

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР

Т Р У Д Ы
ОДЕССКОГО
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
имени И. В. СТАЛИНА

ТОМ XIII

ОДЕССА—1980 г.

Ответственный редактор
кандидат технических наук, доцент
ПЛАТОНОВ П. Н.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В предлагаемый том Трудов включены статьи, излагающие результаты диссертационных работ аспирантов и преподавателей Одесского технологического института имени И. В. Сталина, выполненные в основном на кафедрах института.

Все замечания по выпускаемому сборнику просим направлять по адресу:

г. Одесса, Свердлова, 112. Технологический институт им. И. В. Сталина.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ,

Старший преподаватель А. В. АЛЕКСАНДРОВ

ДЕКАБРИСТЫ О ФИНАНСАХ И КРЕДИТЕ

(«Южное общество»)

Социально-экономическое положение России первой четверти XIX столетия характеризовалось, хотя и медленным, но неуклонным становлением капиталистических форм хозяйства. Развитие промышленности, углубление общественного разделения труда втягивали все отрасли общественного производства, в том числе помещичьи и крестьянские хозяйства, в товарно-денежные отношения. Расширение товарно-денежных отношений, рост внутренней и внешней торговли подтачивали натуральное хозяйство, способствовали углублению процесса разложения феодально-крепостнической системы. Господство крепостнических отношений сдерживало дальнейшее развитие производительных сил в стране. Назревала необходимость ликвидации феодального строя.

Финансово-кредитная система, приспособленная к нуждам крепостнической экономики, не удовлетворяла потребностям развивающейся капиталистической промышленности. Коалиционные войны с Наполеоном, континентальная блокада, Отечественная война 1812 года привели финансы, кредит и денежное обращение в полное расстройство. Государственный бюджет из года в год сводился с дефицитом. Расходы во много раз превышали доходы. Особенно велики были расходы на содержание армии и флота. В 1804 году из 122 млн. руб. бюджетных средств на армию и флот было израсходовано почти 53 млн., в 1812 году из 342 млн. руб. — 184 млн., в 1813 году из 423 млн. — 285 млн. руб.¹ Значительная сумма бюджетных средств расходовалась на содержание бюрократии.

¹ См. П. А. Хромов, Экономическое развитие России в XIX—XX веках, Госполитиздат, 1950, стр. 119.

тического аппарата. Расходы эти поглощали не менее 10 процентов бюджета. Сумма государственного долга только в начале XIX столетия равнялась почти четырем годовым бюджетам страны.

Для покрытия бюджетных дефицитов и растущих государственных расходов царское правительство усиливало налоговое обложение населения, прибегало к займам и чрезмерному выпуску ассигнаций.

Налоговая система носила ярко выраженный классовый характер. Основная тяжесть налогового бремени падала на крестьянство. Господствующие классы — дворянство, чиновничество, духовенство — были освобождены от налогов. Купечество выплачивало сравнительно немного. Отмечая ярко выраженный классовый характер налоговой политики царского самодержавия, Ф. Энгельс писал: «...в России является правилом, что высшие сословия почти свободны от налогов, а крестьянин платит почти все»¹. По подсчетам П. И. Лященко в 1801 году из общего числа государственных доходов в 81,1 млн. руб. с крестьян поступило оброчной и подушной подати 39,1 млн. руб.; в 1810 году из общей суммы доходов в 209,3 млн. руб. с крестьян взималось подушной и оброчной податей 71,2 млн. руб.; в 1816 году из 344,7 млн. руб. всех доходов на крестьян приходилось 106 млн. рублей².

Ощущая острую потребность в наличных деньгах, царское правительство из года в год увеличивало выпуск ассигнаций. В 1803 году выпуск ассигнаций равнялся 19,5 млн. руб., в 1805 — 31,5 млн. руб., в 1808 г. — 95 млн. руб., в 1813 — 103,4 млн. рублей³. В 1817 году сумма ассигнаций в обращении составила 836 млн. рублей⁴. Чрезмерный выпуск ассигнаций привел к хронической инфляции. Курс ассигнаций резко падал. Если в 1805 году ассигнационный рубль стоил 77 коп. серебром, то к 1818 году он упал до 20 копеек.

Катастрофическое состояние финансов и денежного обращения обуславливало рост цен на товары, подрывало кредитные отношения, тормозило развитие промышленности и торговли. Непрерывный рост налогового обложения сопровождался дальнейшим обнищанием и разорением народных масс.

¹ К. Маркс и Ф. Энгельс, Соч., т. XV, стр. 255.

² См. П. И. Лященко, История народного хозяйства СССР, т. I, Госполитиздат, 1952, стр. 456.

³ См. П. А. Хромов, Очерки экономики феодализма в России, Госполитиздат, 1957, стр. 278.

⁴ См. В. Андросов, Хозяйственная статистика России, Москва, 1827, стр. 28.

Освещение программы оздоровления финансовой системы и развития кредита, разработанной членами «Южного общества» декабристов, ввиду ограниченности документальных источников, вызывает значительное затруднение. Разработка этого круга проблем в «Русской правде» — программе «Южного общества» — была поручена П. И. Пестелем С. Муравьеву-Апостолу и должна была быть освещена в IX главе, которая, к сожалению, до нас не дошла. Многие документы были уничтожены накануне ареста самими декабристами, в чем они сами признавались следственной комиссии.

«Из Бумаг моих о предметах Политики, — показывал П. И. Пестель, — я большую часть сам сжег»¹.

Предатель капитан Майборода, отвечая на вопросы следственной комиссии, указывал, что у Пестеля он видел тетрадь под названием «Разсуждения об упадке Торговли, Финансов и Публичного Кредита в России»².

Несмотря на ограниченность находящегося в нашем распоряжении материала, отдельные, дошедшие до нас документальные источники, дают основание считать, что декабристы разработали относительно последовательную программу преобразования и укрепления финансово-кредитной системы страны.

Заслуга декабристов как дворянских революционеров состоит в том, что преобразования в области государственных финансов и кредита они, в отличие от дворянских либералов, связывали с необходимостью ликвидации феодально-крепостнического строя. Декабристы правильно понимали, что главной причиной расстройств финансово-кредитной системы страны, обнищания и разорения народных масс является самодержавие и крепостничество.

Основываясь на этом, декабристы выступили с резкой критикой обременительной для народа внутренней и внешней политики царизма, являвшейся, по их мнению, одной из причин расстройств государственной финансовой системы. Отдельные члены «Южного общества» отмечали, что Отечественная война принесла огромные убытки народу, особенно крестьянству, которое утратило почти все свое движимое имущество. После окончания освободительной войны народ ждал

¹ Восстание декабристов, Материалы, т. IV, Москва—Ленинград, 1927, стр. 113.

² Там же, стр. 11.

от правительства ликвидации крепостной зависимости, мира и уменьшения налогового обложения. Между тем, правительство не только не облегчило участи народных масс, но еще более обременило народ различного рода повинностями, налогами и сборами. «Взгляните на народ, — говорил Бестужев-Рюмин в своей речи членам общества «Соединенных Славян», — как он угнетен... бедность до того доходит, что нечем платить не только подати — но даже недоимки»¹.

Тяжелое налоговое бремя, унижение и разорение вызвали со стороны широких слоев населения справедливый ропот, что еще более убеждало членов «Южного общества» в необходимости свержения самодержавия и введения в России республиканского правления. «Ропот людей разного состояния на тягость податей, жалобы состояния поселян, угнетенных беспредельною работою, и невозможность, в которой видел их, облегчить свою участь... были первым побуждением к мысли о перемене существующего образа правления», — отвечал следственной комиссии член общества «Соединенных Славян» И. В. Киреев о причинах вступления в тайное общество².

Внешняя политика царизма, направленная на подавление антифеодального движения в европейских странах, дорого стоила России. Содержание для этой цели громадной армии поглощало государственную казну, вынуждало правительство прибегать к займам, что еще более расшатывало финансовую систему страны. Обращая на это внимание следственной комиссии, член «Южного общества» А. В. Поджио отмечал: «Говорю о сем, чтоб пояснить каким образом мы сливали действия обременительной для нас Политики, со всеми обстоятельствами внутреннего управления. Сими мерами мы поясняли небрежение правительства к благоденствию внутреннему России; Сими мерами мы поясняли степень расстройства финансов наших; —...мы неудовольствовались сим, а убедились в необходимости не предвидя благоприятного конца прибегнуть к незаконным средствам нашим (то есть к свержению самодержавия — А. А.)»³.

¹ Восстание декабристов. Материалы, т. IX, Госполитиздат, 1950, стр. 117.

² ЦГИАМ, ф. 48, оп. 1, д. 441, л. 12.

³ Восстание декабристов. Документы, Т. XI, Госполитиздат, 1954, стр. 40.

Уничтожение самодержавия и крепостничества программа «Южного общества» декабристов связывала одновременно с ликвидацией сословий и сословных привилегий. Декабристы понимали, что освобождение от налогов отдельных слоев населения уменьшает поступление денежных средств в государственный бюджет, обостряет классовые антагонизмы и является вредным для общества. Опираясь на теорию «естественного права», они считали, что государство должно преследовать единственную цель — «благоденствие» всех членов общества. Все члены общества, по мнению декабристов, имеют «равное» право на «благоденствие», а следовательно, и равную обязанность содействовать этому «благоденствию». Одним из средств этого содействия является обязанность всех членов общества платить подати в государственную казну. Освобождение же от налогов отдельных сословий должно быть признано «зловластием». «...одно только зловластие, — отмечал П. И. Пестель, — может все тягости возлагать на одних а других всеми выгодами осыпывать»¹.

Это заключение Пестеля непосредственно направлено против налоговой политики самодержавия, проводимой в интересах дворянского сословия. Пестель считал, что дворянство наряду с другими сословиями общества должно пользоваться не только всеми выгодами в государстве; но и равным образом разделять все «государственные тягости».

«Честный Человек без угрызения совести не может пользоваться трудами и жертвованиями ближних без всякого со своей стороны возмездия или соучастия. А потому и не может Дворянство от Податей быть освобождаемо»².

Программа «Южного общества» предусматривала при введении новой государственной финансовой системы после свержения самодержавия возложить на Временное Верховное Правление обязанность обложить дворянство налогами наравне со всеми классами общества.

Примерно в том же плане решался вопрос об отдельных привилегиях купечества по сравнению с мещанством. В «Русской правде» отмечается, что для мещан существуют неоправданные ограничения в занятиях земледелием, различного рода промыслами и торговлей. Несмотря на это прави-

¹ П. И. Пестель. Русская правда. Восстание декабристов. Документы. Том VII, Госполитиздат, 1958, стр. 157.

² Там же, стр. 157.

тельство в ущерб мещанам взимает с них в пользу казны несравненно более высокие сборы, чем с купечества, в руках которого сосредоточены все «предметы» наиболее выгодной торговли. «Мещане... за сию даже мелочную (торговлю — А. А.) платят подати совершенно не в соразмерности с купцами которые в сравнении с своими правами гораздо менее Мещан в казну вносят»¹. Исходя из этого, «Русская правда» возлагает на будущее Временное Верховное Правление обязанность ликвидировать мещанство как сословие, устранить все препятствующие свободной деятельности ограничения и взимать с них подати на основании общей для всех государственной финансовой системы.

