установке задавали образцовыми манометрами, а в приспособлении - с помощью гирь. Температуру определяли электронными потенциометрами типа ЭПП-09 и КСП-3П, шероховатость поверхности оценивали на профилографе-профилометре "Калибр" модели 201.

Научная новизна. Исследования влияния ряда факторов на работоспособность пластмасс применительно к устройствам скольжения для надвигки конструкций проводились впервые. У фторопласта-4 и полиэтилена ВП исследовано влияние на трение: давления, температуры, скорости, смазки, времени выстойки под нагрузкой, типа поверхности и количества поступательных проходов контртела, приработки.

На основе проведенных исследований в качестве заменителя фторопласта-4 рекомендовано применять полиэтилен ВП, который распространен и почти в 20 раз дешевле аналогичной прокладки из фторопласта-4. Расширена область использования дешевых контртел.

Установлено, что при определенных условиях олеиновая кислота может резко снижать коэффициенты трения скольжения пластмасс (у фторопласта-4 до 0,002), а ее действие хорошо объясняется гипотезой А.А. Кутькова.

Разработана методика и выведены формулы для определения допустимого давления на прокладки из фторопласта-4 и полиэтилен-

на ВП, позволяющие в устройствах скольжения повышать и управлять давлением на прокладки, разработана и испытана конструкция обоймы для работы при повышенных давлениях.

Спроектирована и изготовлена установка для исследования высоконагруженных опорных средств перемещения с повышенной точностью измерения за счет устройства, автоматически разгружающего шпундер прессовой части от сил трения со стороны контртела.

Практические результаты. Разработано и утверждено для применения в системе СКБ Главмостостроя "Пособие по применению фторопласта-4 и полиэтилена ВП для надвигки пролетных строений мостов". В основу "Пособия" положены материалы диссертации. В "Пособии" даны рекомендации по выбору пластмасс, контртел, смазок, режимам работы, определению коэффициентов трения для фторопласта-4 и полиэтилена ВП при работе по полированному и покрашенному контртелам в зависимости от температуры, давления и скорости. Приведены материалы по влиянию отдельных конструктивных факторов на допускаемое давление для пластмасс, свойствам пластмасс и т.д. Материалы "Пособия" используются на многих стройках страны.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались на XXV, XXVI, XXVII, XXIX научно-технических конференциях Челябинского политехнического института в 1972, 1974, 1975, 1976 г.г., на Всесоюзной научно-технической конференции "Пластмассы и твердые смазки в тяжело нагруженных узлах трения машин" в 1973 г., на заседании Челябинского областного комитета надежности в 1972 г., на Челябинском областном семинаре по надежности в 1974 г., в Москве в Специальном конструкторском бюро Главмостостроя в 1974 и 1976 г.г., на межлабораторных семинарах в институтах Механики полимеров АН ЛатвССР и Механики металлополимерных систем АН БССР в 1977 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 18 работ.

Объем работы. Диссертационная работа содержит текст на 124 страницах, 21 таблицу и 58 рисунков. Библиография включает 158 наименований работ.

## Глава I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

При надвигках (передвигках) на катках или салазках металлических пролетных строений мостов, зданий, металлургических печей, трансформаторов и т.д. массой от нескольких десятков тонн до де-

сятков тысяч тонн, на расстояние от нескольких метров до 100 м, а для мостов и более, скорость перемещения в основном до 0,6 м/мин., усилия надвигки в процессе движения составляют на катках от 1,3 до 3%, на салазках до 26% от массы надвигаемой конструкции. В качестве тяговых средств используются лебедки или домкраты с механическим или ручным приводами.

