

А-59<sup>6</sup>

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА СССР

Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации  
сельского хозяйства

Инженер Л. В. ВАЙСЕР

**Разработка состава полимерной композиции  
с оптимальными свойствами и выбор  
конструктивных элементов пластмассовой  
модельной оснастки**

161—Машиноведение и детали машин

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Ташкент—1968 г.

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА СССР

Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации  
сельского хозяйства

Инженер Л.В. ВАЙСЕР

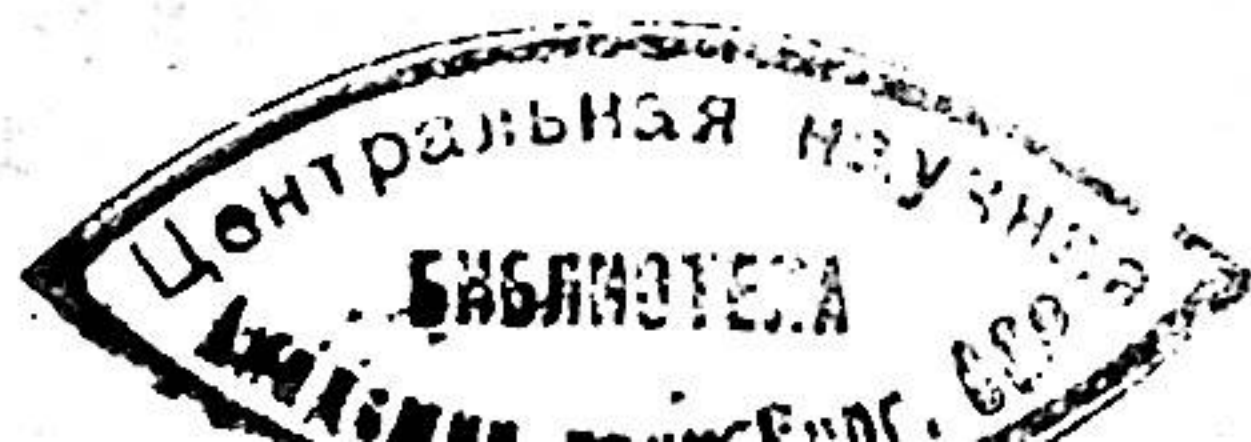
РАЗРАБОТКА СОСТАВА ПОЛИМЕРНОЙ КОМПОЗИЦИИ  
С ОПТИМАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ И ВЫБОР КОНСТРУК-  
ТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПЛАСТМАССОВОЙ МОДЕЛЬНОЙ  
ОСНАСТКИ

161 - Машиноведение и детали машин

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Ташкент - 1968 г.





21.8  
9

Работа выполнена в Государственном проектно-конструкторско-технологическом бюро машиностроения

Министерства тракторного и сельскохозяйственного машиностроения СССР и на кафедре теории механизмов и деталей машин Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства в период 1963-1968 г.г.

Научный руководитель доктор технических наук, заслуженный деятель науки и техники УзССР, профессор Г.А. КОШЕВНИКОВ.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор А.Д. ЗАЙОНЧКОВСКИЙ и кандидат технических наук, доцент Э.Л. ХАЙКИН.

Ведущее предприятие - Челябинский тракторный завод

Автореферат разослан " 3 сентября 1968 г.

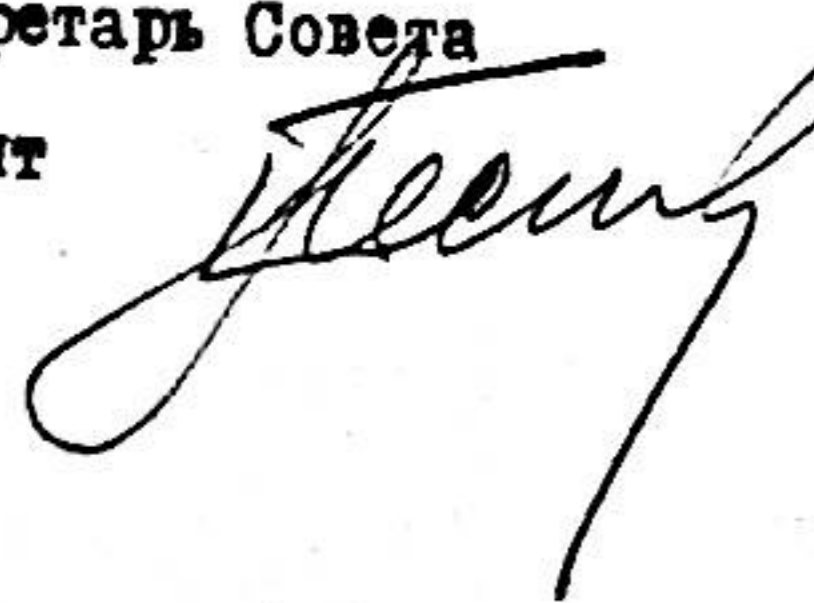
Защита диссертации состоялась во II пол. окт 1968 г. на заседании Ученого совета Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства ( г.Ташкент, ул.Учительская, 39 )

Ваши отзывы и замечания в 2-х экземплярах, заверенные печатью, просим направить по указанному выше адресу в Ученый Совет.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета

доцент

 Е.С. ПЕСИКОВ/

P-15739 подписано к печати 27 августа 1968г.

Объем 2 п.л. Заказ № II4 тир.200

Ротапринт ГПКТБМ г.Ташкент

- 3 -

Ноябрьским Пленумом ЦК КПСС 1961 года, декабрьским Пленумом ЦК КПСС 1963 года, XXIII съездом коммунистической партии СССР отмечены недостаточные темпы производства синтетических материалов и узкая область их применения. Поставлена задача увеличить объемы применения пластических масс против 1965 г. на 24% к 1980 году.

В связи с этим возникла необходимость изучить новые экономически выгодные области применения полимеров.

В массовом производстве общеизвестна высокая эффективность замены пластмассой металлических деталей, например: подшипников - капроновыми, шестерен - поликарбонатными или полиамидными, шкивов - волокнистыми и т.д. При этом каждая тонна пластмасс высвобождает 2,5 + 3 тонны алюминия, или 5 + 8 тонн стали, либо 5 + 6 тонн меди и бронзы.

В мелкосерийном и индивидуальном производстве возможность применения пластиков мало изучена. Известны отдельные удачные попытки применить полимеры во вспомогательном производстве при изготовлении технологической оснастки, инструмента, модельной оснастки.

Некоторые фирмы США, Франции, Польши, Чехословакии, передовые заводы Советского Союза - завод им.Лихачева, Горьковский автомобильный завод и др. начали освоение производства разных видов полимерной оснастки. Проведение этих работ было обусловлено тем, что при замене металлических деталей на пластмассовые трудоемкость их изготовления снижается в среднем в 2-3 раза, а при замене металлической оснастки полимерной - снижается в 6 + 12 раз.

Технология изготовления каждого вида оснастки и требования, предъявляемые к материалу для ее изготовления, различны и определяются условиями эксплуатации.

Одним из направлений применения пластмасс является создание модельной оснастки на основе полимерных композиций, которые используются в качестве материала для моделей, стержневых ящиков, форм для изготовления моделей точного литья и подмодельных плит.



Экономическая целесообразность применения пластмасс в этой области в основном определяется тем, что полимерная оснастка изготавливается точной отливкой без последующей механической и слесарной обработки, составляющей 75 + 80% от общей трудоемкости изготовления металлической модельной оснастки. Полимерные материалы повышают и качество модельной оснастки.

Меньшая прилипаемость формовочной смеси к моделям из полимера позволяет снизить расход припылов и уменьшить формовочные уклоны. Сокращение веса полимерных стержневых ящиков в 1,5 + 2 раза по сравнению с алюминиевыми облегчает труд. Повышенная точность и относительно низкая трудоемкость изготовления полимерной оснастки сокращают производственный цикл и способствуют росту выпуска модельной оснастки в цехах.

В результате исследований выбран ряд полимерных композиций, обладающих достаточно высокими механическими показателями, созданы композиции с повышенной износостойкостью и удельной ударной вязкостью. В процессе выполнения работы четыре композиции и четыре способа изготовления модельной оснастки, предложенные автором, защищены авторскими свидетельствами.

Разработанные композиции и технологические процессы заложены в основу проектов механизированных линий двух специализированных цехов, создаваемых в настоящее время в Государственном проектно-конструкторском бюро технологии машиностроения (ГПКТБМ) и на Челябинском тракторном заводе (ЧТЗ), а изготовленные по рекомендациям исследований 2000 ед. оснастки работают более трех лет на ряде заводов тракторного и сельскохозяйственного машиностроения.

Годовой экономический эффект от внедрения в производство моделей и стержневых ящиков из двух полимерных композиций, созданных автором, составил более 50 тыс. руб.

### I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

На основании анализа литературных источников и опыта работы ряда заводов страны в данной главе приведены сведения об условиях, в которых работает модельная оснастка, и на этой основе сформулированы требования, предъявляемые к ней в процессе изготовления и эксплуатации.

Кратко охарактеризованы методы изготовления форм и стержневых прессованьем, встряхиванием и пескоструйным способом. Рассмотрены нагрузки, действующие на модели и стержневые ящики при формовке. Показано, что давления на горизонтальные плоскости моделей и стержневых ящиков не превышают 2,0 - 2,5 кг/см<sup>2</sup>, а на вертикальные - 0,6 - 0,9 кг/см<sup>2</sup>. При формовке прессованьем под высоким давлением удельные нагрузки достигают 15 кг/см<sup>2</sup>.

Время воздействия нагрузок на оснастку зависит от скорости перемещения стола и прессовой колодки формовочной машины, находящейся в пределах 0,6 + 4,0 м/сек.

В главе приводятся характеристики составов формовочных и стержневых смесей: связующих, глин, песков, припылов, т.е. тех материалов, в непосредственном контакте с которыми работает поверхность модельной оснастки.

Сформулированы требования, предъявляемые к рассматриваемой оснастке и ее материалу:

а) жесткость модели или стержневого ящика должна быть такой, чтобы отклонения в размерах изготовленных по ней отливок не выходили за пределы допусков;

б) модельный материал должен обладать незначительной усадкой в процессе изготовления, высокой абразивной стойкостью, незначительным старением и водо-маслопоглощением.

Обобщен литературный материал и приведен анализ свойств полимеров, применяемых в качестве модельных составов - эпоксидных, фенол-формальдегидных, полиэфирных смол, акрилопластов, листовых материалов на основе полихлорвинила, пенополистиролов.

Эпоксидные смолы широко применяются крупными Советскими заводами - им.Лепсе (г.Ленинград), "Центролитом" (г.Сумы); полиэфирные смолы - на одном из заводов г.Куйбышева, фенол-формальдегидные - на Московском автомобильном заводе им.Лихачева; акриловые пластмассы - на заводе им.Карла Маркса в г.Ленинграде, а также некоторыми зарубежными фирмами, например, "Рен пластик" (США), "Рено" (Франция).

Опыт этих предприятий, а также исследования, проведенные Ю.И.Кондратьевым - по улучшению свойств эпоксидных композиций, О.К.Кошевым - по повышению физико-механических показателей акрилатов, Н.Я.Цыганковой - по модификации фенол-формальдегидных



смола показывают, что несмотря на недостаточно высокую удельную ударную вязкость применяемых композиций, значительную усадку и довольно высокую стоимость, существует возможность улучшения этих показателей путем введения различных пластификаторов и наполнителей.

Введение наполнителей в полимерные композиции уменьшает усадку, коробления отлитой оснастки, коэффициент линейного расширения, стоимость, повышает прочностные показатели и износостойкость.

В главе приведены данные по малоиспаряющимся высоковязким жидкостям - пластификаторам. Причина, на основании которой пластификаторы широко применяются в качестве добавок в полимерных композициях, состоит в том, что в зависимости от пространственной структуры и полярности полимера при пластификации повышаются модуль упругости, удельная ударная вязкость и износостойкость.

Повышение удельной ударной вязкости связано с уменьшением при пластификации межмолекулярного взаимодействия между участками макромолекул и повышением их подвижности при нагрузке.

Из приведенного в главе анализа следует, что непластифицированные и ненаполненные пластмассы при наличии ряда преимуществ имеют недостаточно высокую удельную ударную вязкость (не более  $8 \pm 10 \text{ кг/см}^2$ ), что снижает их надежность в процессе эксплуатации. Большинство композиций имеет значительную усадку ( $1,8 \pm 2,5\%$ ) и повышенную стоимость (5-6 руб. за 1 кг).

Даны рекомендации по применению наполнителей и пластификаторов, введение которых улучшает физико-механические показатели и повышает экономическую эффективность использования композиций. Рекомендуется, например, применять мелкодисперсные наполнители с размером частиц  $0,1 \pm 2 \text{ мк}$  и использовать высокое наполнение композиций (до  $80 \pm 120$  вес. частей наполнителя на 100 вес. частей связующего полимера); в качестве пластификаторов для эпоксидных смол использовать  $7 \pm 15$  весовых частей дибутил-фталата,  $10 \pm 25$  весовых частей тиокола или  $10 \pm 20$  весовых частей касторового масла. Для уменьшения миграции пластификатора проводят предварительную отгонку летучих. Анализ существующих технологических процессов изготовления пластмассовой модельной оснастки показал, что они имеют ряд одинаковых операций, не зависящих от применяемых материалов - это изготовление проделей и форм, подготовка

наполнителей, выем моделей из формы, зачистка и крепление их на плитах. Вместе с тем имеется ряд операций, целиком зависящих от применяемой пластмассы - это замес композиций, покрытие форм разделительными составами, полимеризация и термообработка.

Технологические процессы изготовления полимерной оснастки можно свести к шести основным видам: заливке в форму, многократному последовательному нанесению тонких слоев смолы на форму, запрессовке тестообразной массы, напылению смолы со стекловолокном, выклейке пропитанной смолой стеклотканью (контактный способ), пневмо-вакуумформовке или штеповке листового материала.

Модели из эпоксидных и фенолформальдегидных композиций изготавливаются заливкой в формы или нанесением слоев смолы на ее стенки. Эпоксидные и фенолформальдегидные смолы требуют для окончательного отверждения и снятия напряжений сложную термообработку. Модели из полиметилметакрилата изготавливаются заливкой либо запрессовкой массы в форму.

Акрилатные композиции с добавками катализаторов и ускорителей становятся самоотвердеющими, но при этом снижаются их физико-механические показатели и жизнеспособность. Пластифицированные акрилаты освобождены от этих недостатков, но требуют термообработки при температуре  $80-90^\circ\text{C}$  от 1 до 12 часов. Модели на основе полиэфирных смол изготавливаются напылением смолы с наполнителем-стекловолокном либо контактными способами.

Нами рекомендован способ попеременного нанесения на форму пластифицированных и непластифицированных слоев смолы (авторское свидетельство № 202507 на имя Вайсера Л.В. и Чудновского А.Р.), что дает повышение удельной ударной вязкости материала на 15-18%.

Стержневые ящики и модели из полихлорвинила изготавливаются прессованием или пневмо-вакуумформовкой. Эти процессы требуют точной регулировки нагрева листов поливинилхлорида.