Декабристы высказали интересные мысли о реорганизации налогового обложения. Они считали неоправданным существование наряду с денежными, личными и вещественными натуральными государственными повинностей, как, например, дорожных, содержания почт, постоя войск, принудительных поставок и т. д. Личные и вещественные государственные повинности, по мнению декабристов, сложились еще «при начале Гражданских обществ, когда были они еще бедны и неустроены». В дальнейшем, с «обогащением и устроением государств», эти повинности постепенно стали превращаться исключительно в денежные. Считая, что личные и вещественные повинности чрезмерно обременительны для народа и несоответствуют современному общественным условиям, Верховное Правление, согласно «Русской правды», обязывалось изыскивать все средства для превращения личных и вещественных повинностей в денежные государственные повинности. Таким образом декабристы выступали сторонниками единой в государстве налоговой системы, то есть такой системы, которая практиковалась в ряде стран Западной Европы, ставших на путь буржуазного развития.

Подразделяя денежные государственные повинности на косвенные и прямые, члены «Южного общества» в основном правильно представляли себе сущность косвенных и прямых налогов. И те и другие, по их мнению, имеют свои, определенные преимущества. «Выгода Косвенных (налогов — А. А.), — отмечает П. И. Пестель, — состоит в том что их платит кто хочет и когда хочет. Главная же выгода прямых со-

¹ П. И. Пестель, Русская правда, Восстание декабристов. Документы. Том VII, Госполитиздат, 1958, стр. 161—162.

стоит в том что оне уравнильнее ибо с имуществом каждого соображаются...»¹. При этом Пестель особенно подчеркивал, что косвенные налоги должны прежде всего устанавливаться с целью создания благоприятных условий для развития промышленности, а отнюдь не в целях увеличения государственных доходов. «Косвенные Налоги взимаемые обыкновенно с изделий и Торговли должны быть соображаемы более с ходом Промышленности нежели с желанием умножить казенные Доходы»². Понимая, что обложение товаров широкого потребления косвенными налогами снижает покупательную способность, а, следовательно, и материальное положение беднейших слоев населения, Пестель выдвигал требование максимального сокращения косвенных налогов на предметы первой необходимости, особенно на соль. Это не случайно.

Царское правительство, изыскивая дополнительные средства для увеличения государственных доходов, отдельные виды продукции массового потребления, в том числе и соль, обложило чрезмерно высокими налогами, возложив таким образом дополнительное бремя на широкие народные массы. «Косвенные Налоги должны как можно менее тяготить те предметы которые для жития необходимы, почему и должна непременно цена Соли самым сильным и значительным образом быть уменьшена»³.

Являясь сторонниками единой налоговой системы, декабристы решительно выступили за отмену подушной подати, предлагая взимать налоги исключительно с имущества. При этом они высказывались за введение прямого подоходно-имущественного налога.

Следует отметить, что некоторые советские исследователи, как, например, П. А. Хромов, в своей работе «Очерки экономики феодализма в России», опубликованной в 1957 году, утверждает, что Пестель в «Русской правде» высказывался за введение прогрессивного подоходно-поимущественного налога⁴. С нашей точки зрения трактовка этой части «Русской правды» П. А. Хромовым не является обоснованной. П. И. Пестель писал: налоги «...должны быть взимаемы с

¹ П. И. Пестель, Русская правда, Восстание декабристов. Том VII, Госполитиздат, 1958, стр. 201.

² Там же.

³ Там же.

⁴ См. П. А. Хромов, Очерки экономики феодализма в России, Госполитиздат, 1957, стр. 359.

Имущества Граждан уравнильным образом так чтобы каждое имущество от своих прибытков бы уделало Десятую, Дватцатую или какую часть определено будет одним словом по равным долям»¹. Анализируя это выдвинутое Пестелем положение, можно сделать заключение, что поскольку Пестель требовал взимания налогов с имущества и доходов от него «по равным долям», то есть «уравнильным образом», он стоял за введение прямого подоходно-поимущественного налога, а не прогрессивного.

Заслуживает внимания оценка декабристами влияния налогов на экономику страны. Излагая свои взгляды по этому вопросу, они правильно считали, что расходы государства на содержание армии и бюрократического аппарата, покрываемые за счет налогов, отвлекают денежные средства от производительного потребления. Декабристы высказывались за то, чтобы налоги взимались только с чистого дохода, но не с самого капитала. Разделяя мнение М. М. Сперанского о том, что государственные доходы не должны «прикасаться» к капиталам, П.И. Пестель писал: «Налоги не должны падать на Капиталы но только на чистую Прибыль от сего Капитала получаемую»². Выдвигая это положение, Пестель без сомнения открывал дорогу частно-капиталистическому предпринимательству в экономике страны, особенно в промышленности.

Критикуя налоговую политику самодержавия, которая не сообразовалась с доходами населения, члены «Южного общества» правильно понимали, что рост налогов, падавших преимущественно на крестьянство, нанося непоправимый ущерб народному хозяйству страны, в конечном итоге приведет к истощению источников государственных доходов.

После свержения самодержавия, ликвидации крепостничества и сословных привилегий программа «Южного общества» декабристов предусматривала создание новой финансовой системы и упорядочение налогового обложения. Согласно этой программе налоги дифференцировались по районам страны. Они должны были распределяться между волостями, уездами и губерниями в соответствии с их хозяйственными возможностями. Для лучшей организации и учета налоговых повинностей всех слоев населения, включая и городское, «Русская правда» предусматривала для каждой волости за-

¹ П. И. Пестель, Русская правда, Восстание декабристов. Документы, т. VII, Госполитиздат, 1958, стр. 201.

² Там же.

вести две книги: «гражданскую» и «скарбовую» (имущественную). В «гражданской» книге записывались фамилии тех граждан, которые приписаны к данной волости. Каждый гражданин мог быть приписан только к одной волости и состоять только в одном «гражданском» списке. В «скарбовой» книге записывались фамилии граждан, владеющих определенным имуществом в волости. При этом одно и то же лицо могло быть внесено в «скарбовые» книги нескольких волостей в том случае, если в каждой из них у него имеется имущество или другие какие-либо источники доходов. Налоги взимались со всего имущества и доходов в целом.

«...один и тот же Россиянин может состоять в одно и то же время в скарбовых Списках Нескольких Волостей ибо в разных Волостях имения может иметь и следовательно с каждого имения на общих правилах подать платить обязан»¹. Аналогичные сведения содержатся и в показаниях следственной комиссии члена «Южного общества» Матвея Муравьева-Апостола и члена общества «Соединенных Славян» П. И. Борисова².

Несомненный интерес о принципах организации взимания поземельного налога представляют включенные в материалы следствия записки члена «Южного общества» Н. А. Крюкова. Содержащиеся в этих записках мысли о налогах имеют много общего с содержанием соответствующих положений в «Русской правде». Основываясь на этом, М. В. Нечкина на наш взгляд резонно считает, что Н. А. Крюков по-видимому готовил материал для Пестеля или, во всяком случае, для обсуждения основных положений «Русской правды»³.

В своих записках Н. А. Крюков для упорядочения налогового обложения и пресечения попыток помещиков скрыть действительные доходы и размеры земельных угодий считает необходимым специально выделить чиновников для измерения общего количества земли в каждой губернии и сбора сведений о доходах каждого помещика и размерах принадлежащей земли. «Собрать сведения о доходах каждого помещика и о количестве и качестве земли, — положить подати сообразно по количеству и качеству земли»⁴.

¹ П. И. Пестель, Русская правда, Восстание декабристов. Документы, Том VII, Госполитиздат, 1958, стр. 180.

² См. Восстание декабристов. Материалы, т. IX, Госполитиздат, 1950, стр. 228 и т. V, Москва—Ленинград, 1926, стр. 32.

³ См. Восстание декабристов. Документы, Том XI, Госполитиздат, 1954, предисловие М. В. Нечкиной, стр. 9—10.

⁴ Там же, стр. 351.

Декабристы считали полезным и необходимым доводить до сведения налогоплательщиков каналы использования денежных средств, чтобы они видели заботу государства о «благоденствии» каждого члена общества в отдельности, знали, что уплачивают налоги в собственных интересах, для «собственного своего блага». «Сумму каких бы ни было налогов податей или сборов денежных, — отмечал Н. А. Крюков, — печатать в афишках которые прибавать на столбе в тех селениях, или городах где она была собрана, дабы все могли видеть справедливость такового дела. В афишках упомянуть для какой потребности собирается таковая сумма»¹.

Не менее важное значение члены «Южного общества» придавали срокам и условиям уплаты налогов населением. Предусмотренная сумма налогов, по их мнению, должна уплачиваться не сразу, целиком, а частями, в определенные, установленные сроки. При этом необходимо учитывать условия хозяйственной деятельности налогоплательщиков и *взимать налог в удобное для них время.*

«Волостное Правление, — отмечал П. И. Пестель, — обязано «... в случайности каждого входить..., да и Подати от каждого в разныя времена разными количествами получать»². Такая постановка вопроса несомненно способствовала бы укреплению и развитию хозяйственной деятельности товаропроизводителей.

Декабристы при разработке своей экономической программы известное место отводили вопросам банковской и кредитной системы. В рассматриваемый период банковая и кредитная система России были развиты очень слабо. Распространенным был лишь вексельный кредит. Образованные поземельные банки обслуживали исключительно помещиков-крепостников. Кредит, особенно мелким товаропроизводителям, оказывался преимущественно ростовщиками-торговцами, *взимавшими чрезвычайно высокий процент. Развитие буржуазных форм хозяйства в промышленности, торговле и земледелии вызвало острую необходимость организации широкой сети банков и развития кредита.* Учитывая необходимость преодоления экономической отсталости страны, декабристы придавали большое значение банковской и кредитной системе во всестороннем развитии производительных сил в промышленности и земледелии. Особенно большая заслуга в разра-

¹ Восстание декабристов. Документы. Том XI, Госполитиздат, 1954, стр. 352.

² П. И. Пестель. Русская правда. Восстание декабристов. Документы. Том VII, Госполитиздат, 1958, стр. 202.

ботке этих вопросов принадлежит П. И. Пестелю. Осуществление аграрных преобразований, изложенных в «Русской правде», Пестель связывал с развитием сети местных волостных банков, ломбардов и страховых учреждений. «Весьма будет полезно завести в каждой Волости... банки и Ломбардты а равным образом и страховые учреждения»¹.

Источниками денежных средств банков и страховых учреждений, по мнению Пестеля, являлись:

Во-первых, обязательные ежегодные денежные вклады жителей волости. Сумма этих вкладов определялась заранее и должна была вноситься в банк по частям. Обязательные денежные вклады членов данной волости не предусматривали со стороны банка уплаты по ним процентов.

«Сии Банки могут состояться... ежегодными вкладами определенными количествами от каждого Гражданина той Волости для Составления банка. За сии Вклады не будет Гражданам ростов выдаваться...»²

Во-вторых, основанные на том же принципе ежегодные вклады для образования страхового учреждения. Сумма вклада определялась в зависимости от характера и ценности имущества, подлежащего страхованию.

В-третьих, обычные единовременные вклады, то есть денежные вклады сверх установленных обязательных ежегодных вкладов. По этим вкладам банк уплачивал процент. «За сии последние вклады будут росты выдаваться и они всегда могут назад быть получаемы»³. Вызывает интерес тот факт, что если обычные вклады могли вноситься исключительно в денежной форме, то ежегодные обязательные вклады — не только в денежной, но и в натуральной форме. Реализация произведенной продукции с последующей передачей денежной выручки в банк возлагалась на Волостное правление или Наместное собрание. Учитывая состояние дорог и отдаленность рынков сбыта, Пестель, по всей вероятности, хотел высвободить вкладчиков банка от непроизводительных затрат времени по реализации своей продукции.