Приводятся различные схемы устройств скольжения для надвигки железобетонных и металлических пролетных строений мостов с применением антифрикционных пластмасс. Продольная надвигка тяжелых железобетонных пролетных строений на катках или салазках практически не делается из-за сложности вспомогательных устройств. При надвигке пролетных строений используется в большинстве случаев фторопласт-4, иногда антифрикционная волокнистая ткань нафтлен (для спуска судов со ступеней применяется специальная пластмасса ПМ). Надвигают гидродомкратами с выходом штока на 1,0-1,2 м, лебедки применяют реже. Прокладки из антифрикционных пластмасс в устройствах скольжения располагают в обойме или свободно опирают на шероховатую поверхность. Пластмассы, контртела имеют разное применение на одну или несколько надвигок. При расположении устройств скольжения на опорах моста желательно, чтобы коэффициент трения не превышал 0,05, так как расчетный коэффициент трения в подвижных опорных частях мостов принимается равным 0,05 при наличии секторов, валков или катков.

Антифрикционные свойства фторопласта-4 и полиэтилена ВП изучены применительно к условиям машиностроения В.А.Белым, И.В. Крагельским, Г.М.Бартеневым, А.И.Свириденком, С.Б.Аинбиндером, В.В.Лаврентьевым, Г.В.Виноградовым, А.А.Кутьковым, Ф.Боуденом, Д.Тейбором, Е.Р.Брейтуэйтом, Ш.М.Биликом, Ф.К.Лебедевым, М.И.Петроковцом, В.Г.Савкиным, В.Э.Ваинштейном, Г.И.Троянской и др. Для этих исследований характерны небольшие нагрузки, стационарность режимов, причем скорости скольжения, давления, вид контртела и схемы испытания в большинстве случаев отличаются от устройств скольжения для надвигки конструкций.

Результаты исследования антифрикционных свойств фторопласта-4 применительно к опорным частям мостов описаны в работах С.Н.Пшеничникова, Г.А.Пассека, Е.В.Алексеева, Юца, Хакениоса. Исследования проводили при небольшой скорости и ограниченном ходе контртела, например, Юц и Хакениос проводили исследования при скорости от 0,2 до 1,5 мм/сек, длина хода контртела доходила до 10 мм.

Применительно к надвижке антифрикционные свойства фторопласта-4 изучались С.Н.Пшеничниковым, Г.А.Пассеком, М.В.Фельдманом, Р.Н.Турсунбаевой. Из нормативных материалов наиболее известны "Методические рекомендации по применению полимерных материалов для постройки мостов методом продольной надвижки", выпущенные СоюзДорНИИ (кандидатом технических наук С.Н.Пшеничниковым при участии инженера Р.Н.Турсунбаевой). В Методических рекомендациях даны расчетные коэффициенты трения только для пары фторопласт-4 - покрашенное контртело при наличии смазки. Необходимо отметить, что С.Н.Пшеничников впервые указал на возможность применения в качестве контртела для фторопласта-4 стального проката, покрашенного краской.

Специальную пластмассу ПМ изучали применительно к спуску судов на воду. Не так давно начали применять ткань нафтлен. Известно, что металлическая поверхность, работающая с антифрикционным слоем ткани должна быть полированной. Нафтлен и пластмасса ПМ выпускается в ограниченном количестве и весьма дефицитны.

В рассматриваемых работах применительно к использованию фторопласта-4 при надвижке конструкций не отражено или недостаточно отражено влияние на трение высокого давления, типа и шероховатости поверхности контртела, скорости, выстойки под нагрузкой, смазки, числа проходов контртела, приработки. В литературе отсутствуют какие-либо данные о влиянии отдельных факторов на допускаемое давление для фторопласта-4 и полиэтилена ВП, при их использовании в устройствах скольжения.

Применительно к надвижке (передвижке) пролетных строений мостов и других конструкций, сооружений, нами были поставлены и решались следующие задачи:

1. Анализ работы антифрикционных пластмасс в условиях, характерных для надвижки.
2. Разработка и изготовление экспериментальной установки трения, позволяющей имитировать режимы близкие к реальным, и приспособления для сравнительного испытания пластмасс.
3. Исследования различных пар трения с целью изучения их свойств в режимах, соответствующих перемещению конструкций, и выявление наиболее перспективных пластмасс и контртел.
4. Исследование антифрикционных свойств фторопласта-4 и полиэтилена ВП в зависимости от давления, температуры, скорости, времени выстойки, смазки, приработки, количества поступательных

проходов контртела с целью определения оптимальных рабочих режимов и разработки рекомендации по практическому применению.