Анализ рассмотренной технологии изготовления полимерной модельной оснастки позволил рекомендовать для дальнейшей разработки в качестве основы модельного материала полиметилметакрилат, обладающий хорошей технологичностью. Неполимеризованный метилметакрилат имеет значительно меньшую адгезию к большинству материалов форм по сравнению со смолами. Это позволяет простыми средствами нанесения разделительного вещества осуществить надежное отделение изделия от материала формы. Процессы переработки акриловых композиций легко поддаются механизации.



Акрилатные композиции имеют большую жизнеспособность, что позволяет соединить механизмы, осуществляющие отдельные технологические операции, в один агрегат или линию. Метилметакрилат не требует сложной термической обработки. Отходы композиций в связи с термопластичностью материала полностью используются путем переработки в мономер. Для крупных моделей рекомендуются композиции на основе полиэфирных смол.

Целью настоящей работы является разработка дешевого, стойкого в эксплуатации и легко перерабатываемого полимерного модельного материала, создание теоретических основ расчета основных конструктивных элементов оснастки — толщины стенки, расстояния между ребрами и формовочных уклонов, создание технологии, позволяющей изготавливать модели и стержневые ящики с незначительной механической и слесарной обработкой.

## II. ПРОГРАММА ИССЛЕДОВАНИЙ

В главе изложена программа теоретических и экспериментальных исследований.

### I. Программа теоретических исследований

Программа теоретических исследований включает: разработку основ расчета оптимальных размеров конструктивных элементов оснастки — толщины стенки  $h$  и расстояния между ребрами  $e$ ; исследование сил трения, возникающих при взаимодействии модельного материала с формовочной смесью; разработку предпосылок получения модельного полимерного материала с повышенной ударной вязкостью и анализ факторов, определяющих сохранность формы и размеров полимерной модельной оснастки в процессе изготовления и эксплуатации.

При разработке основ расчета оптимальных размеров конструктивных элементов модельной оснастки, обеспечивающих ее жесткость, принят ряд допущений: модели или стержневые ящики состоят из совокупности элементарных ячеек прямоугольной формы, образованных ребрами жесткости; нагрузка при формовке статическая и равномерно распределена по проекции модели на горизонтальную плоскость; величина стрелы прогиба оснастки принята такой, что отклонения размеров отливки не превышают допусков на литье; при расчете на прогиб толщину каждой стенки определяли как для пластины, свободно опирающейся по периметру и равномерно нагруженной по всей площади.

Исходя из технологических требований, мы рекомендуем принимать толщину горизонтальных и вертикальных стенок и ребер оснастки одинаковой. Соотношение между толщиной стенки и расстоянием между ребрами определяется исходя из условия получения необходимой жесткости, возможности выхода гипсовых болванов из межреберных промежутков при изготовлении модели и минимального веса оснастки.

Анализ взаимодействия модельных материалов с формовочной смесью включает учет их молекулярного взаимодействия, частичного качения песчинок пограничного слоя и т.п.

При разработке предпосылок для создания полимерных композиций на основе полиметилметакрилата с повышенной удельной ударной вязкостью предусмотрено использование адсорбционно-структурирующего действия наполнителей, влияние контактной разности электрических потенциалов, возникающей на границе поверхности наполнителя-смола, на упрочнение композиций, в частности, для повышения ударной вязкости.

В связи с тем, что присутствие пластификатора в композиции способствует снижению внутренних напряжений, предусмотрена пластификация разрабатываемых композиций.

Анализом факторов, определяющих сохранность формы и размеров полимерной модельной оснастки в процессе изготовления и эксплуатации, предусмотрено изучение влияния наполнения и пластификации на усадку, а также водопоглощения, старения и абразивного износа на размерную точность оснастки в процессе эксплуатации. Предложена новая гипотеза, дающая попытку объяснить взаимодействие абразива, с моделью, предполагающая возникновение определенных условий, при которых частицы формовочной и стержневой смеси не скользят, а катятся по поверхности модели.

В связи с тем, что упругие свойства модельного материала, с нашей точки зрения, на износ влияют незначительно, изучение этого вопроса программой исследований не предусмотрено.

### 2. Программа экспериментальных исследований

Программа экспериментальных исследований включает: экспериментальные работы по определению статического и динамического модуля упругости на изгиб для применяемых модельных материалов;



экспериментальное определение коэффициентов трения между материалом модели и формовочной или стержневой смесью; проверку влияния наполнения и пластификации полимерных композиций на ее удельную ударную вязкость; определение влияния состава полимерных композиций на их усадку и абразивную стойкость.

Экспериментальными работами по уточнению теоретического расчета модельной оснастки на жесткость предусмотрена проверка величин стрелы прогиба элемента полимерной оснастки с толщиной стенки, рассчитанной по разработанному нами методу, при воздействии на нее усилий, соответствующих нагрузкам, возникающим при формовке прессованием.

Опытная проверка взаимодействия пары модель-формовочная смесь включает эксперименты по определению коэффициентов трения между материалом модели и формовочной или стержневой смесью.

Для экспериментов применялись смеси с разным гранулометрическим составом и различными связующими, что создавало различные условия закрепления частиц в смеси. Определялись коэффициенты трения между формовочной смесью и поверхностью не только полимерных композиций, но и алюминиевого сплава и резины.

Экспериментальное определение возможности создания полимерной композиции на основе полиметилметакрилата с повышенной удельной ударной вязкостью при наполнении и пластификации предусматривало изготовление и исследование полимерных образцов и опытной оснастки из соответствующих композиций.

Программой исследований предусмотрена проверка влияния состава полимерной композиции на усадку в процессе изготовления оснастки и абразивную стойкость модельного материала в процессе эксплуатации. При изучении процесса усадки во время полимеризации проверено влияние на нее материала наполнителя, количества наполнителя и пластификатора. Испытание композиций на абразивную износостойкость проводилось на стенде, позволяющем получать различную скорость движения образца относительно абразива, различную удельную нагрузку, разную степень закрепления абразива, менять направление движения (угол атаки) частиц абразива. Все это максимально приближало условия испытаний к реальным условиям работы оснастки.

### III. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

#### § I. Основы расчета оптимальных размеров конструктивных элементов модельной оснастки, обеспечивающих ее жесткость.

При изготовлении моделей и стержневых ящиков из полимеров стоимость материала играет первостепенное значение, поэтому оснастку, за исключением малогабаритной (менее 100 мм) делают легкой, ужесточая ее ребрами. Для исследования нами выбрана односторонняя модель для детали типа плита, как работающая в наиболее тяжелых условиях.

Расчет включает определение оптимальной толщины горизонтальной стенки модели  $h$  в зависимости от расстояния между ребрами  $e$  (фиг. I).

Толщина ребер и вертикальных стенок принимается такой же как у горизонтально расположенных стенок, так как вертикально расположенные стенки, даже при минимально допустимой по технологическим соображениям толщине  $h = 5$  мм и создаваемой формовочным составом максимальной нагрузке до  $25 \text{ кг/см}^2$  имеют, как показал опыт, достаточный запас прочности (предел прочности на сжатие полиметилметакрилата  $\sigma_{сж} = 1200 + 1600 \text{ кг/см}^2$ ), а изгибающие напряжения, возникающие в вертикальной стенке, судя по работам НИИЛИТМАША, в 2-3 раза меньше, чем в горизонтальной. Руководствуясь данными лаборатории динамической прочности деталей машин института машиноведения АН СССР о влиянии скорости нагружения на модуль упругости, принято вести расчет оснастки для статического нагружения, поскольку статический модуль упругости меньше динамического. Установлено, что для пластмасс, при времени приложения нагрузки в пределах 0,001-0,002 сек. (это время определено по индикаторным диаграммам формовочных машин) динамический модуль упругости на изгиб превышает статический в 1,5 + 1,65 раза. Поэтому расчет при статическом нагружении обеспечит запас жесткости.

Анализ паспортных данных формовочных машин показал, что величина удельных нагрузок на формовочную смесь при формовке прессованием под нормальным давлением не превышает  $2, - 2,5 \text{ кг/см}^2$ .



Приведенный в главе расчет удельных нагрузок, возникающих при формовке встряхиванием, показал, что для небольших формовочных машин удельная нагрузка составляет  $0,6 \text{ кг/см}^2$ , для средних -  $2 \text{ кг/см}^2$ . В связи с тем, что расчет конструктивных элементов модели проведен при допущении, что нагрузка равномерно распределена по горизонтальным расположенным поверхностям модели, свободно опирающимся по контуру на ребра и вертикальные стенки, то полученная толщина  $h$  окажется с большим запасом жесткости, так как в действительности сказывается некоторое защемление стенок.

Для определения величины стрелы прогиба свободно опертой квадратной пластины известно выражение

$$f = \frac{0,087 \ell^4 q}{h^3 E} \quad (1)$$

где  $q$  - удельная нагрузка,  $\text{кг/см}^2$ ;  
 $\ell$  - сторона квадрата, т.е. расстояние между опорами пластины, см;  
 $E$  - статический модуль упругости на изгиб,  $\text{кг/см}^2$ ;  
 $h$  - толщина пластины, см.

В случае применения определенного метода формовки, при данных габаритах и классе точности модели и определенном модельном материале имеем:

$$h^3 = K \ell^4, \quad (2)$$

где  $K = \frac{0,087 q}{f E}$

Выбор соотношения между толщиной стенки  $h$  и расстоянием между ребрами  $\ell$  в соответствии с приведенной закономерностью, обеспечивает необходимую жесткость модельной оснастки:

Из опыта работы известно, пустотелую модель можно изготовить лишь с такими междуреберными промежутками, чтобы высота пустоты не превышала расстояния между ребрами более чем в 2+3,5 раза, в противном случае возможен обрыв болвана из гипса при изготовлении модели.

Зависимость между высотой модели  $H$  и расстоянием между ребрами  $\ell$ , отвечающую требованиям технологичности можно записать как  $H = \alpha \ell$ , где  $\alpha = 2,5$  - коэффициент при изготовлении гипсовой формы.

Одновременному выполнению требования  $H = \alpha \ell$  и условия жесткости отвечают значения  $h_{opt}$  и  $\ell_{opt}$  (фиг. 2), находящиеся на пересечении кривой  $h^3 = K \ell^4$  и прямой  $H = \alpha \ell$ , и зависимость толщины стенки модели  $h$  от высоты модели  $H$  выражается

$$h = \sqrt[3]{K \left(\frac{H}{\alpha}\right)^4} \quad (3)$$

Объем материала модели  $V$  можно определить из выражения:

$$V = A \cdot B \cdot H - V', \quad (4)$$

где  $V' = (H-h)(\ell-h)^2 \frac{(A-h)(B-h)}{\ell^2}$ ,

т.е.  $V = A \cdot B \cdot H - (H-h)(\ell-h)^2 \frac{(A-h)(B-h)}{\ell^2} \quad (5)$

Для определения значений  $h$  и  $\ell$ , при которых вес моделей (а значит и объем материала модели) будет минимальным, построена зависимость объема модели  $V$  от расстояния между ребрами  $\ell$  (фиг. 3) на примере плиты. Из этого графика видно, что с уменьшением расстояния  $\ell$  уменьшается объем  $V$ , т.е. во всем трех условиях - обеспечению жесткости, технологичности и минимального веса будут отвечать значения  $h$  и  $\ell$ , соответствующие пересечению кривой  $h^3 = K \ell^4$  и прямой  $H = \alpha \ell$ . Так как модельщиков интересует соотношение между средним габаритным размером модели в плане  $\frac{A+B}{2}$  и толщиной ее стенки  $h$  (см. фиг. 4), нами по точкам, рассчитанным по предложенному методу (см. формулу 3) для разных значений высоты модели  $H$ , построен график зависимости  $h = f\left(\frac{A+B}{2}\right)$ . На фиг. 4 приведен такой график для композиций полиметилметакрилата для моделей, работающих при удельных нагрузках до  $2,5 \text{ кг/см}^2$  при трех соотношениях между  $H$  и  $\frac{A+B}{2}$ .

## § 2. Взаимодействие модельных материалов с формовочной смесью

Полимерные композиции обладают рядом специфических качеств. Некоторые из них целесообразно использовать с целью улучшения работы модельной оснастки, в частности для облегчения выема модели. Сравнение упругости ряда материалов на приборе УТР Ленин-



градского завода "Металлист" ( по углу отскока стального маятника от образца) показало, что упругость некоторых полимерных композиций выше, чем у металлов. Это позволяет предположить, что при формовке встряхиванием абразивные частицы отскакивают от полимерной модели на таком расстоянии, которое позволяет им, уплотняясь, образуют как бы зазор, облегчающий выем модели.

При формовке прессованием отскока частиц не происходит. Прием, что на заформованную модель действует сила давления  $N_g$  формовочной смеси, равнодействующая сил молекулярного взаимодействия частиц формовочной смеси, влаги и связки с материалом модели  $N_a$ , сила атмосферного давления  $N_e$ , возникающая в результате создания вакуума в микрокарманах и гнездах на поверхности форм, а также сила возникающая благодаря электризации поверхности модели в результате трения частиц смеси. Последней силой можно пренебречь, так как при незначительной скорости движения смеси по поверхности модели ( 2+ 4 м/сек), по литературным данным, величина возникающего электрического потенциала будет очень мала. Эти силы противодействуют выемке модели и определяют величину силы трения  $F$ :

$$F = \mu (N_g + N_a + cN_e) + \delta \frac{\mu}{r} N_g, \quad (6)$$

где  $\mu$  - коэффициент трения скольжения,  $\mu = \varphi(\mu_1, \mu_2, \mu_3)$ ;  
 $\mu_1$  - коэффициент, учитывающий влияние шероховатости поверхности ( величины микронеровностей) на силу трения;  
 $\mu_2$  - коэффициент, учитывающий влияние площади истинного контакта трущихся поверхностей на силу трения;  
 $\mu_3$  - коэффициент, учитывающий влияние формы и величины микрокарманов, создаваемых на поверхности трущихся тел на силу трения;  
 $c$  - коэффициент, учитывающий степень подсоса воздуха в микрокарманы и углубления смеси в полость формы с образовавшимся вакуумом в зависимости от величины сдвигающего усилия и состава смеси;

$\delta$  - коэффициент, определяющий степень участия частиц смеси в процессе качения в зависимости от материала модели, размера частиц формовочной смеси и т.д.;

$\mu$  - коэффициент трения качения частиц формовочного состава по материалу модели;

$r$  - средний радиус частицы формовочной смеси.

Первые три члена зависимости (6) обусловлены скольжением формовочной смеси по поверхности модели, четвертый обусловлен качением частиц смеси. Для уменьшения силы трения  $F$  и облегчения выемки модели, необходимо подобрать материал с незначительной силой адгезии к формовочной смеси, но с таким коэффициентом трения скольжения  $\mu$ , при котором песчинки будут перекашиваться и скольжение в значительной мере перейдет в качение.

Коэффициент трения, полученный как отношение суммы сил трения скольжения и качения к нормальному давлению, приложенному к трущейся паре мы назвали суммарным коэффициентом трения  $\mu'$ .

Уменьшение смачивания и прилипания смесей к модели можно обеспечить за счет соответствующей обработки ее поверхности.

Для обеспечения выемки модели из формы без разрушения ее поверхности необходимо иметь величину разрушающей удельной нагрузки, вызванной адгезией и силой трения меньшей, чем предел прочности формовочного состава при соответствующем виде деформации.