В-четвертых, проценты по учетным операциям банков, за переводы денежных средств из одной волости в другую и предоставление денежных ссуд гражданам других волостей.

В-пятых, доходы от сдачи в аренду свободных участков из общественных волостных земель членам других волостей.

¹ П. И. Пестель. Русская правда. Восстание декабристов. Документы. Том VII, Госполитиздат, 1958, стр. 172.

² Там же, стр. 207.

³ Там же.

Задача местных волостных банков, по мнению Пестеля, должна была состоять в оказании кредита всем без исключения гражданам, получившим из общественных земель волости участок для обзаведения хозяйством.

«Из сего банка получать будут Граждане нужное число денег на первоначальное обзаведение своего Хозяйства когда в Земледельческое Состояние поступать будут»¹.

Денежные ссуды на эти цели предоставлялись без процентов и без залога. Они должны были погашаться в течение нескольких лет, причем не только деньгами, но и продукцией.

«Снабжать заимообразно нужными Деньгами Граждан заводящих хозяйство на участках общественной Земли без роста и залога. Сия сумма может быть выплачиваема в течении несколько лет хоть деньгами хоть разными произведениями»².

Если требуемая денежная ссуда превышала установленную сумму, то она должна была выдаваться не иначе как под залог и с уплатой процентов. Под залог предоставлялись кредиты и гражданам других волостей. Предусматривая оказание кредита товаропроизводителям на таких льготных условиях, Пестель, по-видимому, стремился не только обеспечить благоприятные условия для развития и роста доходности хозяйств товаропроизводителей, но и пресечь ростовщические операции.

Интересные мысли высказывает Пестель по использованию свободных денежных средств банка, превышающих потребности в кредитовании. Эти свободные денежные средства он предлагает вкладывать с условием получения процентов в какое-либо общественное предприятие. За счет этих процентов банк мог уплачивать налоги за членов волости, в которой он учрежден.

«Естьли Капиталы или Росты такового Банка до такой степени увеличатся что без потребления оставаться будут то некоторая часть Капитала может употреблена быть на какое нибудь общественное заведение а Росты поступить на Уплату Податей в каковом случае граждане на тот год или на то время или же на то Количество должны от Податей уже быть освобождены»³.

¹ П. И. Пестель, Русская правда, Восстание декабристов. Документы, т. VII, Госполитиздат, 1958, стр. 185.

² Там же, стр. 207.

³ Там же.

Пестель не ограничивал роли банков приемом вкладов и выдачей денежных ссуд товаропроизводителям. Банки, осуществляя коммерческие функции, должны были заниматься учетными операциями и переводом свободных денежных средств из одной волости в другую для содействия, по словам Пестеля, «разным оборотам». В этом случае банки по сути выполняли бы операции капиталистического типа. Отсюда можно сделать заключение, что банковские планы Пестеля носили буржуазный характер.

Следует отметить, что некоторые советские исследователи программы декабристов по вопросам финансово-кредитной системы, например, С. Боровой и другие полагают, что Пестель подчинял банки интересам мелких производителей в сельском хозяйстве. Так, С. Боровой в статье «Декабристы о кредите и банках», опубликованной в 1951 году в журнале «Деньги и кредит», особо подчеркивает, что в центре банковых планов Пестеля находился мелкий производитель в сельском хозяйстве¹.

На наш взгляд ограничение банковых планов Пестеля интересами мелких производителей в сельском хозяйстве является ошибочным. В этом можно убедиться, если принять во внимание принципы волостного деления и учреждения волостных банков. В «Русской правде» Пестель распространяет волостное деление и на города, в которых, как известно, сосредотачивалась промышленность и торговля. При этом, города с населением не менее чем в 1000 человек мужского пола могли составлять особую волость, где также учреждались волостные банки и страховые учреждения. Отсюда следует, что банки и страховые учреждения, созданные в городах, должны были обслуживать уже не мелких сельскохозяйственных производителей, а ремесленников, промышленников и торговцев, то есть в этом случае Пестель подчинял банки и страховые учреждения интересам развития промышленности и торговли. Считая необходимым создания благоприятных условий для развития промышленности и торговли, П. И. Пестель писал, что для народного богатства необходимо «...составить многочисленные Казначейства (банки) принимающая вклады, заведывающая страховыми делами и выдающая деньги под верные Залоги дабы посредством таковых распоряжений подкрепить действия промышленности и увеличить

¹ См. С. Боровой, «Декабристы о кредите и банках». Журнал «Деньги и кредит», № 1. 1951. стр. 34.

обращение предметов народного богатства»¹. Аналогичные мысли содержатся и в «Русской правде» с дополнительным указанием, что «Цель сия в полной мере достигнута будет когда Каждая волость иметь будет свой банк»². В интересах развития промышленности Пестель предлагал создать широкую сеть страховых учреждений для предотвращения от возможных убытков предпринимателей-промышленников.

«Все предметы Промышленности будучи подвержены порчи и опасностям всякого рода, требуют страховых Учреждений дабы обезопасить посредством оных предприятия промышленников»³. Аналогичные функции должны выполнять по мнению Пестеля и волостные банки. Пестель особо указывал, что волостные банки должны служить «...страховым Заведением для разного рода предметов, имуществ и отраслей промышленности, в чем надлежит точныя правила постановить»⁴. Таким образом, мнение некоторых советских исследователей, что в центре банковских планов Пестеля находился мелкий производитель в сельском хозяйстве, является несостоятельным. Банковские планы Пестеля были более широкими. Они не в меньшей мере распространялись на промышленность и торговлю. Отражая капиталистические тенденции в экономике страны, банковские планы Пестеля способствовали бы развитию буржуазных элементов во всех отраслях народного хозяйства.

Разработанные декабристами вопросы реорганизации финансовой системы и развития кредитных отношений представляют большой научный интерес. Сама постановка и разработка вопросов в этой области показывает, что декабристы были оригинальными мыслителями своего времени. В разработке программы укрепления финансово-кредитной системы, кроме декабристов, принимали участие и представители консервативного и либерального направлений русской экономической мысли. Представители консервативного направления подчиняли финансовую систему и кредит интересам помещичьего, крепостнического хозяйства. Это особенно ярко выразилось в программе и политике Канкрин — министра финансов царского правительства.

Относительно прогрессивная программа укрепления фи-

нансовой системы и кредита изложена была М. М. Сперанским и Н. С. Мордвиновым — представителями либерального дворянства, которые высказали интересные мысли об упорядочении налогового обложения, задачах банков и так далее. Несмотря на прогрессивность, их программа в то же время была ограниченной. Ограниченность ее состояла в том, что М. М. Сперанский и Н. С. Мордвинов, руководствуясь интересами дворянства (особенно Мордвинов), осуществление разработанных мероприятий предлагали в рамках самодержавия и крепостничества. Большой заслугой декабристов является то, что их программа укрепления и развития финансово-кредитной системы, в отличие от программы идеологов либерального направления, была не только прогрессивной, но и революционной. Претворение ее в жизнь связывалось с необходимостью уничтожения самодержавия и феодально-крепостнических отношений в стране.

¹ П. И. Пестель. Гражданский судебник. Восстание декабристов. Документы, т. VII, Госполитиздат, 1958, стр. 278.

² П. И. Пестель. Русская правда, там же, стр. 206—207.

³ Там же, стр. 206. См. также Гражданский судебник, стр. 278.

⁴ П. И. Пестель. Русская правда. Восстание декабристов. Документы, т. VII, Госполитиздат, 1958, стр. 207.

Аспирант И. П. БОЛОТИЧ

ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ РОСТА ОКИСЛОВ НА *Mg* И *Al* ОПТИЧЕСКИМ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫМ МЕТОДОМ¹

В исследовании коррозионного процесса на поверхности металлов большую роль может сыграть оптический поляризационный метод изучения тонких пленок. Преимущество его состоит в том, что он сам по себе не вносит искажений в ход процесса, но вместе с тем позволяет осуществлять непрерывный контроль за течением явления коррозии на металле. Теоретически оптический поляризационный метод был разработан Друде [1], широко экспериментально применен и уточнен Тронстадом и рядом других авторов [2]. Основывается он на изучении параметров эллиптической поляризации света, отраженного от металлической поверхности, которые изменяются при окислении и зависят от оптических свойств металла и толщины окисной пленки на его поверхности.

§ 1.

Сущность оптического поляризационного метода

Пусть на металлическую поверхность падает линейно поляризованный свет; плоскость колебаний светового вектора составляет угол Ψ_0 с плоскостью падения луча. В вещественной форме компоненты p и s (в плоскости падения и перпендикулярно к ней) для падающей монохроматической плоскополяризованной волны запишутся в виде:

$$\begin{cases} E_p^{\text{пад}} = E_0 \cos \Psi_0 \cos \omega t = A_p \cos \omega t \\ E_s^{\text{пад}} = E_0 \sin \Psi_0 \cos \omega t = A_s \cos \omega t \end{cases} \quad (1)$$

¹ Работа выполнена на кафедре физики под руководством канд. физико-математических наук доцента Ройха И. Л.

В результате отражения компоненты p и s меняют фазы и амплитуды:

$$\begin{cases} E_p^{omp} = \rho_p E_0 \cos \Psi_0 \cos(\omega t + \delta_p) = R_p \cos(\omega t + \delta_p) \\ E_s^{omp} = \rho_s E_0 \sin \Psi_0 \cos(\omega t + \delta_s) = R_s \cos(\omega t + \delta_s) \end{cases} \quad (2)$$

где: ρ_p и ρ_s — действительные коэффициенты, характеризующие изменения амплитуд; δ_p и δ_s — фазовые смещения соответствующих компонент при отражении, $\delta_p - \delta_s = \Delta$. В результате сложения E_p^{omp} и E_s^{omp} мы получим эллиптически поляризованный свет:

$$\sin^2 \Delta = \left(\frac{E_p^{omp}}{R_p} \right)^2 + \left(\frac{E_s^{omp}}{R_s} \right)^2 - 2 \frac{E_p^{omp} E_s^{omp}}{R_p R_s} \cos \Delta \quad (3)$$

Уравнение (3) представляет уравнение эллипса, который вписан в прямоугольник со сторонами $2R_p$ и $2R_s$, не в канонической форме по отношению к осям p и s . Обозначим через β — угол наклона большой полуоси эллипса a к плоскости падения p . После довольно громоздких преобразований получим:

$$a^2 + b^2 = R_p^2 + R_s^2, \quad (4)$$

$$\operatorname{tg} 2\beta = \operatorname{tg} 2\alpha \cos \Delta, \quad (5)$$

$$\sin 2\theta = \sin 2\alpha \sin \Delta, \quad (6)$$

$$\text{в которых: } \frac{R_p}{R_s} = \operatorname{tg} \alpha, \quad \frac{b}{a} = \operatorname{tg} \theta.$$