5. Выявление условий, позволяющих повышать допускаемые давления на прокладки из фторопласта-4 и полиэтилена ВП, обеспечивая этим снижение размеров и уменьшение коэффициентов трения.

6. Оценка экономических показателей использования пластмасс.

## Глава П. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ, МЕТОДИКА, ВЫБОР ПЛАСТМАСС

Применяются разнообразные машины и установки испытания на трение, но они не могут обеспечить качественного моделирования процессов трения, соответствующих работе пластмасс в устройствах скольжения для надвигки конструкций. Поэтому была спроектирована и изготовлена специальная установка для исследования высоконагруженных опорных средств перемещения (стенд для испытания элементов опорно-ходового устройства), где предусмотрено: нагружать образцы из пластмасс до 120 тс (при форсировании до 150 тс) при скорости до 3,9 м/мин. и длине хода контртела до 1 м; бесступенчато регулировать усилия и скорость; фиксировать силу трения и при необходимости замерять температуру в образце; устройство для охлаждения масла гидросистемы, позволяющее проводить длительные испытания. Для предварительных испытаний было спроектировано и изготовлено приспособление на основе прессов Бринелля, на котором испытывались образцы из пластмасс диаметром 30 мм.

На основе анализа условий работы были разработаны требования к пластмассам, которые наряду с фторопластом-4 могут быть использованы в качестве антифрикционных прокладок для надвигки конструкций: низкий коэффициент трения при граничной смазке, противодействие заеданию, устойчивость и плавность работы с контртелами, применяемыми для надвигки, недефицитность, низкая стоимость. Соответственно выдвинутым требованиям были рассмотрены и отображены антифрикционные пластмассы и проведены их сравнительные испытания. Испытывали фторопласт-4, полиэтилены, полиамиды.

В качестве контртел использовали полосы из стали Ст.3 с покраской и без покраски, шлифованные с шероховатостью 6-8 классов и полосы из нержавеющей стали полированные с шероховатостью 10 класса. Испытание проводили: 1 - со шлифованными и ржавыми контртелами для проверки пластмасс на заедание; 2 - при выстойке под нагрузкой в течении 24 часов для определения коэффициентов

трения после выстойки; 3 - в диапазоне температур 0-50°C с полированными контртелами для определения влияния температуры.

Предварительные исследования показали, что наряду с фторопластом-4 перспективен полиэтилен ВП, который имеет сравнительно низкий коэффициент трения, хорошие механические свойства, низкую стоимость, распространен. Наилучшие результаты получены при использовании в качестве контртел полированных листов и листов стали, покрашенных краской с шероховатостью покрытия 6-7 классов.

При небольших номинальных давлениях может быть использован полиэтилен низкой плотности. Капрон дает повышенные коэффициенты трения по сравнению с фторопластом-4 и полиэтиленом и может использоваться в паре со шлифованным или полированным стальным контртелом там, где не требуется низкий коэффициент трения. Полиамиды КПС-30, АК-85/15 имеют коэффициенты трения, близкие к капрону, но более склонны к заеданию, могут ограниченно применяться в паре с полированным контртелом.

### Глава III. ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ТРЕНИЕ ПРОКЛАДОК ИЗ ФТОРОПЛАСТА-4 И ПОЛИЭТИЛЕНА ВП

Номинальное давление. В экспериментах на образцах из пластмасс в диапазоне давлений 25-1000 кгс/см<sup>2</sup>, скоростей 0,12-2,4 м/мин. наблюдалось уменьшение коэффициентов трения с увеличением давления. При скорости  $v = 0,12$  м/мин. для образцов из пластмасс  $\varnothing 60$  мм зависимость коэффициентов трения скольжения  $f_c$  от номинального давления  $p$  приближенно можно описать уравнением

$$f_c = b p^a \quad (I)$$

где  $a$  и  $b$  - коэффициенты, зависящие от пластмассы и контртела. У фторопласта-4  $a = -0,5$ , для полиэтилена ВП  $a = -0,4$ .