### § 3. Предпосылки для создания композиций на основе полиметилметакрилата с повышенной удельной ударной вязкостью.

Анализ отечественных и зарубежных исследований показал, что при введении твердого наполнителя в неполимеризованный мономер, на границе твердого тела и жидкости, возникает электрический потенциал, величина которого зависит от поверхностной энергии наполнителя и определяет степень упорядоченности прилегающих слоев полимеризующего мономера и толщину ориентируемого слоя. В зависимости от дисперсности наполнителя меняется площадь взаимодействующей поверхности, а следовательно и количество ориентируемых молекул.



Можно предположить, что образующийся электрический потенциал влияет на скорость проникновения атомов адсорбирующегося мономера вглубь адсорбента-наполнителя. Проникновение мономера в решетку наполнителя ( точнее в дефекты решетки) влияет на укрепление скотены.

Поскольку основной силой, структурирующей наполненный полимер в процессе полимеризации, является величина поверхностной энергии твердого тела наполнителя, то, сравнив численные значения поверхностной энергии разных наполнителей, можно предсказывать прочностные свойства наполненных полимеров, которые в свою очередь зависят и от объемных прочностных свойств самих наполнителей.

Работы, проведенные школой академика Ребиндера, говорят о том, что оптимальными являются частицы наполнителя, измельченные до размера  $1,5 + 2,0$  мк, а наилучших физико-механических показателей можно добиться при введении на 100 весовых частей смолы или мономера  $80 + 150$  весовых частей наполнителя. В случае применения полимер-мономерной смеси хорошие результаты получаются при введении на 100 весовых частей смеси  $30 + 80$  весовых частей наполнителя.

§ 4. Анализ факторов, определяющих сохранность формы и размеров полимерной модельной оснастки в процессе изготовления и эксплуатации.

Размерная точность модельной оснастки определяется точностью изготовления промодели, наличием коробления, набухания и усушки промодели, изменением размеров форм, неправильного подсчета усадки, неодинаковостью усадки материала, связанной с технологическими и конструктивными факторами, неточностью монтажа моделей на подмодельной плите; а при эксплуатации - кроме того старением материала, водопоглощением, маслопоглощением, температурными изменениями, износом.

В работе исследованы факторы, определяющие точность отливок, зависящих от свойств материала модели, таких как усадка материала, старение, водомаслопоглощение, температурные изменения, износ. Показатели старения, водомаслопоглощения и температурных изменений приводятся в литературе и нами использованы для сравнительного анализа.

Исследования показали, что температурные изменения, практически не сказываются на размерной точности оснастки. Применяемые смеси на основе полиметилметакрилата и эпоксидной смолы при нагреве до  $45^{\circ}\text{C}$  изменяют свои линейные размеры лишь на  $0,03 + 0,04\%$ . Применение минеральных наполнителей может снизить эти изменения до  $0,01\%$ .

Водо- и маслопоглощение обуславливает сохранение размерной точности оснастки, так как изменение размеров происходит в сторону их увеличения, что частично компенсирует износ и уменьшение размеров вследствие старения.

Увеличение размеров моделей из эпоксидных компаундов от водомаслопоглощения в течении 5000 часов составляет около  $0,6 + 0,8\%$ , а из полиметилметакрилата  $0,9 + 1,2\%$ .

Уменьшение размеров вследствие старения материала в течении 5000 часов составляет для композиций на основе эпоксидной смолы около  $0,62\%$ , для полиметилметакрилата -  $0,30\%$ .

Величина усадки модельных композиций на основе эпоксидных смол колеблется в пределах  $1,4 + 2,5\%$  в зависимости от материала и количества наполнителя, пластификации и условий полимеризации. Материал наполнителя оказывает влияние на величину усадки, причем у композиций с наполнителями, обладающими высокой поверхностной энергией, т.е. значительными структурирующими свойствами, величина усадки значительно меньше.

Для экспериментальной проверки были использованы композиции с наполнителем каолином, имеющим значительные структурирующие свойства.

Количество наполнителя также оказывает заметное влияние на величину усадки. Например, усадка эпоксидных компаундов уменьшается с  $2\%$  до  $1,2\%$  при увеличении наполнения с 10 до 60 весовых частей наполнителя на 100 вес. частей смолы.

Основными факторами, определяющими процесс износа модельной оснастки, являются: степень закрепления зерен абразива в соприкасающемся с поверхностью модели или стержневого ящика слое формочной смеси, коэффициент трения между частицами абразива и материалом оснастки, а также величина зерен.



Нами высказано предположение, что модельные материалы с достаточно высоким коэффициентом трения скольжения по формовочному составу будут изнашиваться меньше, чем при меньшем коэффициенте трения. Это объясняется возможностью перехода скольжения в качение массы абразива в прилегающем к поверхности оснастки пограничном слое формовочного состава.

В связи с этим можно считать, что хорошей стойкостью к абразивному износу будет обладать полиметилметакрилат и полиуретан, в особенности последний, так как его поверхностные свойства близки к свойствам резины (коэффициент трения скольжения пары полиуретан - формовочная смесь относительно высок - 0,75 - 0,8). Это подтверждается нашими опытами.

#### IV. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальные исследования были проведены с целью уточнения и проверки предпосылок, выдвинутых в теоретическом исследовании и позволили определить: статический и динамический модули упругости при изгибе двух полимерных композиций; величину стрелы прогиба стенки модельного элемента; коэффициент трения между формовочным составом и материалом модельной оснастки и дать на этой основе рекомендации по выбору уклонов; влияние наполнения и пластификации полимерных композиций на величину их удельной ударной вязкости; величину усадки полимерных модельных составов и их износостойкость.

#### § I. Экспериментальные работы по уточнению теоретического расчета модельной оснастки на жесткость.

Работа включала определение численного значения статического и динамического модуля упругости при изгибе образцов, применяемых нами композиций, и проверке величины стрелы прогиба полимерной оснастки, выполненной в соответствии с предложенными нами расчетами. Статический и динамический модуль упругости при изгибе (таблица I), определяли по методике и на стендах института машиноведения АН СССР.

Проверка модельной оснастки на жесткость проводилась на стенде по разработанной нами методике. Принято, что любая модель может быть рассмотрена как сочетание элементарных частей, ограниченных стенками и ребрами жесткости.

Таблица I.

№ пп	Материал	Статический	Динамический
		модуль упругости на изгиб	модуль упругости на изгиб
		кг/см <sup>2</sup>	кг/см <sup>2</sup>
1.	Полиметилметакрилат	$3 \times 10^4$	$4,2 \times 10^4$
2.	Полиметилметакрилат, наполненный 120 вес. частями кварца и пластифицированный 15 вес. частями дибутилфталата на 100 вес. частей связующего	$5 \times 10^4$	$6,3 \times 10^4$
3.	Стеклопластики на основе полиэфирной смолы ПН-1, наполненной 50 вес. частями каолина на 100 вес. частей связующего	$19 \times 10^4$	$23 \times 10^4$

Поэтому для проверки величины стрелы прогиба нами взята элементарная модель - модель плиты с расчетной толщиной стенки без промежуточных ребер жесткости.

Проверка предложенной нами методики расчета модельной оснастки на жесткость сводится к измерению искажений размеров оснастки, вносимых воздействием нагрузок, возникающих при формовке.

Из известных трех способов замера деформации - непосредственного замера величины прогиба модельного элемента, замера отпечатка деформированной модели в форме и замера искажения геометрии отливки выбран первый.

Этот выбор обусловлен тем, что при таком способе на величину замера не влияют такие факторы, как остаточная деформация формовочной смеси, усадка металла и т.д.

Для определения величины фактической стрелы прогиба горизонтальной стенки модельного элемента нами создано приспособление (стенд) к разрывной машине УММ-5 (фиг. 5). Так как конструкция машины позволяет осуществлять сжатие, то приспособление устанавливается непосредственно на подвижные зажимы машины I.

На основании приспособления 2, в которое вмонтирован индикатор 4, устанавливается и закрепляется модельный элемент 3 и опора 5, в которую насыпается песок или формовочная смесь 6 для получения реального распределения нагрузок. Колодкой 7 осуществляется прессование в соответствии с расчетными данными. Нагружение осуществлялось до  $2,5 \text{ кг/см}^2$  со скоростью  $5 \text{ кг/см}^2$  в мин. с последующей выдержкой 2 минуты. Все опыты проведены в 4-х кратной повторности.



Экспериментальные исследования показали, что величина фактической стрелы прогиба близка к расчетной (таблица 2).

Поскольку величина фактической стрелы прогиба, как и расчетной, меньше поля допуска на размер отливки по высоте, то при возникающих стрелах прогиба можно получить годные отливки, что подтверждено изготовлением опытных деталей.

§ 2. Опытная проверка взаимодействия пары модель-формовочная смесь (Определение коэффициента трения).

Одним из важных конструктивных элементов модельной оснастки являются формовочные уклоны, которые делаются для облегчения выема модели из формовочной смеси не нарушая целостности поверхности формы и для бездефектного выема стержня из стержневого ящика.

Разрушение поверхности формы может произойти тогда, когда напряжения сдвига в материале формы, обусловленные силой трения между моделью и поверхностью формы, будут выше предела прочности на сдвиг этого формовочного материала.

Исходя из тех соображений, что формовочный уклон должен быть тем больше, чем больше сила трения и, соответственно, возможность сдвига в материале формы нами составлена зависимость:

$$\cos \alpha_n = \cos \alpha_a \frac{\mu'_n}{\mu'_a}, \quad (7)$$

где  $\alpha_n$  - угол в градусах уклона стенок по отношению к направлению движения формы, относительно модели для моделей из полимерного материала;

$\alpha_a$  - то же для алюминиевых моделей;

$\mu'_n$  - суммарный коэффициент трения между формовочным составом и моделью из полимерного материала;

$\mu'_a$  - то же для алюминиевых моделей.

С целью разработки рекомендаций по выбору формовочных уклонов нами проведены эксперименты по определению суммарных коэффициентов трения и по выбору полимерных модельных материалов с минимальными коэффициентами трения.

Таблица 2

№ пп	Высота модели H (см)	Расстояние между стенками модели l (см)	Толщина стенки модели h (см)	Удельная нагрузка q (кг/см <sup>2</sup> )	Поле допуска на разливку по ГОСТ 1855-55 f (см)	Стрела прогиба факт. f <sub>1</sub> (см)	Стрела прогиба расчетная f <sub>2</sub> (см)	Коэффициент соответствия m = f <sub>1</sub> /f <sub>2</sub>
1.	20	20	2,2	2,5	0,12	0,068	0,063	1,08
2.	20	20	2,2	5,0	0,12	0,108	0,115	0,93
3.	8	12	1,6	2,5	0,06	0,038	0,036	1,06
4.	20	26	2,5	2,5	0,16	0,138	0,130	1,06

Для определения коэффициентов трения нами был разработан стенд (фиг. 6). Стенд имеет плиту 2, которая выставляется в горизонтальной плоскости при помощи ножек 1. При вращении винта 3 в гайке 4, укрепленной в кронштейне 5, передвигается угольник 7 по направляющей 6. Положение угольника отмечается по шкале, нанесенной на направляющую 6. Угольник 7 приподнимает и опускает при своем движении подвижную направляющую 8, на которой укреплен в кронштейне 10 ролик 11, положение кронштейна фиксируется винтом 12. Через ролик 11 проходит нить 13 от образца 14 к емкости 15, в которую засыпается дробь. На подвижной направляющей 8 крепится либо опoka 9 (I), либо подложка 9 (II). Формовочная смесь или набивается в опoku, или наносится на подложку. При нанесении на подложку смесь закрепляется эпоксидной смолой, предварительно нанесенной на поверхность подложки. После отверждения смолы избытки смеси счищаются.

Начало сдвига образца определялось визуально. Для обеспечения одинаковых условий опыта перед каждым замером менялся верхний слой смеси. Для каждого образца при заданном составе смеси и величины нагрузки эксперимент проводился четырекратно.

Эксперименты по определению коэффициента трения проводились при удельных давлениях 0,85 кг/см<sup>2</sup> и 3,0 кг/см<sup>2</sup>, влажности 1,5%, 4%, 5%, и 9% с использованием глинистого связующего, и на



масляном связующем. Гранулометрический состав песка формовочной смеси принимался со средним размером частиц 0,16 и 0,135 мм.

С целью выяснения роли подсоса воздуха на уменьшение прикипавшего образца модельного материала к формовочной смеси, обусловленного вакуумом, который может образоваться в микрокарманах и впадинах на поверхности формы за счет увеличения их объема вследствие упругих свойств смеси, были проведены эксперименты по определению суммарного коэффициента трения, когда на образец воздействовал опрокидывающий момент, стремящийся оторвать задний (по ходу движения) край образца. Для этого суммарный коэффициент трения для каждого образца определялся на горизонтальной плоскости (без воздействия опрокидывающего момента) и на наклонной плоскости (с воздействием опрокидывающего момента).

Проведенные эксперименты показали, что наличие опрокидывающего момента снижает величину суммарного коэффициента трения несмотря на то, что стремление передней кромки образца под действием этого момента врезаться в формовочную смесь должно было бы привести к увеличению сопротивления сдвигающей силе и определяемый суммарный коэффициент трения должен был возрасти. Так, для алюминиевого сплава и формовочной смеси на глинистом связующем с влажностью 4% и средним диаметром частиц 0,315, суммарный коэффициент трения составляет 0,55, а при наличии опрокидывающего момента  $3 \cdot 10^{-4}$  кгм - 0,46. (удельная нагрузка на образец  $20 \text{ г/см}^2$ ); для композиции на эпоксидной смоле суммарный коэффициент трения - 0,54, а при наличии опрокидывающего момента  $2 \cdot 10^{-4}$  кгм - 0,51. (удельная нагрузка та же)

Таким образом, для облегчения выема модели из формы нужно уменьшить возможность образования вакуума, что можно осуществить увеличением газопроницаемости формовочной смеси.

Сравнение величины коэффициента трения скольжения по закрепленному абразиву с суммарным коэффициентом трения по незакрепленному абразиву  $\mu'$  подтверждает (таблица 3) наше предположение о создании катящегося пограничного слоя, причем, композиции с более высоким коэффициентом трения скольжения приобретают суммарный коэффициент трения скольжения и качения значительно меньший, чем у материалов с низким коэффициентом трения скольжения.

Таблица 3

№ пп	Материал образца	Коэффициент трения покоя пары-формовочная смесь - образец	
		коэффициент трения скольжения $\mu$	коэф. трения суммарн. $\mu'$
		формовочная смесь закрепленная	формовочная смесь не закрепленная
1.	Наполненная эпоксидная смола	0,59	0,53
2.	Акриловая композиция	0,66	0,39
3.	Алюминиевый сплав	0,61	0,50
4.	Резина	0,77	0,52
5.	Полиэфирная смола ПН-1	0,55	0,54

Примечание: 1. нагрузка  $0,85 \text{ кг/см}^2$ ;

2. формовочная смесь на глинистом связующем с влажностью 4% и диаметром частиц 0,315 мм.