Параметры эллиптической поляризации $\Delta = \delta_p - \delta_s$ и $\operatorname{tg} \psi = \frac{A_s}{A_p} \frac{A_p}{R_s} \frac{R_p}{R_p}$ связываются с толщиной окисной пленки L и ее показателем преломления n_1 следующими формулами:

$$L = \frac{\Delta - \bar{\Delta}}{A \left(1 - \frac{1}{n_1^2} \right)}; \quad n_1^2 = \frac{1 + \frac{2\Psi - 2\bar{\Psi}}{\Delta - \bar{\Delta}} \cdot \frac{\cos^2 \varphi - a}{a^2 \sin^2 \bar{\Psi}}}{\cos^2 \varphi}, \quad (7)$$

$$\text{где: } A = - \frac{4\pi}{\lambda} \frac{\cos \varphi \sin^2 \varphi (\cos^2 \varphi - a)}{(\cos^2 \varphi - a)^2 + a'^2},$$

$$a = \frac{1 - \kappa^2}{n^2(1 + \kappa^2)^2}, \quad a' = \frac{2\kappa}{n^2(1 + \kappa^2)^2};$$

L — толщина слоя,

n_1 — показатель преломления слоя,

λ — длина волны падающего монохроматического света,

n — показатель преломления металла,

κ — коэффициент поглощения металла,

$\Delta, \bar{\Psi}$ — параметры эллипса поляризации для чистой металлической поверхности,

Δ, Ψ — аналогичные параметры при наличии окисной пленки,
 φ — угол падения луча на металлическую поверхность

Оптические постоянные металла выражаются через $\bar{\Delta}$ и $\bar{\Psi}$ приближенно следующим образом:

$$n = \frac{\sin \varphi \operatorname{tg} \varphi \cos 2\bar{\Psi}}{1 + \cos \Delta \sin 2\bar{\Psi}}, \quad \kappa = \sin \bar{\Delta} \cdot \operatorname{tg} 2\bar{\Psi} \quad (8)$$

§ 2.

Экспериментальное определение параметров Δ и Ψ .

Определение Δ и Ψ основывается на исследовании эллиптически поляризованного света с помощью поляризационной призмы и кварцевой пластинки в четверть λ . Сориентируем пластинку в $\lambda/4$ так, чтобы ее оси совпали по направлению с осями эллипса. В системе координат, совмещенной с осями эллипса, компоненты по его осям имеют разность фаз $\frac{\pi}{2}$, уравнение эллипса (3) принимает канонический вид. Таким образом поставленная пластинка дополнительно создает разность хода между компонентами в $\frac{\lambda}{4}$, что составляет разность фаз $\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{\lambda}{4} = \frac{\pi}{2}$. Исходя из этого, общая разность фаз между компонентами по осям эллипса (по осям пластинки) после прохождения пластинки $\frac{\lambda}{4}$ будет либо:

1) $\Delta = 0$, если пластинка обгоняющий по фазе вектор затормозит на $\frac{\pi}{2}$;

2) $\Delta = \pi$, если пластинка отстающий по фазе вектор затормозит на $\frac{\pi}{2}$.

В первом и во втором случаях свет линейно поляризован, что следует из уравнения (3). Угол θ , ранее формально введен-

ный, приобретает теперь следующий смысл: это угол, образованный линейно поляризованным светом, вышедшим из пластинки, с осью пластинки.

Сориентируем теперь пластинку $\frac{\lambda}{4}$ так, чтобы ее главная ось была направлена под углом 45° к плоскости падения р: $\beta = 45^\circ$. Эллипс поляризации пусть по-прежнему своими осями направлен по осям пластинки.

Из уравнения (5) следует:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} 90^\circ &= \operatorname{tg} 2\alpha \cos \Delta, \text{ т. е. } \infty = \operatorname{tg} 2\alpha \cos \Delta \\ \text{или } \operatorname{tg} 2\alpha &= \infty, \alpha = 45^\circ (45 \pm 2k\pi). \end{aligned}$$

Это означает, что $R_p = R_s$. Учтя значение для α , из уравнения (6) получим: $\sin 2\theta = \sin 2\alpha \sin \Delta = \sin \Delta, 2\theta = \Delta$ (9)

(точнее $2\theta = \Delta \pm 2k\pi$), т. е. разность фаз эллиптически поляризованного света равна удвоенному углу плоскости колебаний линейно поляризованного света, вышедшего из пластинки, с ее осью.

Остается связать второй параметр эллипса поляризации $\operatorname{tg} \Psi$ с какой-либо легко экспериментально определяемой величиной.

Это получается из уравнений 1, 2, если учесть, что $\operatorname{tg} \alpha = 1$:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \Psi &= \frac{A_s}{R_s} : \frac{A_p}{R_p} = \frac{\rho_p}{\rho_s} = \operatorname{tg} \Psi_0 \\ \operatorname{tg} \Psi_0 &= \frac{A_s}{R_s} : \frac{A_p}{R_p}, \end{aligned} \quad (10)$$

где Ψ_0 — угол плоскости колебаний падающего линейно поляризованного луча с плоскостью падения р.

На основании уравнений (9) и (10) устанавливается определенная методика измерений параметров эллиптической поляризации $\operatorname{tg} \Psi$ и Δ .

§ 3.

Устройство и работа с поляризационным гониометром

Для исследований эллиптически поляризованного света, отраженного от металлической поверхности, нами был сконструирован поляризационный гониометр, внешний вид которого показан на рис. 1, а принципиальная схема на рис. 2.

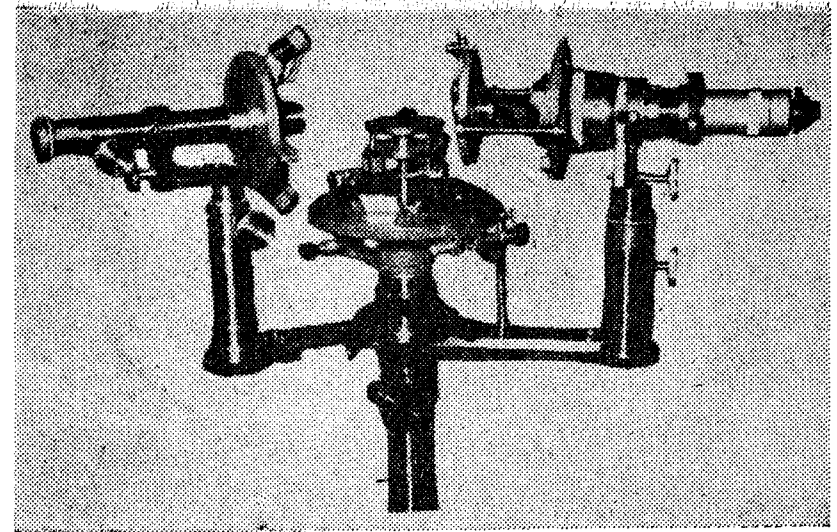


Рис. 1. Общий вид поляризационного гониометра.

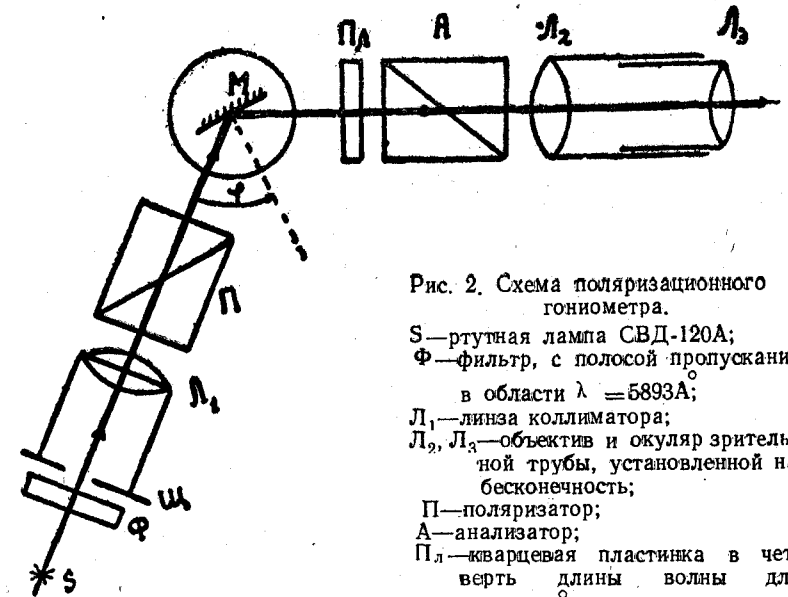


Рис. 2. Схема поляризационного гониометра.

S — ртутная лампа СВД-120А;
Ф — фильтр, с полосой пропускания в области $\lambda = 5893\text{А}$;
Л₁ — линза коллиматора;
Л₂, Л₃ — объектив и окуляр зрительной трубы, установленной на бесконечность;
П — поляризатор;
А — анализатор;
П_л — кварцевая пластинка в четверть длины волны для $\lambda = 5893\text{А}$;
М — исследуемая металлическая поверхность.

Поляризатор, апализатор и пластинка в $\lambda/4$ смонтированы в круговых лимбах с точностью отсчета $30''$.

Порядок измерений следующий:

1. Определяем направление плоскости падения. Для этого снимаем анализатор и пластинку в $\lambda/4$. На предметный столик помещаем отражающую стеклянную пластинку, находим для нее угол Брюстера. Если на эту пластинку направить под углом Брюстера линейно поляризованный свет, полученный с помощью поляризатора, отраженного луча не будет, причем плоскость колебаний падающего света совпадет с плоскостью падения и главной плоскостью поляризатора, направление которой и отмечаем по лимбу ρ_0 .

2. Устанавливаем анализатор, убираем стеклянную пластинку. Вращаем анализатор до полного затемнения, тогда получаем на его лимбе направление, перпендикулярное плоскости падения a_0' .

3. Ставим пластинку $\lambda/4$ и вращаем ее при скрещенных поляризаторе и анализаторе до затемнения. В этом случае пластинка установлена осями параллельно и перпендикулярно плоскости падения. Поворачивая ее на 45° , получаем исходное требуемое положение: ось пластинки направлена под углом 45° к плоскости падения. В дальнейшем это положение не меняется.

4. Отмечаем на лимбе анализатора направление под углом 45° к плоскости падения, которое требуется для отсчета углов

$$\theta: \quad a_0' \pm 45^\circ = a_0$$

Если теперь необходимо, например, определить параметры эллиптической поляризации Δ и Ψ для света, отраженного от металлической поверхности, то для этого достаточно подобрать такие азимуты поляризатора и анализатора, при которых отраженный свет полностью гасится. Величины Δ и Ψ определяются непосредственно по ориентации анализатора и поляризатора по отношению к a_0 и ρ_0 при гашении. Полное гашение устанавливается визуально.

Методика эксперимента требует, чтобы условия отражения на поверхности металла были одинаковыми по всей площади, на которую падают лучи, т. е. должна быть одна и та же плоскость падения и угол падения. В процессе исследований для Al и Mg были выработаны следующие необходимые

условия обработки: образец предварительно зачищался на наждачной микронной бумаге, а затем тонко шлифовался на оптическом стекле с помощью паст ГОИ. Шлифование осуществлялось на диске, приводимом во вращение электродвигателем. В процессе шлифовки более грубые пасты заменялись тонкими в такой последовательности: 30μ , 15μ , $7-5 \mu$ (для Mg достаточно лишь тонкой пасты $5-7 \mu$). После обработки каждой пастой металл тщательно промывался чистым толуолом. В конце шлифовки поверхность металла обезжиривалась промыванием в горячей дистиллированной воде, ацетоне, спирте. Весь процесс шлифовки и последующего промывания образца занимал около 20 минут для Al и 15 минут для Mg. Высота неровностей профиля металлической поверхности металла лежала в пределах 10—11 классов ($H_{ск} = 0,14-0,1 \mu$). Подготовленный образец помещался на столик поляризационного гониометра и снимались начальные показания Δ и 2Ψ для чистой металлической поверхности. По Δ и 2Ψ на основании формул (8) вычислялись постоянные ρ и κ для металла. Затем по мере образования на поверхности металла слоя окисла измерялись значения Δ и 2Ψ . По этим значениям, используя формулы (7), определялись толщины L и показатель преломления n_1 слоя окисла на металле в различные моменты времени от начала окисления.