Температура. Испытания в интервале температур 0-50°C, давлений 25-400 кгс/см<sup>2</sup> при работе со смазкой и без смазки с разными контртелами показали снижение коэффициентов трения пластмасс с увеличением температуры.

Скорость. При экспериментах со шлифованными и полированными контртелами с увеличением скорости в диапазоне 0,12-2,4 м/мин. у фторопласта-4 коэффициенты трения увеличиваются, а на коэффициенты трения скольжения полиэтилена ВП скорость влияет в меньшей степени. При работе по покрашенному контртелу у обеих пластмасс

при площади образцов  $250 \text{ см}^2$  наблюдалось увеличение коэффициентов трения скольжения, тогда как при площади образцов до  $36 \text{ см}^2$  влияние скорости незначительно.

Время выстойки под нагрузкой. Опыты на образцах из фторопласта-4  $\varnothing 30 \text{ мм}$  в отсутствии смазки показали, что при скорости  $0,12 \text{ м/мин.}$  коэффициента трения покоя  $f_n$  при первой подвижке приближенно можно описать уравнением типа

$$f_n = a_1 + b_1 \lg t, \quad (2)$$

где  $a_1, b_1$  - коэффициенты;  
 $t$  - время в часах.

Приводится также приближенное уравнение, позволяющее судить о коэффициентах трения покоя и при последующих подвижках, а также некоторые данные по коэффициентам трения для образцов из фторопласта-4 и полиэтилена ВП площадью до  $250 \text{ см}^2$  при выстойке от нескольких часов до 30 суток. Рост коэффициентов трения покоя со временем объясняется прежде всего деформативностью пластмасс, заполнением неровностей контртела.

Смазка. Влияние смазок проверяли на контртелах, покрашенных эмалью ПФ-115. При давлении до  $200 \text{ кгс/см}^2$  сопротивления трению в зависимости от типа смазки меняется мало, несколько повышенные коэффициенты трения получены при смазке дизельным топливом. При давлении  $400 \text{ кгс/см}^2$  смазки с меньшей вязкостью дают более высокие значения коэффициентов трения покоя, так как они легче вытесняются из зоны трения. Олеиновая кислота после выстойки оказывает небольшое влияние на коэффициенты трения покоя, но при установившемся движении она может резко снижать коэффициенты трения скольжения.

Приработка контртела и пластмассы, износ. Влияние приработки исследовали при работе фторопласта-4 со шлифованными, покрашенными окалиной и покрашенными эмалью контртелами, которые многократно перемещались между образцами. С увеличением числа проходов до 10 коэффициенты трения скольжения уменьшаются, в дальнейшем изменяются незначительно. После приработки наблюдается уменьшение шероховатости поверхности контртела до 7-8 классов, а образцы из фторопласта-4 меняют свои свойства. Если образцы из фторопласта-4 обкатать при повышенном, по сравнению с рабочим, давлении, то при работе с контртелами, имеющими шероховатость 5-7 классов, наблюдается уменьшение коэффициентов трения скольжения.

Износ фторопласта-4 не является лимитирующим при работе с высокими давлениями.

Динамика изменения коэффициентов трения при прокладках больших размеров. Были испытаны образцы из фторопласта-4 и полиэтилена ВП площадью 180-400 см<sup>2</sup> в диапазоне давлений 50-400 кгс/см<sup>2</sup>, скоростей 0,36-0,6 м/мин. При работе с контртелами, покрытыми окатиной или покрашенными эмалью, передняя часть образцов из пластмасс как бы выглаживает поверхность контртела, а остальная часть работает по выглаженной поверхности. Коэффициенты трения скольжения при работе со смазкой в зависимости от давления и числа проходов изменялись в пределах 0,007 - 0,040.