Для правильного выбора полимерного модельного материала и анализа механизма движения частиц поверхности формовочной смеси по поверхности модели были определены для каждого модельного материала суммарный коэффициент трения и коэффициент трения скольжения

Суммарный коэффициент трения увеличивается с уменьшением диаметра частиц формовочной смеси. При диаметре частиц 0,16 мм (в смеси на глинистом связующем при влажности 4%) коэффициент трения для акриловой композиции при нагрузке  $0,85 \text{ кг/см}^2$  составляет 0,41, а при диаметре частиц 0,315 составляет 0,39. Суммарный коэффициент трения увеличивается при применении масляного связующего. Например, для образцов из акриловой композиции и формовочной смеси на глинистом связующем с влажностью 4% и средним диаметром частиц 0,315 при нагрузке  $0,85 \text{ кг/см}^2$  суммарный коэффициент трения составляет 0,39, а для масляного связующего при том же диаметре частиц составляет 0,41.



Зависимость суммарного коэффициента трения от гранулометрического состава образцов подтверждает необходимость учета ка- чения пограничного слоя частиц, так как с увеличением радиуса песчинок коэффициент трения уменьшается. Зная численное значение коэффициента трения для алюминиевого сплава и акриловой компо- зиции, подсчитаем величину рекомендуемых формовочных уклонов для акриловых композиций по предложенной зависимости (7):

Формовочные уклоны для моделей из алюминиевых сплавов по ГОСТ 3212-57; формовочные уклоны для полимерных моделей расчи- таны по формуле (7) и представлены в таблице 4.

Таблица 4

Измеряемая высота поверхности модели	Угол формовочного ук- лона моделей (выступов и наружн. поверхностей)		Угол формовочного ук- лона болванов (впадин и углублений на модели)	
	металлич. по ГОСТ 3212-57	пластмассо-вая акрило-вая композиц.	металлическ. по ГОСТ 3212-57	пластмассовая акриловая композиция
№ 20	1°30'	1°	3°	2°15'
2I-50	1°	0°45'	2°	1°30'
5I-100	0°45'	0°30'	1°	0°45'
100-200	0°30'	0°20'	0°45'	0°30'
20I-300	0°3'	0°20'	0°45'	0°30'
30I-500	0°20'	0°15'	0°30'	0°20'
50I-800	0°20'	0°15'	0°30'	0°20'

§ 3. Определение возможности создания полимерной композиции на основе полиметилметакрилата с по- вышенной удельной ударной вязкости.

Партия модельной оснастки в количестве 300 единиц изготов- лена с формовочными уклонами в соответствии с рекомендациями и показала хорошее качество получаемых форм, отсутствием рванин и обрывов при эксплуатации в течение более 3-х лет.

Для определения влияния наполнения и пластификации на по- вышение удельной ударной вязкости акрилатных композиций были изготовлены образцы размером 10 x 15 x 120 мм из следующих ком- позитив:

- а) полимер-мономерные композиции полиметилметакрилата, пластифицированные дибутилфталатом с наполнением маршалитом;
- б) полимер-мономерные композиции полиметилметакрилата, пла- стифицированные дибутилфталатом с наполнением медным порошком;
- в) форполимерные композиции-метилметакрилата пластифициро- ванные дибутилфталатом;
- г) форполимерные композиции, наполненные маршалитом;
- д) форполимерные композиции, наполненные вулканизаторной мукой.

Образцы изготавливались по разработанной нами методике. Предусматривалась очистка всех исходных материалов, отгоняются летучие из пластификатора; мономер метилметакрилата очищается от ингибитора гидрохинона; полиметилметакрилат просушивается в вакуум-сушильном шкафу при температуре 60°C в течение трех часов и просеивается; наполнитель минеральный (маршалит, каолин) прокаливается при температуре 400°C в течение одного часа, ме- таллический порошок применяется непосредственно после вскрытия тары и подсушки при температуре 70-80°C в течение одного часа.

Для получения стабильных во времени свойств пластифике- тора у последнего отгоняются летучие путем длительного нагрева в течение 40 часов до температуры 60-70°C в вакуум-сушильном шкафу.

Навески, согласно программе, взвешиваются с точностью до 10 мг в специальной посуде.

В случае приготовления композиции на основе форполимера метилметакрилата последний готовится на водяной бане по сле- дующей технологии:

Для приготовления композиции 100 вес. частей метилового эфира метакриловой кислоты, предварительно очищенного от инги- битора (гидрохинона), смешиваются с 0,5 вес. частей перекиси бензоила и 1 вес. частью диметиланилина. Смесь в негерметически закрытой посуде нагревается до температуры 90-95°C и выдержи- вается при этой температуре до образования консистенции сиропа, после чего охлаждается. Продолжительность варки - 1,5 - 2 часа. Вязкость охлажденной киселеобразной смеси - 310-330 сст при температуре окружающей среды 20-22°C. Срок хранения сиропа 4-5 суток. В изготовленную смесь добавляют 1 весовую часть димети- анилина, перемешивают, затем добавляют 2,0-2,5 вес. частей перекиси бензоила, дибутилфталат и наполнитель по рецептуре композиции, и все это перемешивают. Полученную массу выдержи- вают в течение 15-20 мин. вымешивают, закладывают в форму и



оставляют до полного отверждения при температуре 25-30°C. Жизнеспособность композиции 25-30 минут.

Замес композиции проводится вручную в течение 20 мин., причем предварительно проводится смешение мономера с пластификатором и полимера с наполнителем в течение 10 минут.

Запрессовка в формы проводится после смазки последних разделительным составом. Удельное давление запрессовки - 2,3-2,5 кг/см<sup>2</sup>.

Полимеризация проводится при температуре 90 ± 10°C в течение 24 часов.

Несмотря на тщательное соблюдение технологии, наблюдается разброс в показателях в пределах 15-18%, являющийся, очевидно, результатом несовершенного смешивания, а также возможным разбросом температуры полимеризации.

Испытания образцов на удельную ударную вязкость производились по ГОСТ 4647-62. Лучшие результаты, как и предсказывалось в теоретической части, показали композиции с мелкодисперсным активным структурирующим наполнителем каолином при наполнении 80 - 120 вес. частями на 100 вес. частей мономера и пластификации 10 вес. частями дибутилфталата (фиг. 7). Удельная ударная вязкость такой композиции составляет 22 ± 25 кгсм/см<sup>2</sup>.

На полимер-мономерной композиции лучшие результаты были получены при наполнении медным порошком в количестве 50 вес. частей на 100 вес. частей полимера и пластификации 30 вес. частей дибутилфталата (фиг. 8). При этом удельная ударная вязкость составляет 20 ± 22 кгсм/см<sup>2</sup>. Применение в форполимерных композициях наполнителей с меньшей поверхностной энергией показало, что удельная ударная вязкость повышается незначительно и не превышает 7 ± 8 кгсм/см<sup>2</sup>.

#### § 4. Проверка влияния состава полимерной композиции на усадку в процессе изготовления и абразивную стойкость в эксплуатации.

Для определения усадки полимерных композиций в зависимости от соотношения мономера, полимера, наполнителя и пластификатора, а также от технологических факторов, были исследованы 10 композиций на эпоксидной смоле и 10 композиций на основе метилметакрилата (Таблица 5). Отверждение проводилось в форме 15 x 10 x 120мм

с подвижным вкладышем вместо одной из стенок 10 x 15 мм. Замер проводился каждый час с точностью 0,05 мм. Полимеризация эпоксидной смолы велась при температуре 30°C в течение 48-60 часов. Полимеризация метилметакрилата велась при температуре 80°C в течение 24-28 часов. Результаты эксперимента подтверждали высказанное в теоретических исследованиях предположение, что с увеличением структурирующей активности вводимого наполнителя (его поверхностной энергии) величина усадки будет снижаться (фиг. 9, 10).

Вне зависимости от применяемой полимерной связки, величина усадки композиций располагается в порядке, соответствующем активности наполнителя. Минимальная усадка у композиций с каолином: 0,1 ± 0,2% - у эпоксидных композиций, 0,03 ± 0,06% у композиций полиметилметакрилата; у композиций, наполненных маршалитом, соответственно: 0,4 ± 0,6% - для эпоксидных и 0,15 - 0,18% для акриловых; у композиций с железным порошком: 1,1 ± 1,2% - у эпоксидных смол и 0,18 - 0,20% у акрилатов.

Максимальная усадка у композиций с графитом: для эпоксидных связующих - 1,2 - 1,4%, для акриловых - 0,20 - 0,21%.

Пластификация дибутилфталатом акриловых композиций снижает размер усадки ненаполненных композиций с 0,6 до 0,55%.

Влияние сопротивления формы усадке было проверено заливкой образцов в формы, покрытые разделителем (свободная усадка) и не покрытые разделителем (затрудненная усадка).

Свободная усадка для эпоксидных и акриловых композиций в 1,8 - 2 раза превышает затрудненную.

Определение факторов, влияющих на износ полимерных композиций при работе в абразивной среде проводилось на разработанном нами стенде (фиг. II). Стенд имеет неподвижный стакан I, в котором на вращающемся через передачу 8 от двигателя 9 основании 4 устанавливается образец 2.

Для устранения проникновения формовочной смеси в зазор между стаканом и основанием, на последнее наложена фторопластовая прокладка 3. В стакан I засыпается формовочная смесь или песок 7 и нагружается сверху прижимом 6. Величина нагрузки регулируется грузом. 5. Стенд обеспечивает нагрузку от 0,5 до 2кг/см<sup>2</sup> и



скорость движения образца относительно формовочной смеси от 0,5 до 4,5 м/сек. Для определения влияния угла атаки абразива на величину износа образец изготавливается со скосом (см. фиг. II). Для исключения износа боковых поверхностей образцов устанавливается в стальную обойму с аналогичным скосом.

Величина износа  $V$  оценивается по отношению изменения высоты образца  $\Delta h$  (мм) к пути трения  $L$  (м), но так как износ образца неравномерен, мы износ оцениваем по отношению изменения объема образца, отнесенного к площади образца и пути трения.

$$V = \frac{\Delta h}{L} = \frac{\Delta m}{\gamma S L} ; \text{ или } V = \frac{\Delta V'}{S L} \text{ (мм}^3/\text{см}^2\text{м)}$$

где  $S = \frac{\pi d^2}{4}$  - площадь поперечного сечения (см<sup>2</sup>);  
 $\Delta m$  - изменение веса образца (мг);  
 $\gamma$  - удельный вес (мг/мм<sup>3</sup>);  
 $\Delta V'$  - изменение объема образца (мм<sup>3</sup>).

В последованиях принят образец с размерами:  $a = 10$  мм и  $h = 8$  мм, скорость  $v = 3,8$  м/сек и удельное давление  $q = 1,5$  кг/см<sup>2</sup> (как наиболее часто встречающееся при формовке).

Материал наполнителя и связки оказывает существенное влияние на величину износа. Наименьший износ порядка  $1,8 \cdot 10^{-8} \frac{\text{мм}^3}{\text{см}^2\text{м}}$

имеет композиция с 80 вес. частями кварца на 100 вес. частей метилметакрилата (мономера) и 180 вес. частей полиметилметакрилата, несколько больший износ порядка  $6,5 \times 10^{-8} \frac{\text{мм}^3}{\text{см}^2\text{м}}$  имеют

акрилатные композиции с графитовым наполнением, износ порядка  $8,8 \times 10^{-8} \frac{\text{мм}^3}{\text{см}^2\text{м}}$  имеют акрилатные композиции с железным по-

рошком и самый значительный износ порядка  $18,6 \times 10^{-8} \frac{\text{мм}^3}{\text{см}^2\text{м}}$  имеют

акрилатные композиции с маршалитом.

Износ композиций на эпоксидных смолах в 2+ 2,2 раза больше, чем акрилатных, что объясняется более высоким суммарным коэффициентом трения и повышенным проскальзыванием частиц абразива. Пластификация дибутилфталатом повышает износ в 1,1-1,2 раза.

Таблица 5

Составы полимерных композиций для определения величины износа

№ пп	Наименование полимерной связки	К-во связки в вес. частях	Пластикатор в вес. частях	Маршалит в вес. частях	Кволин в вес. частях	Графит в вес. частях	Железный порошок в весовых частях
1	2	3	4	5	6	7	8
I.	Эпоксидная смола ЭД-6	100	-	-	-	-	-
2.	"	"	20	-	-	-	-
3.	"	100	20	100	-	-	-
4.	"	"	"	150	-	-	-
5.	"	"	"	200	-	-	-
6.	"	"	"	-	100	-	-
7.	"	"	"	-	-	100	-
8.	"	"	"	-	-	200	-
9.	"	"	"	-	-	-	200
10.	"	"	"	-	10	-	200
II.	Полиметилметакрилат мономер полимер	100 180	-	-	-	-	-
12.	"	"	30	-	-	-	-
13.	"	"	30	80	-	-	-
14.	"	"	30	-	80	-	-
15.	"	"	30	-	-	80	-
16.	"	"	30	-	-	-	80
17.	"	"	10	80	-	-	-
18.	"	"	10	-	80	-	-
19.	"	"	10	-	-	80	-
20.	"	"	10	-	-	-	80



Для определения влияния скорости движения абразива были проведены эксперименты на образцах из эпоксидных и акриловых композициях при нагрузках 0,5 ; 1,0 и 1,5 кг/см<sup>2</sup>.

Во всех случаях увеличение скорости движения абразива относительно образца до 2 м/сек повышает износ, а дальнейшее повышение скорости до 4,5 м/сек не дает заметного роста изменения износа. Для определения влияния нагрузки на износ применялись две нагрузки 0,5 и 2 кг/см<sup>2</sup>. Увеличение нагрузки приводит к повышению износа: если при нагрузке 0,5 кг/см<sup>2</sup> и скорости 3,8 м/сек износ акрилатной композиции составлял  $8 \cdot 10^{-8} \frac{\text{мм}^3}{\text{см}^2 \cdot \text{м}}$ , то при нагрузке 2 кг/см<sup>2</sup> и той же скорости износ составил  $19 \cdot 10^{-8} \frac{\text{мм}^3}{\text{см}^2 \cdot \text{м}}$ . Увеличение угла атаки аб-

разива до 75° повышает износ акрилатной композиции примерно в 5 раз с  $8 \cdot 10^{-8} \frac{\text{мм}^3}{\text{см}^2 \cdot \text{м}}$  (для акрилатной) до  $48 \cdot 10^{-8} \frac{\text{мм}^3}{\text{см}^2 \cdot \text{м}}$  (для эпоксидной композиции).

Для правильной оценки экономической целесообразности применения модельной оснастки из пластмассы и определения области эффективного применения той или иной композиции мы проанализировали трудоемкость изготовления моделей и стержневых ящиков, расход вспомогательных и основных материалов. Так как основным фактором определяющим трудоемкость изготовления и себестоимость оснастки является сложность конфигурации и габаритный объем мы произвели классификацию оснастки. Так, например, для моделей.

Перспективным материалом, с точки зрения высокой износостойкости, являются полимеры типа резин - полиуретаны, т.к. износ резины при нагрузке 1,5 кг/см<sup>2</sup> и скорости 3,8 м/сек составляет всего  $0,47 \cdot 10^{-8} \frac{\text{мм}^3}{\text{см}^2 \cdot \text{м}}$ . В случае применения акри-

латных композиций мы рекомендуем в качестве наполнителя применять каолин, хорошо структурирующий композицию и повышающий ее абразивную стойкость.

#### У. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Определено семь групп сложности:

I группа - неразъемные модели с прямолинейными очертаниями: крышки плоские и прямоугольные, рычаги простые, угольники, кронштейны и т.п.