Для оптических постоянных металла ρ и κ и показателя преломления n_1 окисной пленки получены следующие данные при $\lambda = 5890 \text{ \AA}$ и $\varphi = 60^\circ$:

Таблица 1

	ρ	κ	n_1
Al	2,37	1,53	1,51
Mg	0,484	6,93	1,7

Результаты измерений дают возможность построить кривые кинетик роста окисла на Al и Mg, которые представлены на рис. 3 и 4.

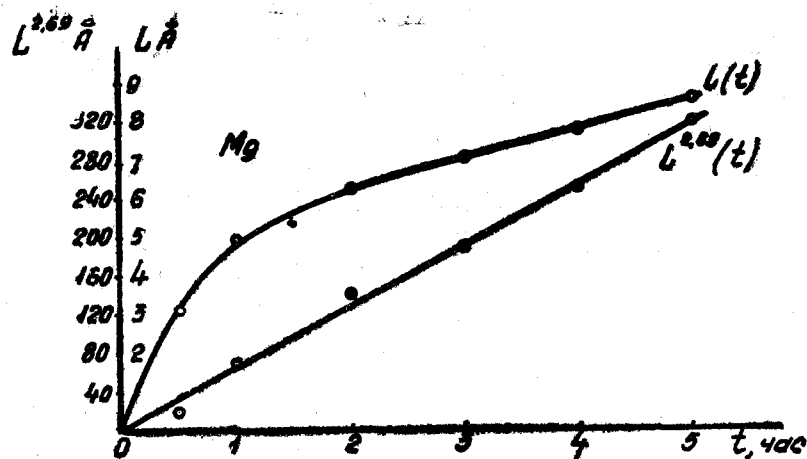


Рис. 3. Кинетика роста толщины окисной пленки на Mg при атмосферной коррозии.

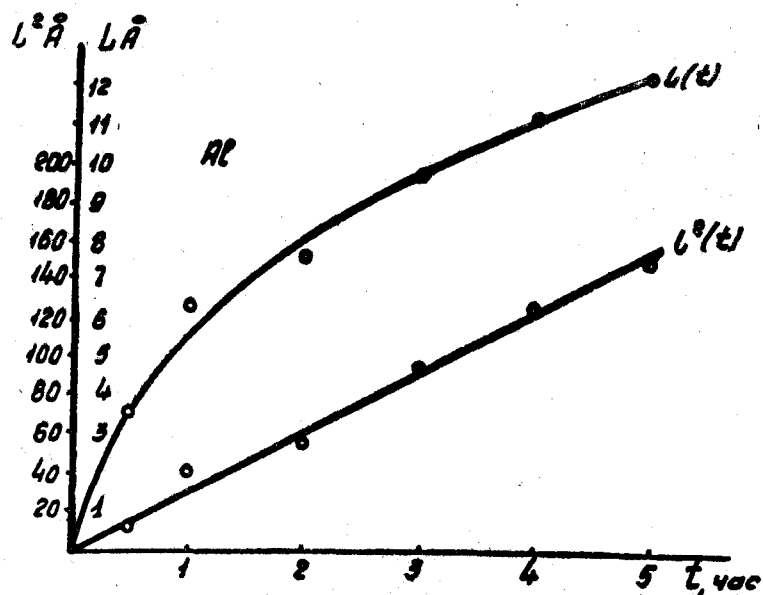


Рис. 4. Кинетика роста толщины окисной пленки на Al при атмосферной коррозии.

Исследования проводились при $t=20^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности $\varphi = 63\% \pm 5\%$. Химический состав исследованных металлов:

Таблица 2

Металлы	Fe	Si	Mn	Cu
Примеси в %				
Mg	0,004	0,009	0,0021	—
Al	0,0016	0,0016	—	0,001

Каждая точка на графике является средним значением из десяти измерений для Al и восьми — для Mg.

Использование лампы СВД-120А с яркостью около 50000 стильбов, тщательная адаптация глаза (15—20 минут), строгое соблюдение неподвижности образца на предметном столике в течение исследования всего процесса кинетики (5 часов) обеспечили возможность измерения L в 2—3Å.

При обсуждении полученных результатов следует иметь в виду, что поверхность металла во всех случаях начала исследования никогда не была достаточно чистой от слоя окисла [3]. Кроме того, оптическими исследованиями показано [4], что на всех окисляющихся металлах имеет место также образование поверхностной адсорбированной газовой пленки, которая, например, на Al достигает 9Å. Если исходить из этих данных, то суммарная толщина начальной пленки должна привести к изменению $\bar{\Delta}$ и $2\bar{\Psi}$ для Al соответственно на величины 1° — $1,5^{\circ}$, $10'$ — $12'$. Такое изменение $\bar{\Delta}$ и $2\bar{\Psi}$, принятых за начальные значения для чистого металла при соответствующих вычислениях μ и κ по формулам (11), вызывает в них незначительные изменения, что при вычислениях L дает ошибку около 2—3%.

Исходя из этого, приводимый на графиках (рис. 3 и 4) прирост толщины пленки окисла на Al и Mg можно считать вполне достоверным. Определения толщины окисла на Al через 24 часа давали значения $L=17$ — 20Å . В дальнейшем с течением времени рост окисной пленки сильно замедлялся и че-

рез сутки L возросло менее, чем на 4Å . На Mg и через 2—3 суток обнаруживалось увеличение толщины окисла:

$$L_{24\text{ ч}} \sim 15\text{Å}, L_{48\text{ ч}} \sim 22\text{Å}$$

Спрямление кривых на рис. 3 и 4 дает следующие закономерности роста L в исследованном интервале времени (5 часов) для Al $L^2 = 31t$,
для Mg $L^{2,69} = 63t$.

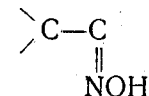
ЛИТЕРАТУРА:

1. P. Drude. Wied. Ann. 36, 532, 865 (1889) 39, 481 (1890).
2. Z. Tronstad. Trans. Farad. Soc. 31, 1151, (1935).
B. Winterbottom. Optical studies of metal surfaces. Det kgl. Norske videnskabers selskabs skrifter 1955 № 1.
Т. Н. Крылова, Изв. АН СССР (1938), ОТН, № 10.
3. Шишаков Н. А., В. В. Андреева, Н. К. Андрущенко, Строение и механизм образования окисных пленок на металлах. Из-во АН СССР 1959 г.
4. В. В. Андреева, Труды ин-та физ. химии АН СССР, вып. VI, 79 (1957).
Vlasáková, Werskoffe und Korrosion № 8/9, 536 (1958).

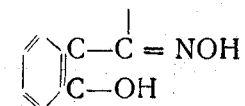
Аспирант Г. Ф. ПРЯДКО,
Г. А. ВОДАТУРСКИЙ, канд. хим. наук, доцент

ДРОБНАЯ РЕАКЦИЯ НА МИКРОЭЛЕМЕНТ МЕДЬ С ПРИМЕНЕНИЕМ β -НАФТИЛАМИНА

В настоящее время в аналитической химии широкое применение находят органические реактивы. Они используются для качественного обнаружения и количественного определения различных веществ, в том числе и ионов металлов. Ионы меди могут быть определены качественно и количественно с помощью определенных органических реактивов. Исследователи, изучавшие химизм этих реакций, определили даже функционально-аналитические группы для тех или иных ионов металлов. Для двухвалентной же меди к специфическим реактивам в аммиачной среде они [1] относят те, которые содержат группу атомов



Такую группировку имеют соединения типа α -ацилиноксимов. С соединениями такого типа ионы меди образуют труднорастворимые в поле соединения, окрашенные в зеленый цвет. Некоторые авторы [1] доказывают, что группировка



тоже является функционально аналитической. Например, салицилальдоксим, имеющий такую группировку, образует внутрикомплексную соль с ионами меди.

Нам кажется, что ограничиться этими группировками нельзя. Не только соединения, обладающие указанными груп-

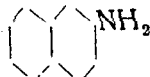
пировками, способны давать окрашенные соединения с ионами меди.

В известных условиях образуются соединения и с орто-оксихинолином [2], и с дитизоном [3, 4], и с этилксантогенатом [5], и с пара-толуидином [6], и с α -нафтиламином [7, 5] и др.

Из перечисленных реактивов представляет интерес паратолуидин, который в присутствии перекиси водорода образует интенсивно окрашенное соединение с ионами меди [6]. Используемый в наших исследованиях β -нафтиламин образует тоже ярко окрашенное соединение. Поэтому эта реакция предлагается как дробная для качественного обнаружения ионов двухвалентной меди.

Экспериментальная часть

Реактив β -нафтиламин представляет собою белые или красноватые кристаллы состава



без характерного запаха. Он растворим в горячей воде, спирте, эфире. Растворы его обладают сильной фиолетовой флуоресценцией.

Предварительные исследования показали, что для реакции удобнее всего пользоваться спиртовым раствором β -нафтиламина. При определении же малых количеств меди лучше пользоваться насыщенным спиртовым раствором реактива.

Величина оптической плотности спиртового раствора β -нафтиламина изменяется в зависимости от используемого светофильтра и от концентрации.

Колориметрированию подверглись насыщенный спиртовый раствор β -нафтиламина и растворы, полученные от разбавления исходного в 2, 3 и т. д. раз.

Результаты определений сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Длина волны светового потока в μ	Оптическая плотность растворов при концентрациях					
	Насыщ. р-р	1:1	1:2	1:5	1:8	1:12
415	0,356	0,191	0,125	0,063	0,042	0,043
585	0,285	0,145	0,091	0,042	0,031	0,026
525	0,236	0,122	0,082	0,039	0,031	0,022
595	0,179	0,078	0,056	0,019	0,020	0,020
680	0,102	0,045	0,031	0,009	0,011	0,004

Кривые поглощения β -нафтиламина для некоторых концентраций показывают, что максимум лежит в ультрафиолетовой части спектра.

При стоянии на воздухе бесцветный исходный раствор реактива быстро изменяется, приобретая окраску. При стоянии в закрытом сосуде и в склянке из темного стекла изменение реактива происходит значительно медленнее.

Зависимость оптической плотности исходного раствора реактива от времени стояния представлена в таблице 2.

Таблица 2

Длина волны светового потока в μ	Оптическая плотность		
	свежеприготовленный раствор	через 4 часа	через 6 часов
415	0,356	0,363	0,365
485	0,285	0,294	0,283
525	0,236	0,248	0,220
595	0,179	0,183	0,138
680	0,102	0,127	0,081

Первоначальные опыты проводились с растворами химически чистых солей различных катионов и анионов (катионы и анионы указаны ниже при следующем порядке добавления реактивов).