При работе по полированному контртелу со смазкой, коэффициент трения скольжения при первых проходах меньше, затем по мере выдавливания и износа смазки повышаются и стабилизируются, их величина не превышала 0,024 у полиэтилена ВП и 0,018 у фторопласта-4. С увеличением давления коэффициенты трения уменьшались, например, у фторопласта-4 до 0,007.

#### Глава IV. ДОПУСКАЕМОЕ ДАВЛЕНИЕ НА ПРОКЛАДКИ ИЗ ФТОРОПЛАСТА-4 И ПОЛИЭТИЛЕНА ВП В УСТРОЙСТВАХ СКОЛЬЖЕНИЯ

Определение допускаемых давлений необходимо для разработки методики расчета грузоподъемности антифрикционных прокладок в устройствах скольжения и выявления условий, позволяющих повысить давления с тем, чтобы уменьшить сопротивление перемещению, сделать устройства скольжения более компактными, сократить расход материалов. Допускаемое давление на прокладки из фторопласта-4 и полиэтилена ВП в устройствах скольжения можно повысить, если каким-то образом стеснить их пластическое течение, что может служить существенным резервом роста нагрузочной способности прокладок. При этом пластмасса будет находиться в условиях объемного напряженного состояния из-за ограничения деформации стесняющими условиями.

Основываясь на работах указанных выше авторов, выведены формулы для инженерного определения допускаемого давления  $p$ , на прокладки из фторопласта-4 и полиэтилена ВП, заключенные между жесткими разношерховатыми плитами, с учетом сдвигающей нагрузки:

$$P_1 = [\sigma] \left\{ 1 + \frac{f_s d}{6h_y} + \frac{f_s^2 d^2}{96h_y^2} - \left(\frac{d_b}{d}\right)^2 \left[ 1 - \frac{0,25}{f_s^2} + \frac{2f_s(3d - 2d_b) - d_b}{12h_y} + \frac{f_s^2(6d^2 + 3d_b^2 - 8dd_b)}{96h_y^2} \right] \right\}, \quad (3)$$

где

$$d_b = d + \frac{4h_y}{f_s} - \frac{2h_y}{f_s^2} \geq 0;$$

$[\sigma]$  — допускаемое напряжение для простого (осевого) сжатия, зависит, в основном, от допускаемой деформации, долговечности и температуры. Для фторопласта-4 при нормальной температуре в зависимости от времени нахождения под нагрузкой можно брать  $[\sigma] = 80-100$  кгс/см<sup>2</sup>.

$d$  — диаметр или длина стороны квадратной прокладки,

$h_y$  — условная высота прокладки.

В отсутствии сдвигающей силы

$$h_y = \frac{h}{1 + f_{s1}/f_s};$$

при наличии сдвигающего усилия

$$h_y = \frac{h}{1 - f_{s1}/f_s};$$

при  $f_{s1} = 0$   $h_y = h$  — высота прокладки.

$f_s; f_{s1}$  — коэффициенты трения между пластмассой и соответственно опорной поверхностью в устройствах скольжения и поверхностью контртела при давлении близком к  $[\sigma]$  в условиях простого сжатия,  $f_s > f_{s1}$ .

При  $f_s = 0,5$  имеем 
$$P_1 = [\sigma] \left[ 1 + \frac{(1 \pm 2f_{s1})d}{12h} \right] \quad (4)$$

или для 
$$\frac{f_{s1}}{f_s} = \frac{f_p}{0,5[\sigma]} \quad P_1 = [\sigma] \left[ 1 + \frac{([\sigma] \pm 2f_p)d}{12[\sigma]h} \right], \quad (5)$$

где  $f$  — коэффициент трения между прокладкой из пластмассы и контртелом при давлении  $P_1$ ;

$\pm$  плюс при отсутствии сдвигающего усилия (в момент технологической выстойки), минус при наличии сдвигающего усилия.