II группа - модели разъемные с прямолинейными очертаниями поверхности и неразъемные, точеные, простой конфигурации, втулки, вкладыши, простые крышки, корпуса подшипников, плиты и т.п.

III группа - модели разъемные и неразъемные с криволинейными очертаниями поверхности в одной плоскости, состоящими из сопряжений радиусных кривых с прямыми: шкивы, бегуны, канатные блоки корпуса и крышки подшипников, корпуса редукторов и т.п.

IV группа - модели разъемные с криволинейными очертаниями в разных плоскостях, состоящими из сопряжений нескольких радиусных кривых поверхностей: маховики, зубчатые колеса с изогнутыми или двумя рядами спиц, буксы, корпуса вентиляторов и насосов и т.п.

V группа - модели разъемные с криволинейными поверхностями, точеные по шаблону с последующей подгонкой и установкой ребер охлаждения: цилиндры, ребристые муфты, шкивы, тормозные колодки и т.п.

VI группа - модели разъемные сложной конфигурации с криволинейными поверхностями в разных плоскостях, требующие изготовления по шаблонам: корпуса, рабочие лопатки турбины, коллекторы, шестерни с литым зубом и т.п.

VII группа - особо сложные модели со многими криволинейными поверхностями, состоящими из локальных кривых, с отъемными частями.

При определении трудоемкости и себестоимости, кроме сложности конфигурации, учитывались габаритные размеры оснастки (объемы в каждой группе сложности). Нами рассмотрена оснастка с габаритными объемами от I до 100 дм<sup>3</sup>.

Разряд модельщика, требуемый для выполнения работ и изготовления металломоделей, принят 3,2, исходя из литературных данных, для полимерных моделей - 4,4. Данные по трудоемкости изготовления металломоделей взяты также из литературных данных, для полимерных моделей - из опыта работы ГПКТМ.



Графически изобразив (фиг.12) величины себестоимости модели в рублях для каждого материала по конкретной группе сложности и объему модели, можно наглядно представить область рентабельного применения каждой полимерной композиции.

Анализ графика показывает, что целесообразная область применения эпоксиластов модели УІ + УІІ группы сложности; акрилатных полимер-мономерных композиций - ІУ + УІ группы сложности и форполимерных акрилатных композиций - І + ІУ группы сложности.

Сравнивая себестоимости металлических и пластмассовых моделей разных групп сложности, мы определили, что себестоимость полимерной модели ІУ группы сложности на 100-110 руб. ниже такой же металлической модели.

Рекомендации по материалам и технологии изготовления, данные в данном исследовании, легли в основу типового проекта специализированного цеха по производству полимерной модельной оснастки. Расчет показал, что себестоимость моделей из полиметилметакрилата на тонну литья в 2 раза, а капитальные затраты на тысячу рублей продукции в 3 раза ниже, чем у металлических.

Годовая экономия от применения моделей из полиметилметакрилата составит 580 руб. на каждые 100 тонн литья.

Внедрение по рекомендациям настоящей работы на заводах тракторного и сельскохозяйственного машиностроения СССР более 2000 единиц модельной оснастки из форполимера метилметакрилата дало в 1967 году экономический эффект более 50 тыс. руб.

#### ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования свойств полимерных модельных композиций, а также конструктивных и технологических особенностей изготовления моделей и стержневых ящиков позволяют сделать следующие выводы и предложения:

1. Полимеры являются полноценным по физико-механическим показателям и экономически выгодным заменителем металлов при изготовлении моделей и стержневых ящиков для литья.

2. Предложена методика расчета конструктивных элементов полимерной модельной оснастки, которая позволяет выбрать размеры расстояния между ребрами и толщину стенки, исходя из соблюдения условий жесткости оснастки, технологичности ее изготовления и минимального расхода полимерного материала.

Экономически и технически целесообразными для использования в производстве являются следующие полимеры:

а/ для моделей І + ІУ группы сложности - наполненный и пластифицированный форполимер метилметакрилата ( авторское свидетельство № 154003 на имя Л.В. Вайсера и А.Р. Чудновского);

б/ для моделей ІУ + УІ группы сложности-наполненный и пластифицированный полиметилметакрилат ( авторское свидетельство № 129299 на имя Л.В. Вайсера и А.Р. Чудновского );

в/ для моделей УІ + УІІ группы сложности - стеклопластики на основе эпоксидных и полиэфирных смол с пластифицированными смесями ( авторское свидетельство № 202507 на имя Л.В. Вайсера и А.Р. Чудновского);

г/ для моделей точного литья - оболочковые модели из полистирола и других полимеров ( авторское свидетельство № 206813 на имя Л.В. Вайсера и др.);

д/ для прессформ при изготовлении моделей точного литья из наполненных эпоксидных смол ( авторское свидетельство № 169252 на имя Л.В. Вайсера и др.).

3. Рекомендуются для каждого модельного материала определенные формовочные уклоны, в частности, для оснастки из полиметилметакрилата в 1,5 раза меньше, чем для металлической.

4. Для моделей и стержневых ящиков из полиметилметакрилата рекомендуется, с целью повышения точности и увеличения удельной ударной вязкости в процессе изготовления, в также уменьшения износа во время эксплуатации применять в качестве наполнителя каолин в количестве 80 вес. частей при пластификации дибутилфталатом в размере 10-15 вес. частей на 100 вес. частей мономера и 180 вес. частей полимера.

5. Применение полимерных композиций с высоким коэффициентом трения скольжения для пары модель-формовочная смесь, например, на основе полиуретана ( авторское свидетельство № 212461 на имя Л.В. Вайсера и др.) пластифицированного форполимера метилметакрилата или пластифицированного полиметилметакрилата позволяет резко повысить износостойкость модельной оснастки за счет образования пограничного слоя формовочной смеси с перекрывающимися во время формовки частицами.



6. Внедренная на заводах тракторного и сельскохозяйственного машиностроения оснастка в количестве более 2000 ед. успешно эксплуатируется в течение 3-5 лет, показывая хорошую формуемость при наличии уменьшенных против металлической оснастки формовочных уклонов.

При этом не наблюдалось ухудшения удельной ударной вязкости и размерной точности от воздействия эксплуатационных факторов.

7. Экономический эффект от внедрения пластифицированных акрилатных композиций на участке ГПКТМ составил в 1967 году около 50 тыс. рублей.

8. Рекомендуются создание специализированных цехов для производства полимерной модельной оснастки из предложенных композиций по рекомендуемой технологии мощностью 1000-2500 комплектов в год.

По типовым проектам ГПКТМ создан, а на Челябинском тракторном заводе строится участок изготовления полимерной модельной оснастки.

Дальнейшие научно-исследовательские разработки, связанные с улучшением свойств полимерного модельного материала, рекомендуются проводить с композициями на основе полиуретана.

МАТЕРИАЛЫ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ  
В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1. Л.Вайсер, А.Чудновский - Изготовление литейной оснастки из пластмасс, Одесса, ЦБТИ, 1959 г.
2. Л.Вайсер, А.Чудновский - Опыт изготовления пластмассовых моделей, Москва, ПНТО выпуск 17, тема 2, № М-60-221/17,
3. М.Флисфедер, Л.Вайсер, А.Чудновский - Изготовление литейной оснастки из пластмасс, г.Киев, Машиностроение № 1, 1960 г.
4. Л.Вайсер, А.Чудновский - Применение пластифицированного полиметилметакрилата в технологической оснастке.
- Сб. Опыт применения быстротвердеющих пластмасс в машиностроении, Москва, 1960, ПНТО выпуск 11, тема 13, № М-61-277/4, 0,5 п.л.
5. Л.Вайсер и А.Чудновский - Крупногабаритная модель из пластмасс, ЦБТИ Одесского СХЗ, 1960.
6. Л.Вайсер - Применение пластмасс в качестве модельного материала, Гостехнадз, Киев, 1961, Сб. Пластмассы в машиностроении и приборостроении.

7. А.Чудновский, Л.Вайсер - Опыт изготовления пластмассовых стержневых ящиков, Москва, 1961, ЦБТИ выпуск 7, тема 13, № М-62-187/7.

8. Л.Вайсер, А.Чудновский, С.Полевой - Изготовление локальных шаблонов из пластмасс, Одесса, ЦБТИ, 1961.

9. Л.Вайсер, А.Чудновский - Акрилатный гипропласт, Одесса ЦБТИ, 1961.

10. Л.Вайсер, А.Чудновский - Заделка пластмассой литейных раковин и других дефектов в деталях, Одесса ЦБТИ, 1961.

11. Л.Вайсер, А.Чудновский - Изготовление стержневых ящиков из эпоксидных, полиэфирных и акриловых смол, Одесса, ЦБТИ, 1961 г.

12. С.Полевой, Л.Вайсер и др. - Комбинированные фасонные гребки к станочным тискам, Одесса, ЦБТИ, 1961.

13. Л.Вайсер, М.Яблуневская и др. - Абразивный инструмент на основе самоотвердеющих пластмасс, Одесса, ЦБТИ, 1961 г.

14. Бершадский Ф., Л.Вайсер и др. - Изготовление калибров - скоб с применением пластмассы, Одесса, ЦБТИ, 1961.

15. Шполянский, Л.Вайсер и др. - Прессформы из пластмасс для литья пластмассовых деталей, Одесса, ЦБТИ, 1961.

16. А.Чудновский, Л.Вайсер - Применение пластмасс в гальванотехнике, Одесса, ЦБТИ, 1961.

17. Л.Вайсер, А.Чудновский, Л.Ахмечет и др. - Опыт герметизации заклепочных соединений, Москва, ПНТО, 1962, выпуск 2, тема 8, № М-62-76/2.

18. А.Чудновский, Л.Вайсер, Л.Ахмечет, Бренфенбрер - Опыт применения пластмасс для заделки раковин и других дефектов в отливках, Москва, ПНТО, 1962, выпуск 4, тема 1, № М-62-53/4.

19. Л.Ахмечет, Л.Вайсер, А.Чудновский - Применение пластических масс в технологической оснастке. Машгиз, Киев, 1962, 10 п.л.

20. Л.Вайсер, А.Чудновский - Пластмасса в технологической оснастке, Одесса, ЦБТИ, 196 г.

21. Ахмечет, Л.Вайсер, А.Чудновский - Влияние наполнителей на свойства пластмассовых композиций, применяемых для изготовления технологической оснастки. Пластические массы, № 3, 1963.

22. Л.Вайсер, А.Чудновский, Л.Ленская и др. Пластмассовые прессформы для литья деталей из капрона и полиэтилена, Москва, ЦЭТИМ, 1963, № 13-63-36/1.



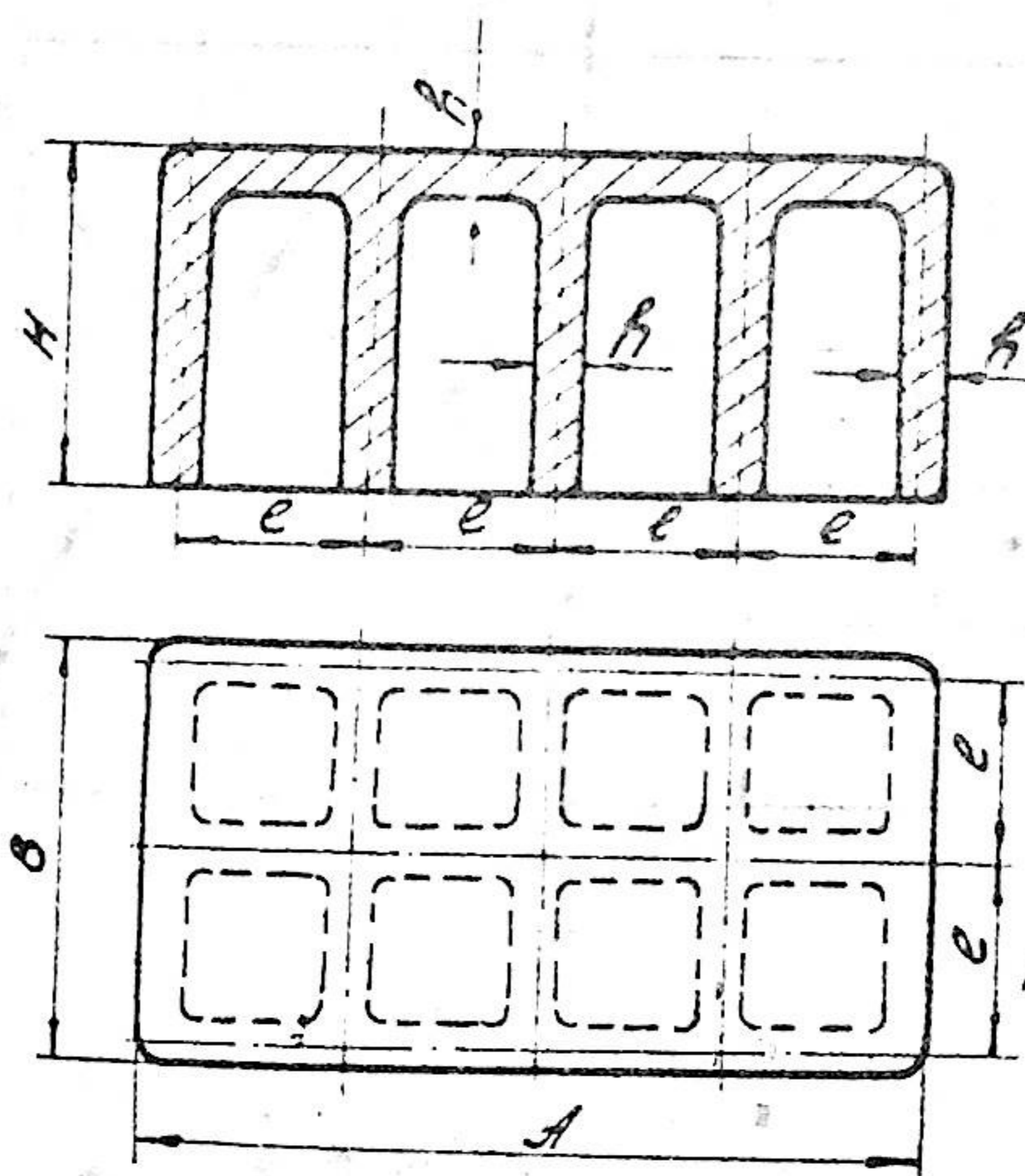
ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ ПОЛУЧЕНЫ СЛЕДУЮЩИЕ  
АВТОРСКИЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА

1. Л.Вайсер, А.Чудновский - Пластмассовая композиция для изготовления модельной оснастки, Авт. свид. № 129299, 1960.
2. Л.Вайсер, А.Чудновский - Пластическая масса для изготовления литейных моделей, Авт. свид. № 154003, 1962.
3. Л.Вайсер, А.Чудновский и др. - Эпоксидно-графитовая смесь для изготовления прессформ, Авт. свид. № 169252, 1962.
4. Л.Вайсер, И.Барденштейн и др. - Способ получения пластмассы на основе лигнин-фурфурольной смолы, Авт. свид. № 172484, 1963.
5. А.Чудновский, Л.Вайсер - Способ изготовления слоистого пластика, Авт. свид. № 202507, 1967г.
6. Л.Вайсер, М.Бальшин и др. - Способ получения отливок по повышенным моделям, Авт. свид. № 206813, 1967г.
7. Л.Вайсер, М.Бальшин и др. - Способ изготовления форм в производстве точного литья, Авт. свид. № 208900, 1968.
8. Л.Вайсер и др. - Пластмассовая композиция для изготовления модельной оснастки, Авт. свид. № 212461, 1968.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ  
ПОЛОЖЕНЫ НА:

1. I Всесоюзной конференции по применению пластмасс в машиностроении и приборостроении, г.Киев, 1959.
2. Всесоюзном семинаре "Применение самотвердеющих пластмасс в технологической оснастке", г.Горький, 1959.
3. Республиканской конференции по применению пластмасс в машиностроении, г.Ташкент, 1964г.
4. II Всесоюзной конференции по применению пластмасс в машиностроении, г.Рига, 1965г.
5. Всесоюзном семинаре "Современные методы изготовления оснастки", г.Ленинград, 1965г.
6. Всесоюзном семинаре "Применение пластмасс в тракторном и сельскохозяйственном машиностроении", г.Харьков, 1967г.