К исследуемому раствору добавляли 2—3%-ный раствор перекиси водорода и затем спиртовый раствор β -нафтиламина. Выпадающий осадок растворяли в спирте (96°) и затем наблюдали появление окрашивания.

Такой порядок в основном использовался и в дальнейших исследованиях с учетом различных дополнительных операций.

Испытанию подвергались 0,1N растворы следующих катионов:

NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Mg^{+2} , Ba^{+2} , Ca^{+2} , Sr^{+2} , Co^{+2} , Ni^{+2} , Fe^{+3} , Fe^{+2} , Mn^{+2} , Al^{+3} , Cr^{+3} , Zn^{+2} , Pb^{+2} , Cu^{+2} , Cu^{+1} , Bi^{+3} , Cd^{+2} , Sb^{+3} , Sb^{+5} , Sn^{+2} , Sn^{+4} , As^{+3} , As^{+5} , Hg^{+2} , Hg^{+1} , Ag^{+1} , Rb^{+1} , Li^{+1} , Tl^{+1} , La^{+3} , Th^{+4} , V^{+5} , UO_2^{+2}

и растворы следующих анионов: Cl^- , Br^- , I^- , F^- , PO_4^{-3} , $\text{C}_2\text{O}_4^{+2}$, SO_4^{-2} , SO_3^{-2} , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$, CrO_4^{-2} , $\text{S}_2\text{O}_3^{-2}$, CNS^- , S^{-2} , NO_2^- , NO_3^- , CH_3COO^- , $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6^{-2}$, $\text{C}_3\text{H}_5\text{O}(\text{COO})_3^{-2}$, MnO_4^- , MoO_4^- , $\text{B}_4\text{O}_7^{-2}$, HCO_2^- , WO_4^{-2} , OsO_4^{-2} .

Некоторые ионы образуют бесцветные, другие слабо окрашенные соединения, растворимые или нерастворимые в спирте. Это показано в таблице 3.

Таблица 3

И о н ы	Характеристика реакции испытуемого раствора с β -нафтиламином
Cu^{-1-2} , Co^{-1-2} , Ni^{-1-2} , Cr^{-1-3} , Fe^{-1-3} , Pb^{-1-2} , WO_4^{-2} , OsO_4^{-2} , MnO_4^{-} .	Образование окрашенных соединений, растворимых в спирте
Mn^{-1-2} , Fe^{-1-2} , Cu^{-1-} , Bi^{-1-3} , Sn^{-1-2} , Sn^{-1-4} , Sb^{-1-3} , Sb^{-1-5} , Th^{-1-4} , V^{-1-5} , UO_2^{-1-2} .	Образование окрашенных или бесцветных осадков, нерастворимых в спирте.

Очень интенсивное окрашивание образуют соединения двухвалентной меди с β -нафтиламином; меньшей интенсивности, но сходного окрашивания получают соединения трехвалентного железа.

Это было учтено в дальнейшей работе с отдельными группами катионов и со смесью их.

Группы катионов были взяты следующие:

1. NH_4^{+} , K^{+} , Na^{+} , Mg^{-1-2} , Rb^{+} , Li^{+} ;
2. Ba^{-1-2} , Ca^{-1-2} , Sr^{-1-2} ;
3. Co^{-1-2} , Ni^{-1-2} , Fe^{-1-3} , Fe^{-1-2} , Mn^{-1-2} , Zn^{-1-2} , Al^{-1-3} , Cr^{-1-3} ;
4. Bi^{-1-3} , Cd^{-1-2} , Sn^{-1-2} , Sn^{-1-4} , Sb^{-1-3} , Sb^{-1-5} , As^{-1-3} , As^{-1-5} , Hg^{-1-2} , Pb^{-1-2} ;
5. Hg^{-1-} , Ag^{-1-} .

Каждая из групп анализировалась в отсутствии и в присутствии двухвалентной меди. Характерно, что в присутствии меди раствор, содержащий данную группу катионов, окрашивался в интенсивно оранжево-красный цвет.

Для того, чтобы трехвалентное железо не мешало определению меди, добавляли фтористый натрий (сухую соль). Избыток фтористого натрия снижает интенсивность окрашенного раствора.

Представляет интерес изучение влияния различных ионов на степень окрашивания раствора в присутствии меди. Оказа-

лось, что присутствие в испытуемом растворе NH_4Cl и иона NO_2^{-} не снижает интенсивности окраски комплексного соединения.

Присутствие ионов Br^{-} , J^{-} , NO_3^{-} , CNS^{-} сильно снижает ее. Наличие же в растворе ионов OH^{-} , SO_4^{-2} , Cl^{-} (HCl), $\text{CH}_3\text{COO}^{-}$, HPO_4^{-2} , $\text{C}_2\text{O}_4^{-2}$ и др. препятствует появлению окрашенного соединения меди.

При взаимодействии двухвалентной меди с β -нафтиламином имеет большое значение среда. Реакция реактива с металлами происходит при $\text{pH}=6,5-7,5$. В этом случае реакция протекает сравнительно медленно и максимальное окрашивание раствора устанавливается в течение довольно продолжительного времени.

При $\text{pH}>7,5$ реакция тоже проходит, но образуются нерастворимые в спирте осадки, поэтому интенсивность окрашивания снижается.

При $\text{pH}<6$ реакция не протекает.

Однако, если к спиртовому раствору уже полученного комплекса прибавить HCl и довести pH раствора до 2,5—4, то интенсивность окраски сильно увеличивается и максимум окрашивания устанавливается сразу.

Концентрация водородных ионов влияет также на устойчивость окрашенного комплекса. В среде, близкой к нейтральной, окраска начинает разрушаться уже через сутки. Окраска исследуемого раствора при $\text{pH}=2,5-4$ не изменяется в течение многих дней.

На основании всех этих данных были проведены опыты по качественному обнаружению двухвалентной меди в присутствии всех катионов. Если двухвалентной меди содержится в растворе значительное количество, то можно открыть ее в присутствии смеси катионов без предварительного их отделения. В случае малых количеств меди необходимо произвести отделение. Для этой цели был использован аммиак. В растворе после центрифугирования остаются лишь некоторые ионы (K^{+} , Na^{+} , Cu^{-1-2} , Ni^{-1-2} , Co^{-1-2} и др.).

Из них Co^{-1-2} и Ni^{-1-2} образуют соединения слабо окрашенные в растворе даже при 10—20-кратном количестве по сравнению с количеством двухвалентной меди. Поэтому определить ее можно в их присутствии.

Чувствительность данной реакции проверялась на химически чистой соли меди и на смеси катионов.

Определение чувствительности проводилось по методу, указанному в «ходе определения».

Данные для химически чистых солей приведены в таблице 4.

Таблица 4

№ п.п.	К-во испытуемого раствора в мл.	К-во меди, взятой для анализа в мг	Внешний эффект реакции
1	1	7,5	Интенсивное окрашивание и образование коричневого осадка.
2	1	0,75	»
3	1	0,074	Интенсивное окрашивание.
4	1	0,0074	Окрашивание раствора в красный цвет.
5	1	0,00074	Красноватое окрашивание раствора.
6	1	0,000074	Едва заметное слабо розовое окрашивание.

Чувствительность реакции в присутствии смеси других катионов несколько снижается. Для химически чистых солей чувствительность 0,74 γ меди в 1 мл раствора. Для смеси катионов — 7,4 γ в 1 мл раствора.

Ход определения

Выработана следующая методика обнаружения меди из раствора, содержащего смесь катионов.

Если испытуемый раствор имеет осадок, его следует отделить. Затем нужно провести осаждение ионов аммиаком, доведя раствор до $\text{pH}=8-10$.

После центрифугирования центрифугат нейтрализуется и доводится раствор до $\text{pH}=5-6$. Добавляется 2—3%-ный раствор перекиси водорода и насыщенный спиртовой раствор β -нафтиламина. Следует добавить по каплям аммиак до выпадения объемистого осадка реактива. При этом происходит взаимодействие реактива с металлами. Осадок нужно растворить в этиловом спирте (96°) и добавить соляной кислоты до $\text{pH}=2,5-4$. В случае присутствия меди раствор окрашивается в малино-красный цвет.

Выводы

1. Найдена новая реакция для дробного обнаружения меди с реактивом β -нафтиламином.

2. Установлено, что спиртовой раствор β -нафтиламина в присутствии перекиси водорода является характерным реактивом на медь.

3. Изучена зависимость оптической плотности β -нафтиламина от концентрации раствора.

4. Изучена зависимость оптической плотности реактива β -нафтиламина от времени.

5. Разработана методика проведения дробной реакции на медь.

6. Установлена чувствительность реакции для химически чистых солей и для смеси катионов. Для химически чистых солей чувствительность 0,74 γ меди в 1 мл раствора, для смеси катионов — 7,4 γ в 1 мл раствора.

7. Время продолжительности одного опыта 5—10 минут.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кульберг Л. М. Органические реактивы в аналитической химии, Госхимиздат, 1950.
2. Берг Р. Применение о-оксихимолтина в аналитической химии, ОНТИ, 1937.
3. Кольтгоф И. М. и Сендэл Е. Б. Количественный анализ, Госхимиздат, 1948.
4. Сендэл Е. Б. Колориметрическое определение следов металлов, Госхимиздат, 1949.
5. Коренман И. М. Микрорентгенофлуоресцентный анализ, Госхимиздат, М., 1955.
6. Филиппова К. И. и Иванова Л. П. ЖАХ, XIV, 5, 630, 1959.
7. Блок Н. И. Качественный химический анализ, Госхимиздат, 1952.

Аспирант Р. В. ЛЕВЧИШИНА

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕМИЦЕЛЛЮЛОЗ МЕТЕЛОК ТРОСТНИКА¹

По литературным данным [1—3] тростник обыкновенный (*Phragmites communis*) состоит из метелки, рубашки, узлов, междоузлий и листьев, причем метелки составляют 3—6% по отношению к весу растения в целом [4—6].

По данным М. И. Горяева и других [5—7] метелки содержат значительное количество полисахаридов (пентозанов 24,9—25,6%, целлюлозы — 26,8—31,1%), что определяет целесообразность их переработки в кормовые дрожжи, молочную кислоту и другие продукты [7, 8, 9].

Метелки составляют основные отходы заводов по получению камышитовых плит и других строительных материалов. Еще в больших количествах они будут собираться на запланированных целлюлозно-бумажных заводах на основе тростника. Это и определяет необходимость дальнейшего исследования свойств гемицеллюлоз метелок тростника.

В нашей статье описываются результаты сравнительного исследования гемицеллюлоз метелок августовского и октябрьского тростников: определение их моносакхаридного состава, молекулярного веса и оптической активности.

Объектом исследования служили метелки тростника устья реки Днестр, убранных в августе и октябре. Такое время взятия проб объясняется тем, что нормально развивающийся стебель выбрасывает соцветие-метелку в конце июля—начале августа, а в октябре химический состав тростника района реки Днестр стабилизируется.

¹ Работа выполнена на кафедре органической химии под руководством к. т. н. доцента Дудкина М. С.