При  $f_s = 0,5$  и  $f_{s1} = 0$  получим

$$p_1 = [\sigma] \left(1 + \frac{d}{12h}\right). \quad (6)$$

На основе теоретических разработок создана конструкция обоймы с канавками специальной формы, позволяющая прокладкам из пластмасс работать при высоких давлениях. С использованием этих обойм проведены длительные и кратковременные (только для фторопласта-4), соответственно при давлениях 400 и 565 кгс/см<sup>2</sup>, испытания прокладок из фторопласта-4 и полиэтилена ВП Ø 180 мм и толщиной 5 мм.

Эксперименты при повышенных давлениях показали надежность использования предлагаемых формул для определения допускаемого давления.

Допускаемые давления на прокладки из фторопласта-4 и полиэтилена ВП в устройствах скольжения могут быть повышены за счет:

- а) увеличения отношения размеров диаметра (диаметра вписанной окружности в правильный многоугольник) к толщине прокладки;
- б) увеличения сопротивления трению на опорной поверхности прокладки;

в) канавок, нанесенных на металлическую опорную поверхность. Поперечное сечение канавок следует выбирать такой формы, чтобы максимально препятствовать касательным перемещениям материала прокладки параллельно опорной поверхности, например, прямоугольной формы. Канавки должны препятствовать деформации пластмассы в сторону открытых поверхностей, например, располагаясь в плане концентрично наружному контуру прокладки.

Сдвигающая сила может заметно снижать допускаемое давление на прокладки из пластмасс, ее влияние увеличивается с уменьшением коэффициента трения или сцепления на опорной поверхности прокладки.

## Глава V. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАСТМАСС И ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

На основе выполненной работы применительно к мостостроению разработано "Пособие по применению фторопласта-4 и полиэтилена ВП для надвигки пролетных строений мостов", внедренное для использования при проектировании в системе Специального конструкторского бюро Главмостостроя, которое разрабатывает проекты производства

работ (ИПР) для строительства (ремонта) мостов на всей территории Советского Союза. Экземпляры "Пособия" переданы для пользования работникам ряда институтов страны. На основе материалов "Пособия" в ВСН 98-74 указывается, что в устройствах скольжения допускается использование полиэтилена высокой плотности (низкого давления).

С использованием материалов "Пособия" разработаны проекты производства работ для строительства (ремонта) путепровода на улице Труда в г. Челябинске; пешеходного моста через железнодорожные пути Челябинск-Москва в г. Уфе; мостов через реки: Днепр в г. Киеве, Днестр у села Усечко и в г. Бендеры, Латорица, Обь, Иртыш, Пяру, Вязань, Бишкиль, Сылва, Катав и др.

Мосты с железобетонными пролетными строениями, надвигаемые через реку Днестр, имеют длину более 400 м. Часть мостов уже построена и среди них можно отметить замену в "окно" пролетного строения моста через реку Бишкиль на железнодорожной линии Челябинск-Москва с использованием полиэтилена ВП и один из крупнейших вантовых мостов мира - автодорожный мост через реку Днепр в Киеве, при строительстве которого было надвинуто пролетное строение длиной 500 м, шириной 30 м и массой 6500 т.

Днепропетровским НИС Оргтрансстроя проведено сравнение технико-экономических показателей при продольной надвигке железобетонного пролетного строения и показано, что надвигка на фторопласте-4 дает снижение стоимости строительства 1 м<sup>2</sup> пролетного строения моста на 22-40 рублей по сравнению с другими наиболее экономичными способами. По данным В. Баура надвигка на фторопласте-4 позволяет сэкономить 30-40% от стоимости строительства.