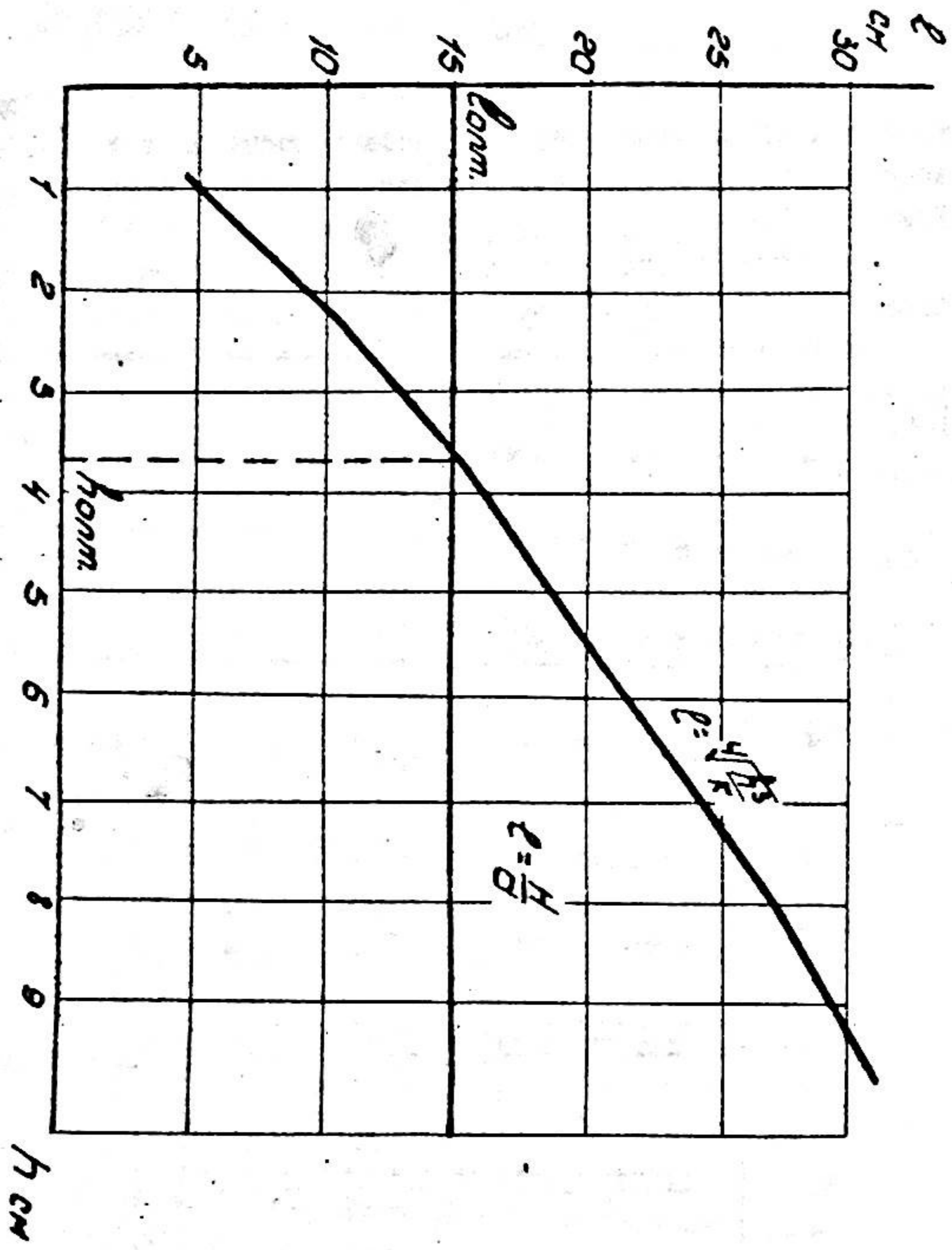
7. Республиканском научно-техническом совещании "Современные прогрессивные технологические процессы в литейном производстве, обеспечивающие повышение производительности труда", Ташкент, 1967г.
8. Республиканской научно-технической конференции по сельскому и водному хозяйству УзССР, г.Ташкент, 1968г.
9. Всесоюзном семинаре "Современные достижения в производстве литейной оснастки", Ленинград, 1968г.



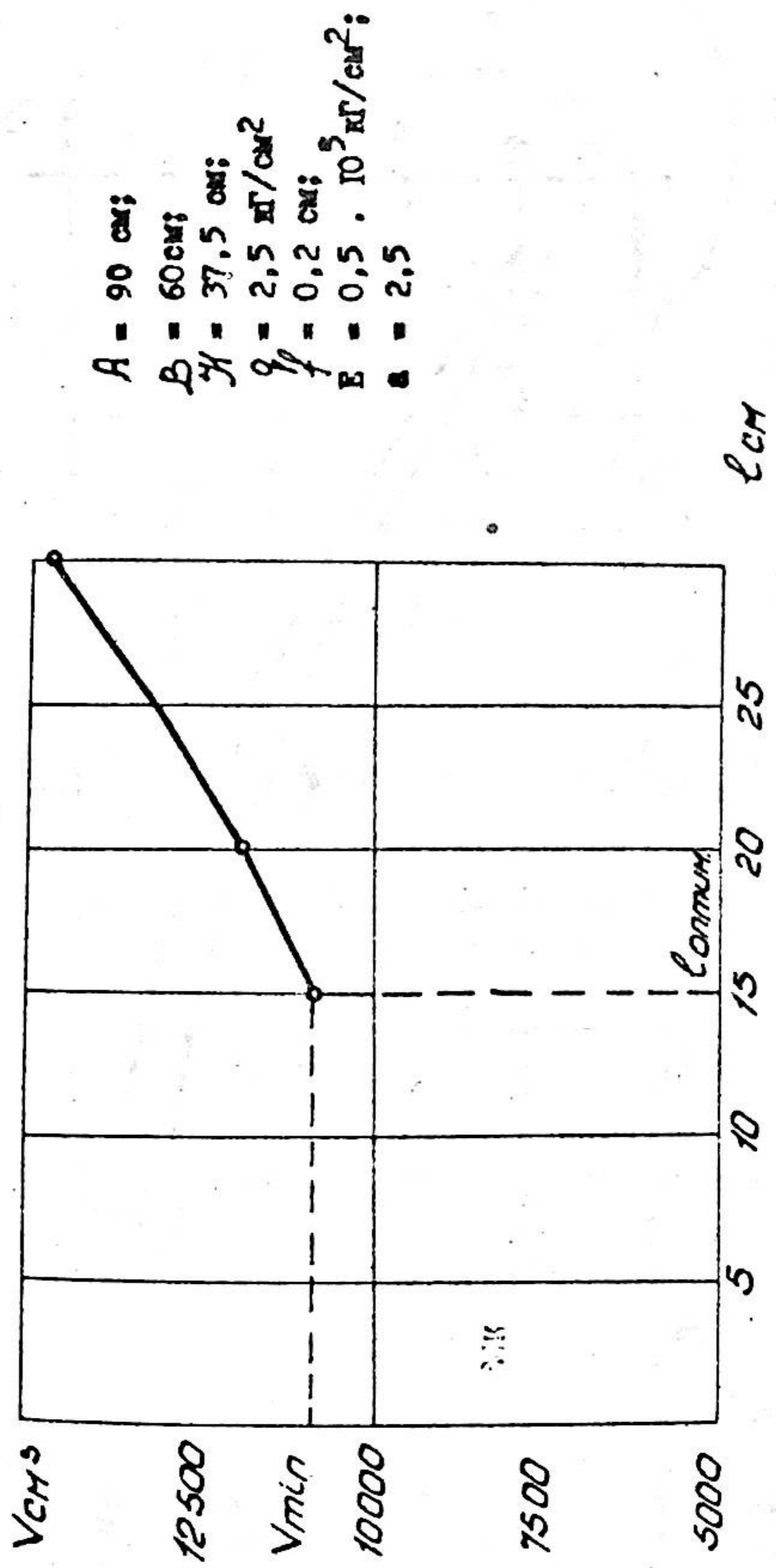
ФИГ. I. ОДНОСТОРОННЯЯ МОДЕЛЬ ДЕТАЛИ ТИПА ПЛИТА  
С РЕБРАМИ ВЕЩНОСТИ



Фиг. 2. ЗАВИСИМОСТЬ РАСТОЯНИЯ МЕЖДУ РЕБРАМИ МОДЕЛИ ТИПА ЦИФРА ОТ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ



$K = \frac{0,087}{B}$  ;  
 $A = 90 \text{ см};$   
 $B = 60 \text{ см};$   
 $K = 37,5 \text{ см};$   
 $q = 2,5 \text{ кг/см}^2;$   
 $f = 0,2 \text{ см};$   
 $E = 0,5 \cdot 10^5 \text{ кг/см}^2;$   
 $\alpha = 2,5$



$A = 90 \text{ см};$   
 $B = 60 \text{ см};$   
 $K = 37,5 \text{ см};$   
 $q = 2,5 \text{ кг/см}^2;$   
 $f = 0,2 \text{ см};$   
 $E = 0,5 \cdot 10^5 \text{ кг/см}^2;$   
 $\alpha = 2,5$

Фиг. 3. ЗАВИСИМОСТЬ ВЕЛИЧИНЫ ОБЪЕМА V МАТЕРИАЛА МОДЕЛИ ДЕТАЛИ ТИПА ПЛИТА ОТ РАСТОЯНИЯ МЕЖДУ РЕБРАМИ



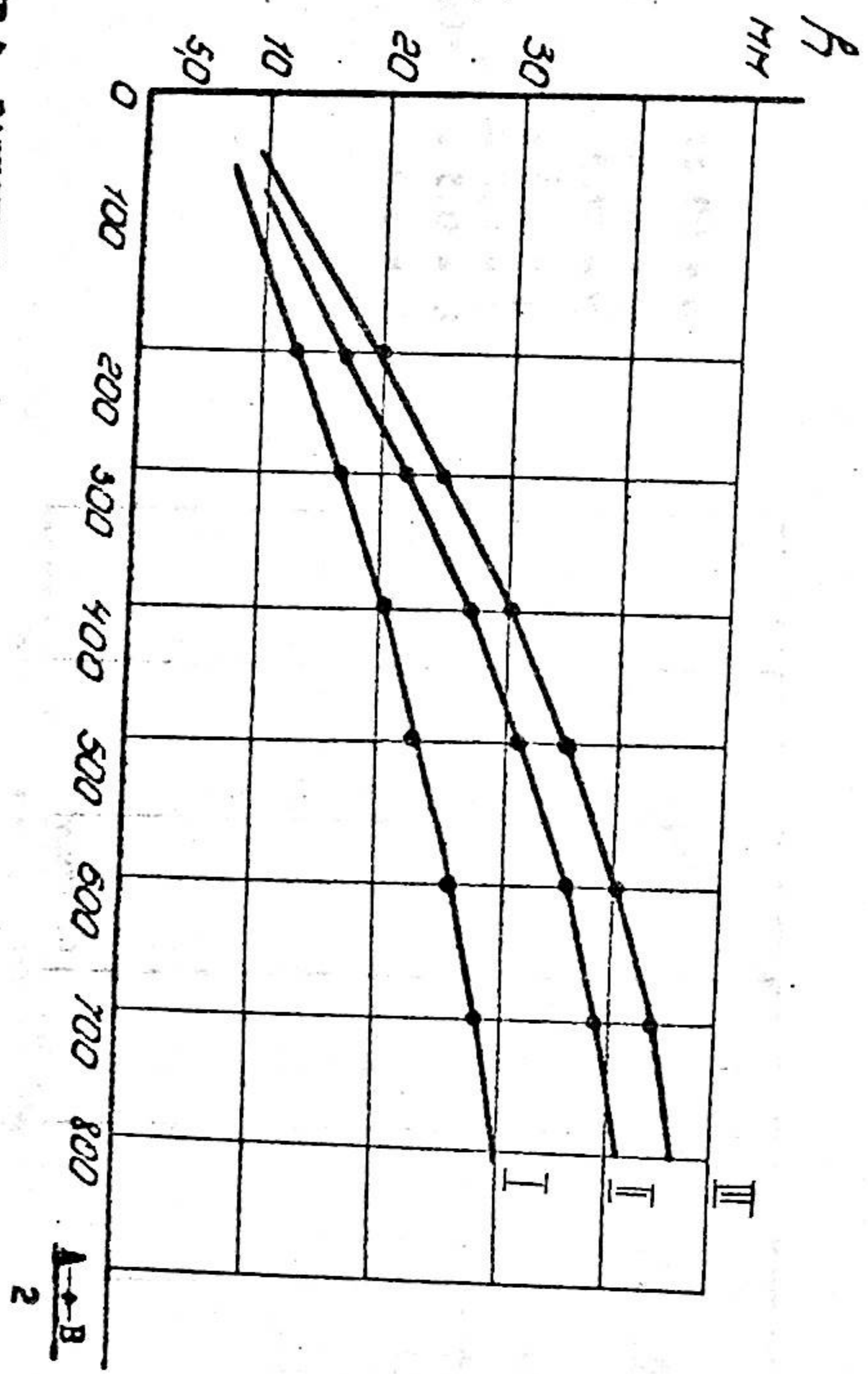


РИС. 4. ЗАВИСИМОСТЬ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ОТ СРЕДНЕГО ГАБАРИТНОГО РАЗМЕРА  
ОСНАСТИ ДЛЯ КОМПОЗИЦИИ ПОЛИМЕТОМЕТАКРИЛАТА

I - для  $B = \frac{A+B}{2}$  ;    II - для  $B = \frac{A+B}{4}$  ;    III - для  $B = \frac{A+B}{6}$  ;