Для получения гемицеллюлоз 100 г метелок тростника после предварительного измельчения заливали 4%-ным NaOH (модуль 1:15) и настаивали 72 часа при комнатной температуре, периодически взбалтывая. Затем массу отфильтровывали через хлопчатобумажную ткань. Фильтрат нейтрализовали уксусной кислотой до слабокислой среды и вливали в 6 литров метилового спирта. При этом выпадал обильный хлопьевидный осадок сырых гемицеллюлоз. Выделенные гемицеллюлозы промывали метиловым спиртом до нейтральной реакции. Выход составил 19—20% от исходного сухого сырья.

Для определения моносахаридного состава один грамм влажных гемицеллюлоз заливали 10 мл 1 N H₂SO₄ и кипятили с обратным холодильником в течение 3,5 часов. В гидролизатах определяли общее количество редуцирующих веществ по Бертрану. С помощью хроматографии на бумаге определяли качественный состав сахаров.

В связи с неоднородностью гемицеллюлоз, кроме вышеописанного метода гидролиза, проводили гидролиз гемицеллюлоз в более жестких условиях.

Для этого 0,2 грамма влажных гемицеллюлоз заливали 10 мл 80%-ной H₂SO₄ и выдерживали 2,5 часа при комнатной температуре. Затем разбавляли пятнадцатикратным количеством воды и кипятили с обратным холодильником в течение 5 часов. Фильтровали и полученные фильтраты характеризовали, как было описано выше. При сравнении результатов гидролиза гемицеллюлоз в различных условиях оказалось, что часть гемицеллюлоз гидролизуеться легко, другая часть, составляющая 15—19%, более трудно. Полученные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1

Исходный материал	Выход РВ при гидролизе		Моносахаридный состав гидролизатов			Лигнин
	1 N H ₂ SO ₄	80% H ₂ SO ₄	ксилоза	арабиноза	уроно-вая кислота	
Гемицеллюлозы метелок августовского тростника	56,20	69,76	+	+	+	17,98
Гемицеллюлозы метелок октябрьского тростника	58,58	69,62	+	+	+	17,87

Из таблицы 1 видно, что сырые гемицеллюлозы, выделенные из метелок августовского и октябрьского тростников, по своему химическому составу одинаковы: при гидролизе они дают примерно одинаковое количество редуцирующих веществ и содержат ксилозу, арабинозу, небольшое количество уроновых кислот. Примерно 80—84% гемицеллюлоз гидролизуются 1 N H₂SO₄ при t=101°, остальные гидролизуются в жестких условиях.

Наряду с гемицеллюлозами из метелок тростника извлекается и лигнин, составляющий примерно 18%.

Сырые гемицеллюлозы характеризовались также по величине молекулярного веса, степени полимеризации и удельному вращению.

Для определения молекулярного веса сырые гемицеллюлозы растворяли в 6%-ном NaOH и готовили 0,2%-ные растворы. Определение проводили в вискозиметре Оствальда.

Эти растворы гемицеллюлоз были использованы при определении удельного вращения.

Предполагая, что звено макромолекулы состоит из пентоз, вычисляли степень полимеризации. Результаты определения приведены в таблице 2.

Таблица 2

Исходный материал	Молекулярный вес по вязкости	Вычисленная СП	[α] _D ¹⁷
Гемицеллюлозы метелок августовского тростника	21600	163	—193,7
Гемицеллюлозы метелок октябрьского тростника	17850	135	— 54,44

Из таблицы 2 видно, что гемицеллюлозы метелок августовского тростника имеют больший молекулярный вес и большую степень полимеризации, чем гемицеллюлозы метелок октябрьского тростника, и молекулярный вес гемицеллюлоз метелок в процессе вегетации уменьшается. Между количеством легко расцепляющихся гемицеллюлоз и молекулярным весом вероятно зависимость. Гемицеллюлозы метелок тростника, имеющие более высокий молекулярный вес, содержат меньшее количество легко расцепляющихся гемицеллю-

доз и большее количество гемицеллюлоз, расщепляющихся в жестких условиях.

Отрицательное удельное вращение для гемицеллюлоз метелок тростника указывает на наличие β -глюкозидной связи [10].

Гемицеллюлозы метелок августовского тростника имеют значительно большую величину удельного вращения, нежели гемицеллюлозы метелок октябрьского тростника.

Выводы

1. Гемицеллюлозы метелок августовского и октябрьского тростников одинаковы по химическому составу.

2. Гемицеллюлозы метелок августовского тростника содержат 80,57% легкогидролизуемых и 19,43% трудногидролизуемых гемицеллюлоз, а гемицеллюлозы метелок октябрьского тростника содержат 84,15% легкогидролизуемых и 15,85% трудногидролизуемых.

3. Гемицеллюлозы метелок августовского тростника имеют более высокий молекулярный вес, степень полимеризации, удельное вращение.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Смиренский А. А. Водные кормовые и защитные растения в охотничье-промысловых хозяйствах, вып. 1, 1950.
2. Краузэ А. Камыш как предмет культуры и побочного пользования в лесном и сельском хозяйствах. «Записки императорского общества сельского хозяйства Южной России», 1879.
3. Пашков Г. Д. Водная и водно-прибрежная растительность Веселовского водохранилища. «Ученые записки Ростовского Госуниверситета», т. 12, вып. 1, 1948.
4. Ихельзон С. М. Производственные опыты получения бумаги и картона из тростника, произрастающего в дельте Волги. «Сб. трудов Украинского научно-исследовательского ин-та целлюлозной и бумажной промышленности», вып. 1, Киев, 1957.
5. Дербенцев Ф. Ф. Использование тростника в целлюлозно-бумажной промышленности. «Бумажная промышленность», № 3, 1958.
6. Новости зарубежной техники. Бумага и целлюлоза, ЦБТИ бумажной и деревообрабатывающей промышленности 2 (7), 1958.
7. Горяев М. И., Мирфанзов Х. М. Исследования химического состава Казахстанского тростника. Сб. «Вопросы использования пентозансодержащего сырья», Рига, 1959.
8. Материалы советско-румынского совещания по обмену опытом в области использования тростника в целлюлозно-бумажной промышленности, ч. 1, Киев, 1959.
9. Эдмон Райхман. Освоение тростника в дельте Дуная. «Бумажная промышленность», № 10, 1957.
10. Роговин З. Н., Шарыгина Н. Н. Химия целлюлозы и ее спутников. Госхимиздат, 1953.

Аспирант В. Ф. РЕВВА

НЕКОТОРЫЕ СЛУЧАИ КОНСТРУКТИВНОГО ДЕМПФИРОВАНИЯ НИЗКОАМПЛИТУДНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Задачи исследования колебаний деталей машин и инженерных конструкций с учетом рассеяния энергии приобрели особую актуальность в связи с бурным развитием современного машиностроения. Расчет и конструирование различных машин и механизмов немыслимы без учета колебаний в отдельных их элементах и без решения задач демпфирования этих колебаний.

Было выполнено большое количество теоретических и экспериментальных работ, посвященных главным образом проблеме внутреннего трения в материале, из которого изготовлена конструкция. Однако внутреннее трение в материале является не единственной, а во многих случаях и не основной причиной рассеяния энергии в конструкции. Рассеяние энергии в местах контакта отдельных деталей может быть значительно больше, чем рассеяние энергии, связанное с внутренним трением в материале. Явление рассеяния энергии вследствие действия сил трения в местах контакта может быть названо конструктивным демпфированием.

Вопросы конструктивного демпфирования изучались значительно меньше, чем внутреннее трение в материале, хотя на эту проблему за последнее время обращается значительное внимание. Здесь следует отметить работы Сойфера А. М. [1], Бяня [2] и особенно Пановко Я. Г., Гольцева Д. И. и Страхова Г. И. [3]. Однако вопросы конструктивного демпфирования, учитывая их большую многогранность, изучены еще совершенно недостаточно. Особенно актуальным является разработка методов конструктивного демпфирования для низкоамплитудных колебаний, когда переменные напряжения в колеблющейся системе невелики. При этом рассеяние энергии

в материале конструкции будет незначительно, а при помощи конструктивного демпфирования можно добиться существенного уменьшения амплитуд.

В настоящей статье изложены некоторые вопросы аналитического и экспериментального исследования конструктивного демпфирования при низкоамплитудных колебаниях.

§ 1. Конструктивное демпфирование при растяжении-сжатии.

Рассмотрим стержень прямоугольного поперечного сечения, к которому прижаты тонкие накладки, имеющие по концам два буртика длиной a и d (рис. 1). Ширина стержня и

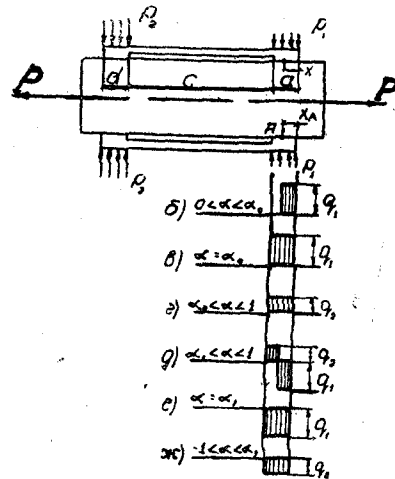


Рис. 1. Схема стержня и накладок при растяжении-сжатии.

накладок одинаковая и равна b . Давление прижатия буртика a равно p_1 , буртика d — p_2 . Примем, что $p_1 \ll p_2$. К концам стержня приложены переменные силы P , изменяющиеся по гармоническому закону. Текущее значение силы определим формулой:

$$P = P_{\max} \cdot \sin \omega t, \quad (1)$$

где: ω — частота изменения силы,

P_{\max} — наибольшее значение силы.

Либо обозначив $\sin \omega t = \alpha$, где безразмерный параметр α изменяется периодически в интервале $(-1, +1)$, получим

$$P = \alpha P_{\max} \quad (2)$$

Предполагается, что после прижатия накладок начальные сдвиги между стержнем и накладками отсутствуют.

Рассмотрим два этапа изменения сил P : I-возрастание сил P от нуля до наибольшего значения P_{\max} . При этом α будет изменяться от 0 до $+1$; II-уменьшение сил P от наибольшего значения P_{\max} до наименьшего значения $-P_{\max}$. При этом α будет изменяться от $+1$ до -1 .

I этап.

1. Под действием сил P стержень растягивается. При этом наблюдается взаимное проскальзывание между стержнем и накладками.

Согласно исследованиям Пановко Я. Г. [3] взаимодействие между накладками и стержнем будет при сколь угодно малых значениях силы P , т. е. сдвиги между накладками и стержнем появятся при сколь угодно малых значениях параметра α . Сдвиги начнутся с концов накладок. Так как принято $p_1 \ll p_2$, то в дальнейшем будем считать, что зона сдвигов на участке d мала и величиной проскальзывания на этом участке можно пренебречь. Таким образом, в дальнейшем рассматриваются только сдвиги буртика a относительно стержня. Пока силы P малы, а, следовательно, мал и параметр α , зона сдвигов распространится лишь на некоторую часть x участка a (рис. 1). Вне этой части накладки и стержень деформируются совместно и усилия, передаваемые ими, распределятся пропорционально их жесткостям при растяжении-сжатии.

Обозначим: $k_c = E_1 F_1$ — жесткость стержня,

$k_n = E_2 F_2$ — жесткость накладки,

где: E_1 и E_2 — модули упругости материалов стержня и накладок,

F_1 и F_2 — площади поперечных сечений стержня и накладок.

Отношение жесткостей обозначим: $\frac{k_c}{2k_n} = \frac{k_2}{2k_1}$,

где $k_2 + 2k_1 = 1$.