Использование пластмасс для надвигки пролетных строений мостов в зоне действующих железнодорожных линий позволяет уменьшить продолжительность "окон" или вообще проводить надвигку без остановки движения поездов, как было при строительстве пешеходного моста в г. Уфе. Начальник отдела ЦД ИПС А. Сметанин сообщает, что за счет "окон" общий перерыв в движении поездов в течении 200 часов вызвал увеличение расходов на 3,8 миллиона рублей.

Приводятся также расчеты экономической эффективности при применении пластмасс для передвигки балок на опорах моста, при поперечной сдвигке балок пролетных строений с железнодорожных платформ, для надвигки домен и передвигки зданий.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Обзор данных о конструктивных и эксплуатационных достоинствах, примеров применения и исследований, а также анализ перспективных областей использования прокладок из пластмасс, позволили выявить рациональные пути и обосновать целесообразность исследования антифрикционных свойств и допускаемого давления у пластмасс применительно к устройствам скольжения для надвижки конструкций.

2. Разработанная и изготовленная установка исследования тяжело нагруженных опорных средств перемещения позволяет, в отличие от применяемых, проводить исследования в режимах близких к реальным. Точность измерения обеспечивается тем, что плита, опирающаяся на плунжер прессовой части, снабжена устройством, автоматически разгружающим плунжер от сил трения со стороны контртела.

Предварительные испытания антифрикционных свойств проводили на специальном приспособлении, изготовленном на основе прессов Бринелля.

3. На основе сформулированных требований и условий работы рассмотрены и намечены пластмассы и контртела пригодные к использованию в устройствах скольжения. Предварительные испытания в экстремальных условиях показали наиболее перспективные виды пластмасс и контртел, по которым и велись дальнейшие исследования.

4. Рекомендовано применять полиэтилен ВП в качестве заменителя фторопласта-4. Контртелом может быть стальной прокат, поверхность которого полирована (шероховатость 8-10 классов), или покрашена эмалью, или покрыта окалиной (сталь Ст.3).

5. Эксперименты, проведенные с фторопластом-4 и полиэтиленом ВП, позволили выявить влияния на их работу давления, температуры, скорости скольжения. Выявлена приближенная зависимость коэффициентов трения скольжения от давления и трения покоя от времени выстойки под нагрузкой до первой и последующих подвижек, определена деформативность фторопласта-4 под нагрузкой с течением времени.

6. Установлено, что смазка снижает коэффициент трения фторопласта-4 и полиэтилена ВП, а добавление в смазку олеиновой кислоты, при определенных условиях, дает возможность дополнительно понизить коэффициенты трения. С применением олеиновой кислоты у

фторопласта-4 получен коэффициент трения скольжения 0,002 (нагрузка 127 тс, скорость 0,12 м/мин).

7. Исследовано влияние числа поступательных проходов контртела на коэффициенты трения фторопласта-4 и полиэтилена ВП. Выявлено значительное выглаживание поверхности у контртел, покрытых окалиной, сопровождающееся уменьшением коэффициентов трения. Обкатка образцов из фторопласта-4 при высоких давлениях дает возможность снизить требования к шероховатости поверхности контртела.

8. Разработана методика и выведены зависимости для определения допустимого давления на прокладки из фторопласта-4 и полиэтилена ВП. На основе полученных зависимостей могут быть разработаны конструкции устройств скольжения при давлениях на прокладку равных 400-800 кгс/см<sup>2</sup>. При таких высоких давлениях коэффициент трения и сопротивления перемещению низкие.

9. Теоретические расчеты по выведенным формулам хорошо совпали с результатами испытаний пластмасс, помещенных в специальную обойму, обеспечивающую работу при высоких давлениях. Для опытного применения разработаны рабочие чертежи устройств скольжения грузоподъемностью 150 и 600 т с повышенными давлениями на фторопласт-4 и полиэтилен ВП.