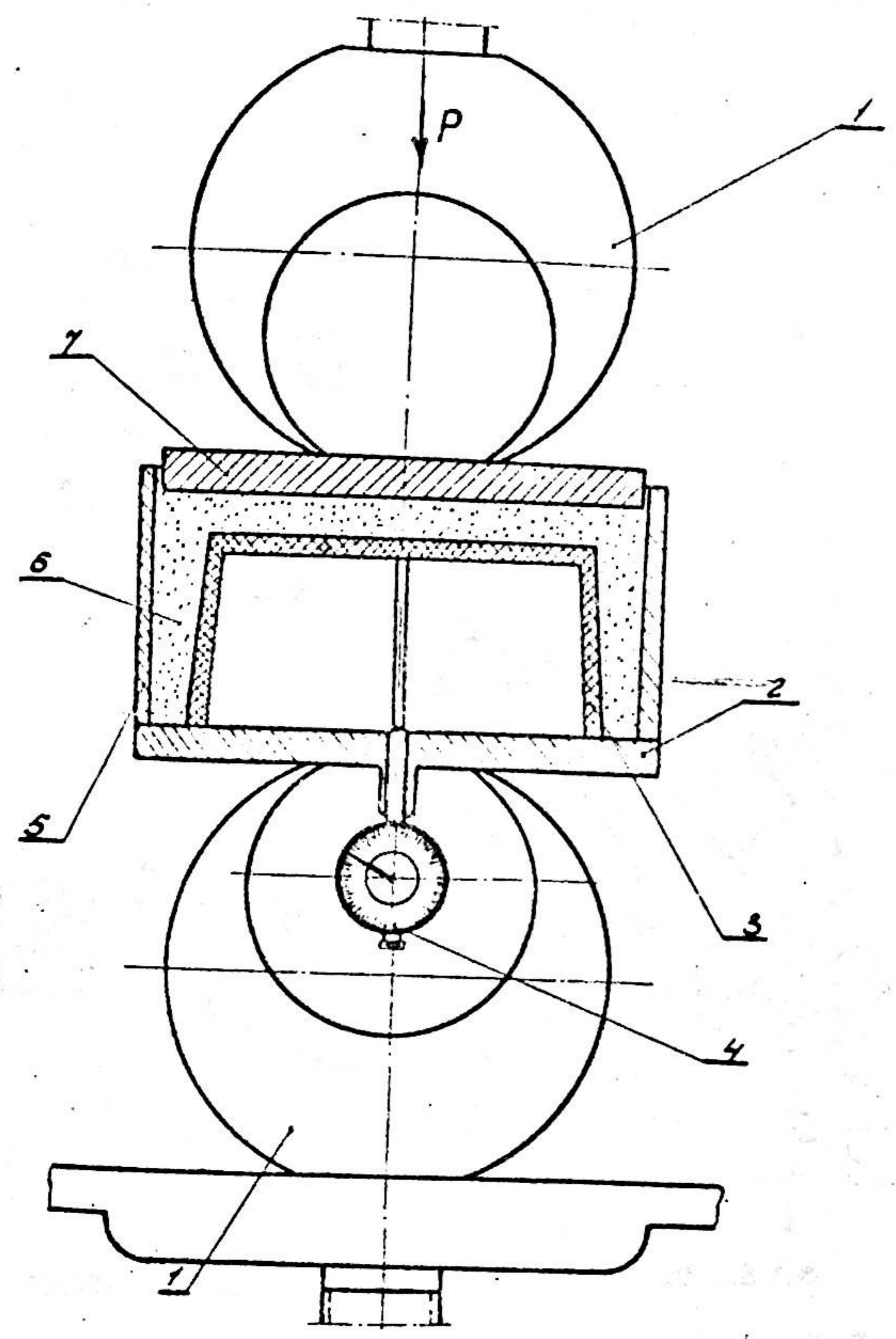
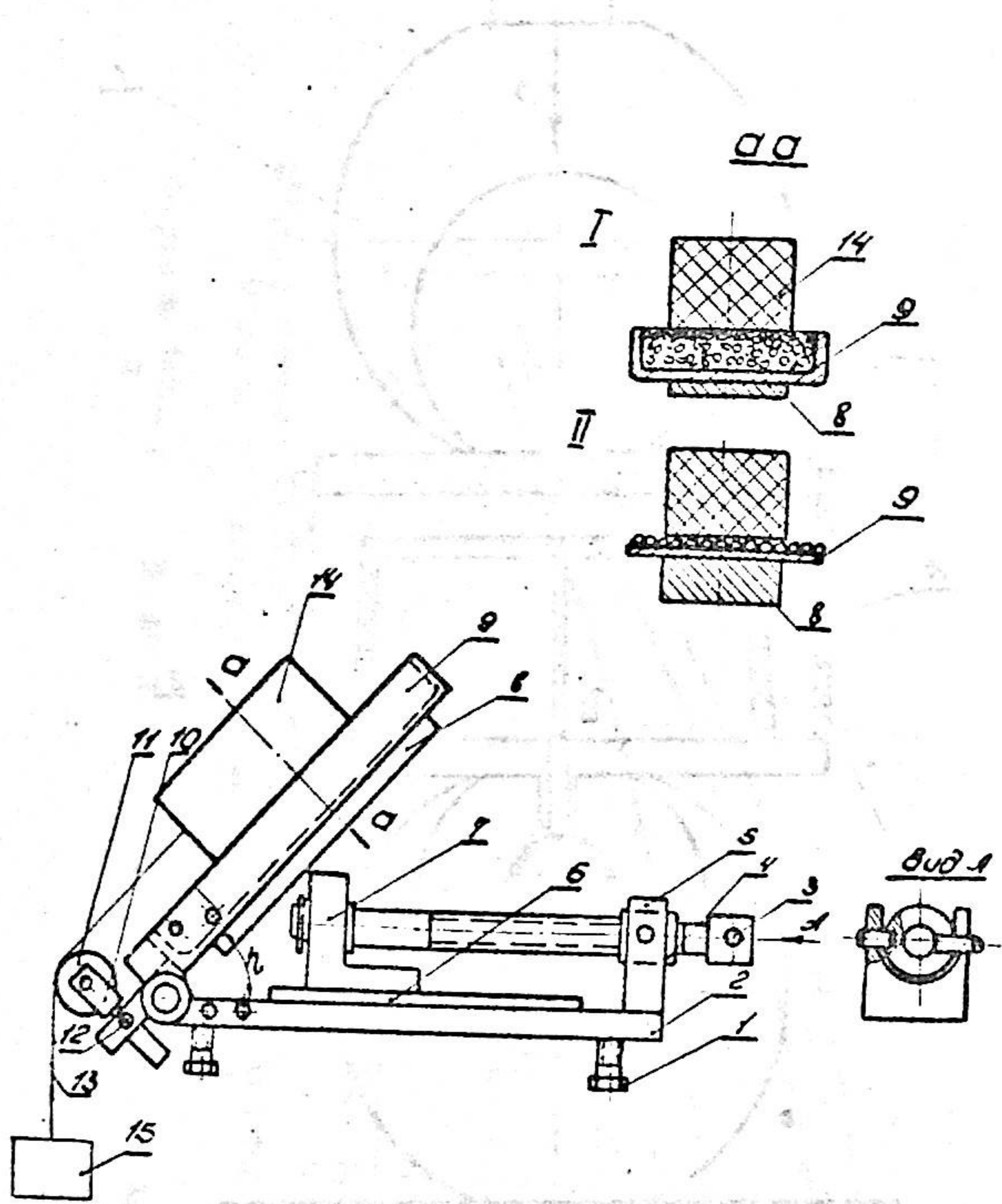


РИС. 5. СТЕНА ДЛЯ ПРОВЕРКИ СТРЕЛЫ ПРОГИБА МОДЕЛИ

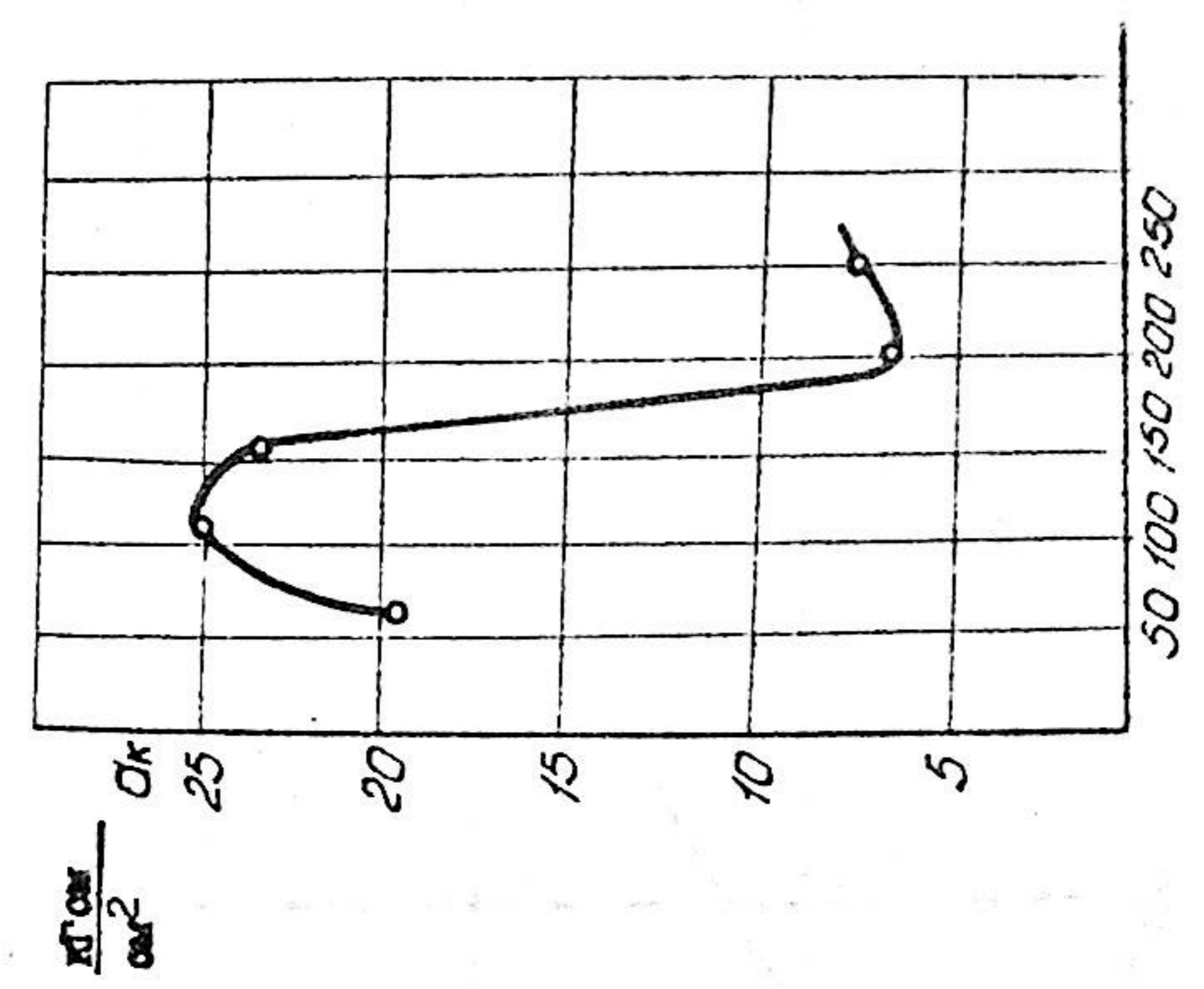
- |                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| 1. Зажим манжеты     | 5. Опора             |
| 2. Основание         | 6. Формовочная смесь |
| 3. Модельный элемент | 7. Прессовая колода  |
| 4. Индикатор         |                      |





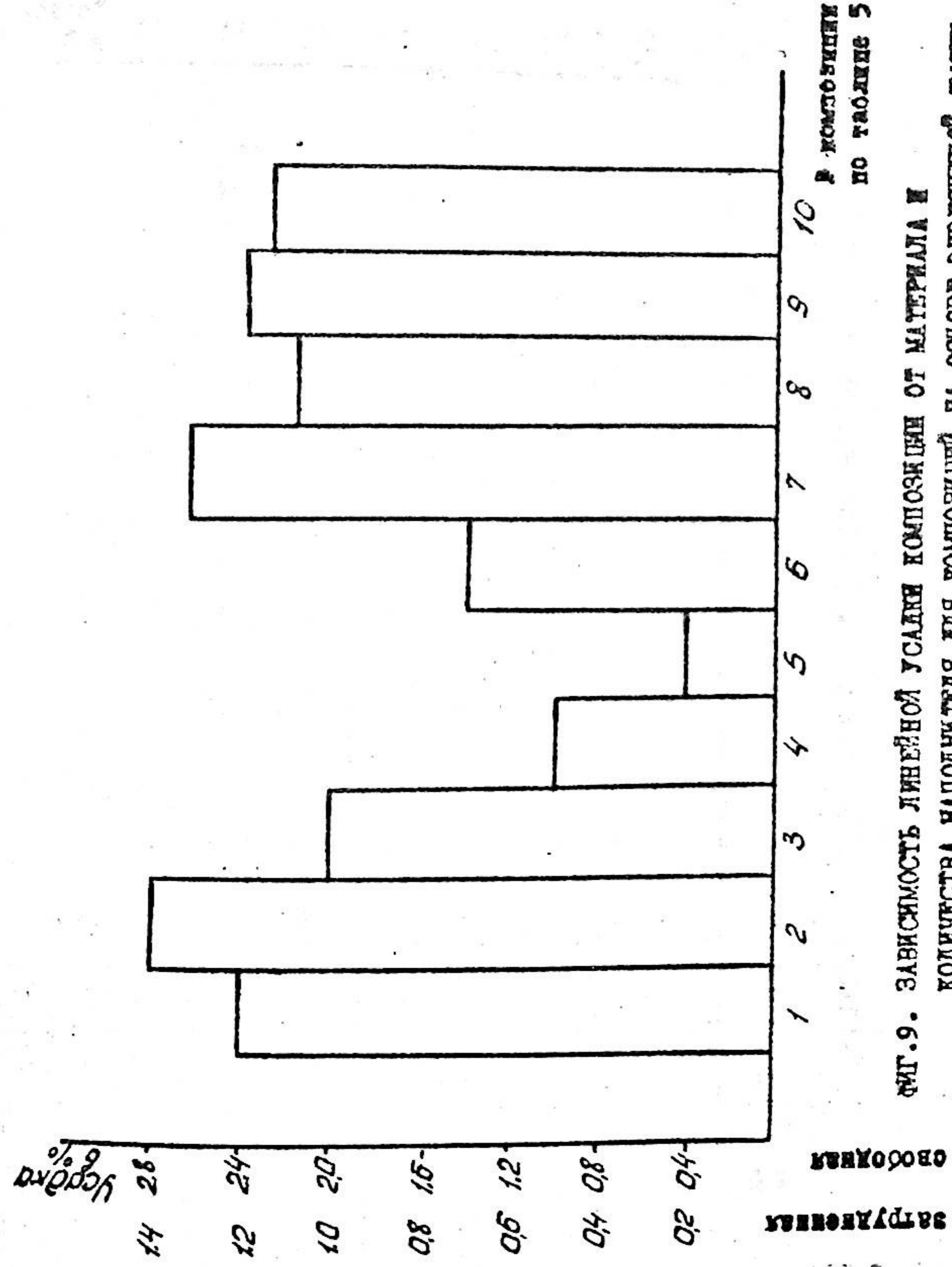
Фиг. 6. СТЕАН ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ

- |                             |                 |                  |                 |
|-----------------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| 1. Ножка                    | 2. Плитка       | 3. Винт          | 4. Гайка        |
| 5. Кронштейн                | 6. Направляющая | 7. Угольник      | 8. Направляющая |
| 9. Опора (I), Подложка (II) |                 | 10. Кронштейн II | 11. Резьба      |
| 12. Винт                    | 13. Нить        | 14. Образец      | 15. Висесть     |