10. Разработано "Пособие по применению фторопласта-4 и полиэтилена ВП для надвигки пролетных строений мостов". Годовой экономический эффект от внедрения рекомендации "Пособия" в подразделениях Главмостостроя составляет ориентировочно 400000 рублей в год.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах автора:

1. Исследование коэффициента трения скольжения фторопласта-4. - Сб. № 10 (102) "Производство и переработка пластмасс и синтетических смол". М., НИИПМ, 1973.

2. Исследование коэффициентов трения и несущей способности пластмасс. - Сб. № 142 "Машиностроение". Челябинск, ЧПИ, 1975.

3. Несущая способность фторопласта-4. - "Автомобильные дороги". 1975, № 10.

4. Пластмассовые прокладки облегчают передвижку. - "Путь и путевое хозяйство". 1976, № 10.

5. Применение фторопласта и полиэтилена при надвигке конструкций. - "Монтажные и специальные работы в строительстве". 1974, № 7.

6. Исследования антифрикционных свойств пластмасс при высоких удельных нагрузках. - "Сб. № 152 "Пластмассы и твердые смазки в тяжело нагруженных узлах трения машин". Челябинск, ЧПИ, 1974. (Соавтор Кармадонов А.Ф.).

7. Исследование антифрикционных свойств пластмасс при высоких удельных нагрузках - Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции "Пластмассы и твердые смазки в тяжело нагруженных узлах трения машин". Челябинск, ЧПИ, 1973. (Соавтор Кармадонов А.Ф.).

8. Исследование антифрикционных свойств фторопласта-4. - "Транспортное строительство". 1973, № 8. (Соавторы Кармадонов А.Ф., Чахлов В.С., Зайончик М.Л.).

9. Новая пара трения для надвигки конструкций. - "Информационный листок № 78-75. Челябинск, ЦНТИ, 1975. (Соавторы Кармадонов А.Ф., Чахлов В.С.).

10. О коэффициентах трения фторопласта-4. - "Монтажные и специальные работы в строительстве", 1973, № 9. (Соавторы Кармадонов А.Ф., Чахлов В.С., Зайончик М.Л.).

11. Полиэтилен вместо фторопласта. - "Транспортное строительство", 1974, № 4. (Соавторы Кармадонов А.Ф., Чахлов В.С.).

12. Пособие по применению фторопласта-4 и полиэтилена ВП для надвигки пролетных строений мостов. СКБ Главмостостроя, 1973-1975. (Соавторы Кармадонов А.Ф., Чахлов В.С.).

13. Разгрузка тяжеловесных балок с железнодорожных платформ. - "Транспортное строительство", 1973, № 1. (Соавторы Кармадонов А.Ф., Колпаков П.Н., Зайончик М.Л.).

14. Стенд для испытания элементов опорно-ходового устройства. Авторское свидетельство № 491864. 1975. (Соавторы Кармадонов А.Ф., Чахлов В.С., Зайончик М.Л.).

15. Установка для исследования тяжело нагруженных опорных средств перемещения. - Сб. № 125 "Машиноведение", Челябинск, ЧПИ, 1973. (Соавторы Кармадонов А.Ф., Зайончик М.Л.).

16. Установки для исследования потерь на трение в условиях больших нагрузок при нормальных и пониженных температурах. - Сб. № 152 "Пластмассы и твердые смазки в тяжело нагруженных узлах трения машин". Челябинск, ЧПИ, 1974. (Соавторы Кармадонов А.Ф., Чахлов В.С., Зайончик М.Л.).

17. Установки для исследования потерь на трение в условиях больших нагрузок при нормальных и пониженных температурах. - Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции "Пластмассы и твердые смазки в тяжело нагруженных узлах трения машин". Челябинск, ЧПИ, 1973. (Соавторы Кармадонов А.Ф., Чахлов В.С., Зайончик М.Л.).

18. Устройство скольжения для перемещения длинномерного элемента.-Решение "ВНИИГПЭ" от 30 сентября 1976г. о выдаче авторского свидетельства по заявке 2194246/33 (133996). (Соавторы Касьянов В.П., Зайончик М.Л.).

Соискатель