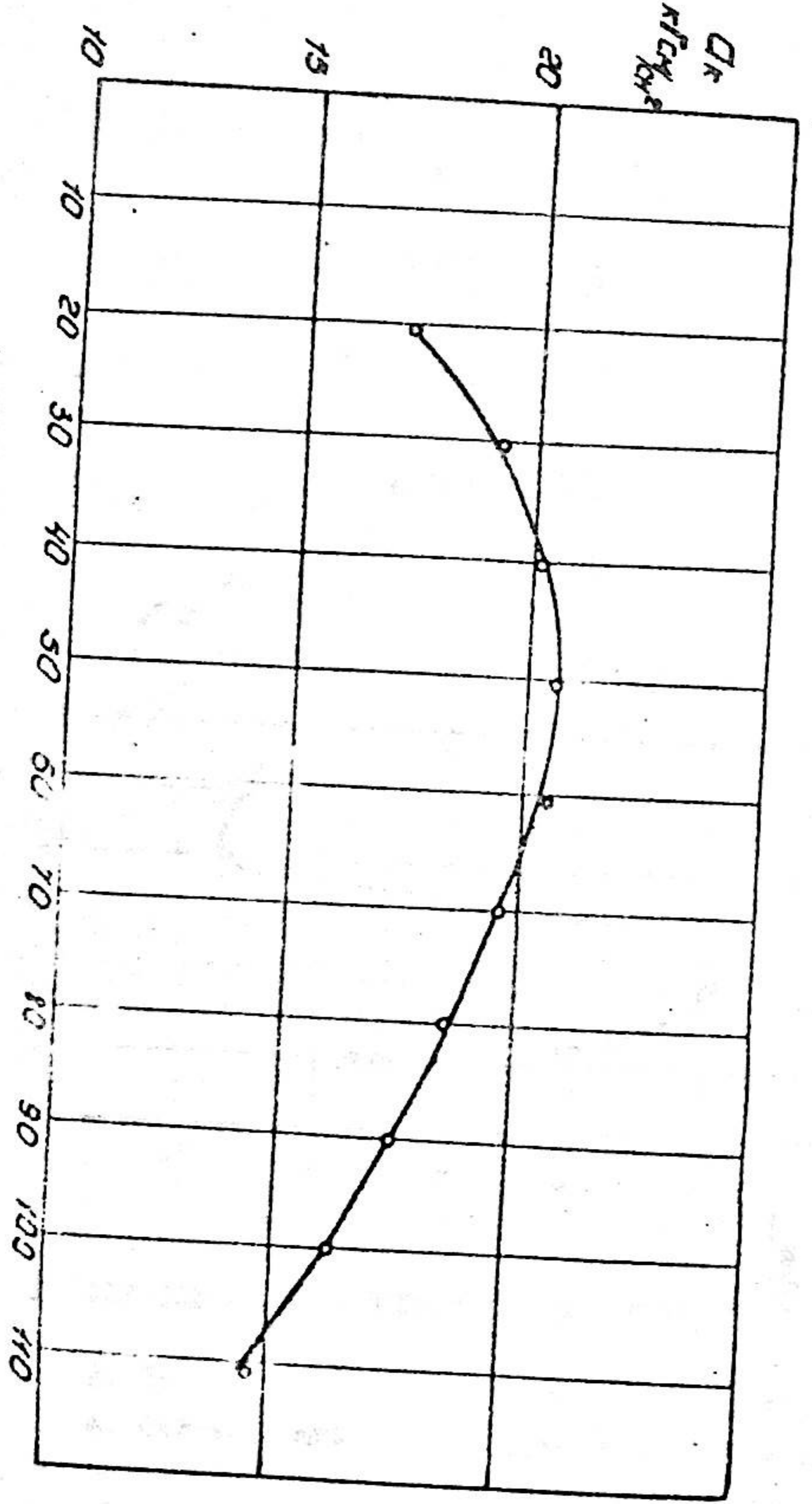


Кривая в резонансных частотах  
 Фиг. 7. ЗАВИСИМОСТЬ УВЕЛИЧЕННОЙ УДАРНОЙ ЧАСТОТЫ ОТ НАПОЛНЕНИЯ КАЦИНОМ ПРИ 10 В.Ч. ПЛАСТИ ФЛЕАТОРА





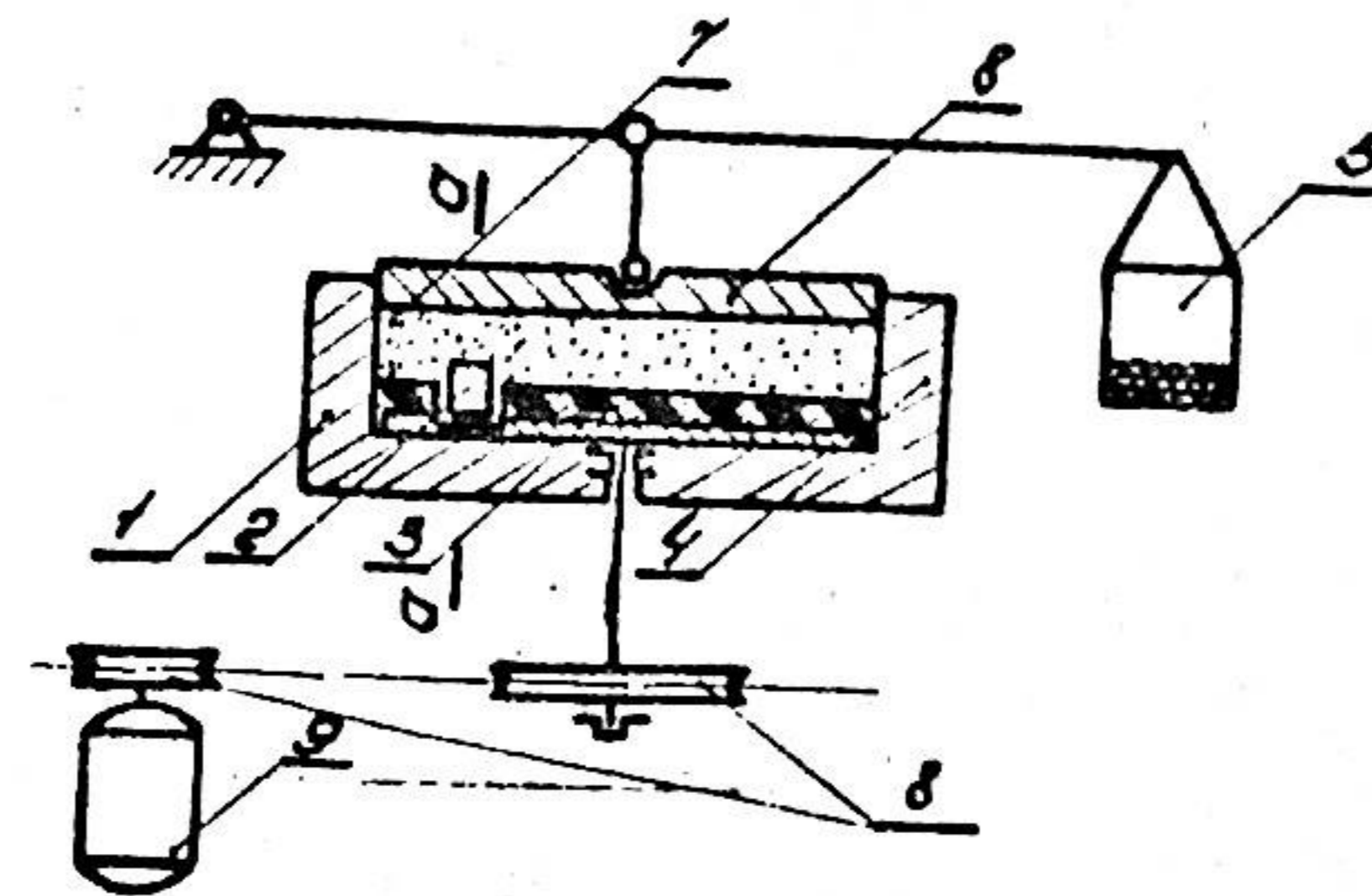
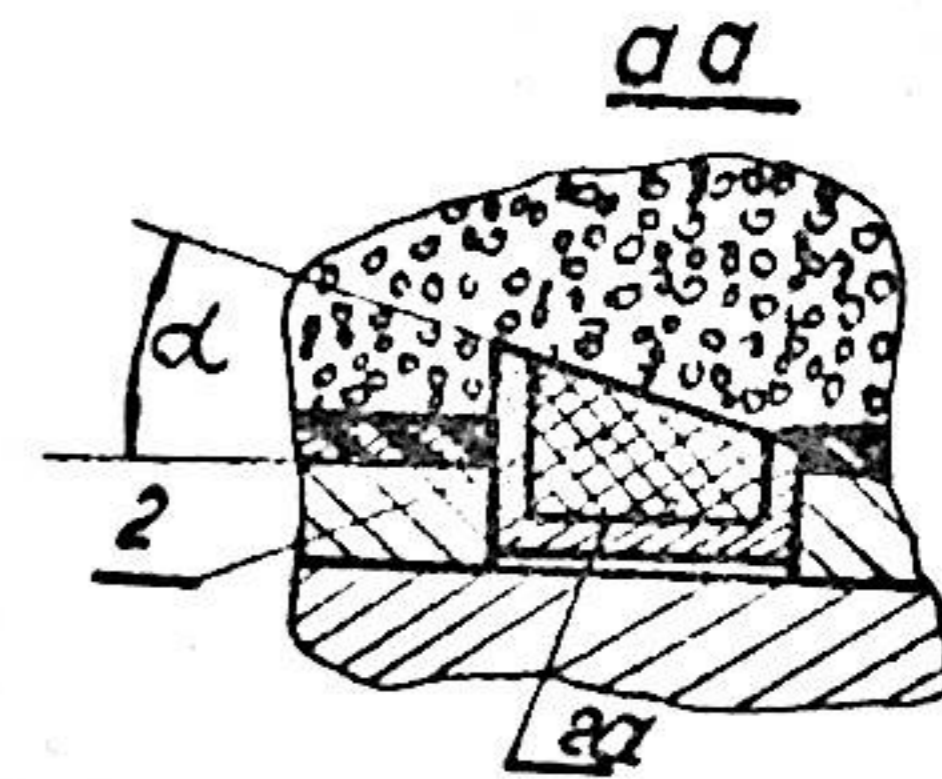
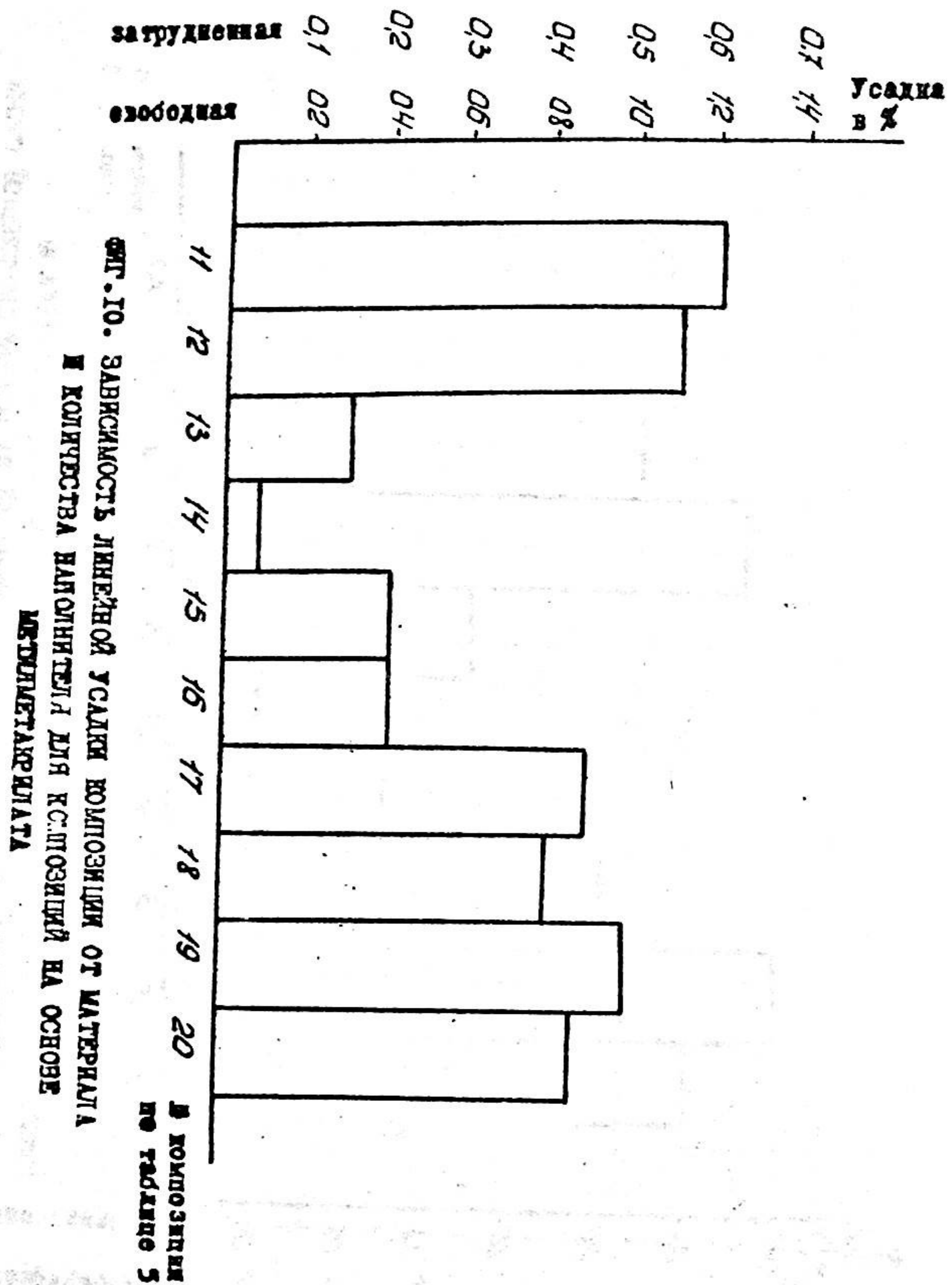
Фиг. 9. ЗАВИСИМОСТЬ ЛИНЕЙНОЙ УСАДКИ КОМПОНЕНТОВ ОТ МАТЕРИАЛА И КОЛИЧЕСТВА НАПОЛНИТЕЛЯ ДЛЯ КОМПОНЕНТОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ



Фиг. 8. ЗАВИСИМОСТЬ УДЕЛЬНОЙ УДАЛЕННОЙ ВРАСТАННОЙ ВРАСТАННОСТИ ОТ КОЛИЧЕСТВА СЛОЕВ НАПОЛНИТЕЛЯ /МЕШКОГО ПОРОШКА/ ПРИ 30 В.Ч. ПЛАСТИФИКАТОРА

Число слоев в необходимых ваянках





Фиг. 11. СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ МОДЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА АБРАЗИВНЫЙ ИЗНОС

- |                              |                            |
|------------------------------|----------------------------|
| 1. Стакан                    | 2. Образец (с обоймой 2 а) |
| 3. Фторопластовая прокладка  | 4. Основание               |
| 5. Груз                      | 6. Прием                   |
| 7. Песок (формовочная смесь) | 8. Передача                |
| 9. Двигатель                 |                            |