Усилия, передаваемые стержнем и накладкой на совместно деформируемом участке, будут равны:

$$N_c = k_2 \alpha P_{\max}, \quad (3)$$

$$N_n = k_1 \alpha P_{\max}. \quad (4)$$

Где: N_c — усилие, передаваемое стержнем,
 N_n — усилие, передаваемое накладкой.

Деформации в стержне и накладках на совместно деформируемом участке будут одинаковы и будут равны:

$$\frac{N_c}{k_c} = \frac{k_2 \alpha P_{\max}}{k_c} = (1-2k_1) \alpha \varepsilon_{\max}, \quad (5)$$

где $\varepsilon_{\max} = \frac{P_{\max}}{k_c}$ — максимальная относительная деформация

стержня на участках без накладок. Относительная деформация накладок вне области сдвигов на длине $s+a-x$ (рис. 1 и 1б) будет равна:

$$\frac{N_n}{k_n} = \frac{q_1 x b}{k_n}, \quad (6)$$

где: q_1 — удельное касательное усилие (сила трения), при котором происходят сдвиги,

x — зона переменного сдвига на участке a .

Приравнявая (5) и (6) получим величину зоны сдвигов в зависимости от безразмерного параметра α :

$$x = \frac{(1-2k_1) k_n \alpha \varepsilon_{\max}}{q_1 b}. \quad (7)$$

При $x=a$ зона сдвигов распространится на весь участок a (рис. 1в). Обозначим значение параметра α при этом через α_0 :

$$\alpha_0 = \frac{a q_1 b}{(1-2k_1) k_n \varepsilon_{\max}}. \quad (8)$$

Зона сдвигов распространится на весь участок a , если $\alpha_0 < 1$. В дальнейшем считаем, что это условие выполняется и все полученные выводы справедливы лишь при выполнении этого условия.

2. При увеличении α от α_0 до 1 участок a будет весь скользить по стержню.

Величина удельного касательного усилия (силы трения) q_2 между стержнем и участком a накладок при этом не будет постоянной величиной, а будет зависеть от относительной скорости проскальзывания.

II этап.

1. При уменьшении α от 1 на участках, которые расположены у концов, произойдут отрицательные сдвиги накладок по поверхностям стержня (рис. 1д). При определенном $\alpha = \alpha_1$ зона отрицательных сдвигов распространится на весь участок a (рис. 1е). При $\alpha_1 < \alpha < 1$ зона отрицательных сдвигов распространится на участке a на величину x . Удельное касательное усилие в этой зоне x будет q_1 . В зоне же $a-x$ сохранятся положительные сдвиги от предыдущего этапа и касательные усилия q_2 будут равны касательным усилиям в конце предыдущего этапа. При изменении α от 1 до α_1 деформация участков с накладок и стержня будет одинакова. В начале этапа при $\alpha = 1$ накладка будет растянута и деформация ее на

участке c будет равна: $\Delta c_1 = \frac{q_2 a c b}{k_n}$.

При $\alpha = \alpha_1$ накладка будет сжата и деформация ее на участке c будет равна:

$$\Delta c_2 = -\frac{q_1 a c b}{k_n}.$$

Таким образом изменение длины участка c накладки при изменении α от 1 до α_1 будет:

$$\Delta c = -\Delta c_1 - \Delta c_2 = -\frac{a c b}{k_n} (q_1 + q_2). \quad (9)$$

Согласно (5) изменение длины участка c стержня при изменении α от 1 до α_1 будет:

$$\Delta c = (1-2k_1) (\alpha_1 - 1) \varepsilon_{\max} c. \quad (10)$$

Приравнявая выражение (9) и (10), получим:

$$\alpha_1 = \frac{(1-2k_1) k_n \varepsilon_{\max} c - a (q_1 + q_2) b}{(1-2k_1) k_n \varepsilon_{\max}}. \quad (11)$$

2. При уменьшении α от α_1 до -1 участок a будет весь скользить по стержню. Величина удельных касательных усилий q_2 между стержнем и участком a накладок при этом будет зависеть от относительной скорости проскальзывания. При последующем изменении нагрузки, т. е. при изменении α от -1 до $+1$ произойдет обратная картина. А именно:

а) при изменении α от -1 до $-\alpha_1$ положительные сдвиги распространятся на весь участок a ,

б) при изменении α от $-\alpha_1$ до 1 весь участок a будет скользить по стержню в обратном направлении.

Проскальзывание между накладками и стержнем будет во всем интервале изменения α от $+1$ до -1 . Но величина этого проскальзывания будет различна. Произведенные расчеты показали, что при изменении α от 1 до α_1 величина проскальзывания будет незначительна по сравнению с величиной проскальзывания при изменении α от α_1 до -1 , когда весь участок a скользит по стержню. Это дает возможность пренебречь работой сдвигающих сил (сил трения) при изменении α от 1 до α_1 .

Переменная сила $P = \alpha P_{\max}$ изменяется обычно по закону, близкому к гармоническому. Это дает все основания предположить, что после того, как начнется проскальзывание всего участка a , скорость движения какой-нибудь точки накладки этого участка относительно стержня будет меняться по закону, близкому к полуволне синусоиды. Изменение скорости проскальзывания в зависимости от параметра α качественно представлено на рис. 2.

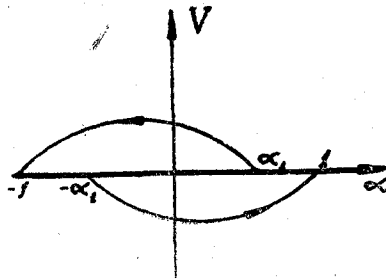


Рис. 2. Изменение скорости проскальзывания в зависимости от параметра α .

Реальная удельная сила трения q_2 зависит от относительной скорости проскальзывания v (при заданном нормальном давлении p_1 , которое будем считать постоянным). Такую зависимость называют характеристикой трения. Согласно исследованиям ряда авторов [4], [5] характеристика сухого трения обычно имеет вид, представленный на рис. 3.

Работа силы трения, a , следовательно, и рассеяная энергия, отнесенная к единице пути проскальзывания, будет зависеть от скорости и эта зависимость будет подобна характери-

стике трения. При характеристике трения, представленной на рис. 3, в начале и в конце проскальзывания энергии будет рассеиваться меньше, чем на среднем участке, когда скорость

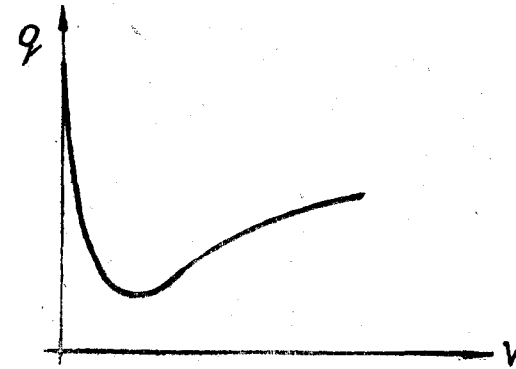


Рис. 3. Характеристика трения.

будет наибольшая. Для точного определения работы сил трения необходимо знать характеристику трения. Характеристика трения, которую определяют экспериментально, может быть получена с весьма небольшой точностью. Количественные параметры этой характеристики не являются стабильными и могут измениться даже в самом процессе трения под влиянием многих факторов. Все это, естественно, вызывает большие затруднения для точного определения количества рассеянной энергии. Кроме того, величина перемещения участка a накладок относительно стержня будет зависеть от силы трения. Чем сила трения будет больше, тем относительное перемещение будет меньше.

Решение подобного вопроса с достаточной для практики точностью возможно на основе упрощенной характеристики трения. При упрощенной характеристике трения работа сил трения должна быть равна работе сил трения при точной характеристике трения.

Подтверждающиеся экспериментальными данными и вместе с тем являющиеся наиболее удобными для аналитических обобщений оказались следующие предположения:

1. Сила трения изменяется скачкообразно и имеет два значения:

постоянная максимальная удельная сила трения покоя q_1 при изменении α от 1 до α_1 (рис. 1д);

постоянная удельная сила трения движения q_2 при изменении α от α_1 до -1 (рис. 1ж).

2. В момент скачкообразного изменения силы трения при $\alpha = \alpha_1$ происходит изменение деформации накладок и соответствующее изменение деформации стержня. При этом происходит относительное проскальзывание накладок и стержня. Принимаем, что работой сил трения в момент их скачкообразного изменения можно пренебречь.

Рассмотрим движение точки А накладки, находящейся внутри участка a на расстоянии x_A от конца (рис. 1), относительно стержня при изменении α от α_1 до -1 . Величина проскальзывания в точке А будет равна разности изменений длин накладки и стержня на участке $c+a-x_A$. Длина накладки не изменится, так как не изменится действующее на нее со стороны стержня усилие, равное q_2ab . Изменение удлинения стержня, т. е. величина проскальзывания в точке А будет равна:

$$S_A = (c+a-x_A) (\alpha_1+1) \epsilon_{\max}. \quad (12)$$

Подставляя вместо α_1 его значение (11) получим:

$$S_A = (c+a-x_A) \frac{2(1-2k_1)k_n \epsilon_{\max} - a(q_1+q_2)b}{(1-2k_1)k_n} \quad (13)$$

Работа сил трения участка dx_A при изменении α от α_1 до -1 будет:

$$dA = S_A q_2 b dx_A. \quad (14)$$

Работа сил трения всего участка a равна:

$$\Delta w = \int_0^a dA = \int_0^a S_A q_2 b dx_A.$$

Подставляя вместо S_A его значение (12), получим:

$$\begin{aligned} \Delta w &= \int_0^a (c+a-x_A) \frac{2(1-2k_1)k_n \epsilon_{\max} - a(q_1+q_2)b}{(1-2k_1)k_n} q_2 b dx_A = \\ &= \frac{2(1-2k_1)k_n \epsilon_{\max} - a(q_1+q_2)b}{(1-2k_1)k_n} q_2 b a \left(c + \frac{a}{2} \right) \end{aligned} \quad (15)$$

Из полученного выражения видно, что количество рассеянной энергии будет увеличиваться с увеличением длины участка c . Размеры же участка a для удовлетворения условия $\alpha_0 < 1$ [см. формулу (8)] ограничены и обычно всегда $c \gg a$. Тогда можно принять, что $c+a/2 \approx c$ и

$$\Delta w = 2q_2 a c b \epsilon_{\max} \frac{q_2 a^2 c b^2 (q_1 + q_2)}{(1-2k_1)k_n}. \quad (16)$$

Работа сил трения участков a верхней и нижней накладок за весь период изменения параметра α , численно равная количеству рассеянной энергии за цикл, будет:

$$\Delta W = 4\Delta w = 8q_2 a c b \epsilon_{\max} \frac{4q_2 a^2 c b^2 (q_1 + q_2)}{(1-2k_1)k_n}. \quad (17)$$

§ 2. Конструктивное демпфирование при изгибе.

При рассмотрении конструктивного демпфирования при изгибе сохраняются основные положения и допущения, указанные выше при рассмотрении растяжения-сжатия.

Рассмотрим консольную балку прямоугольного поперечного сечения, к которой прижаты тонкие накладки, имеющие по концам два буртика длиной a и d (рис. 4). Ширина балки и накладки равна b . Давление прижатия буртика a равно p_1 , буртика d — p_2 . Принято, что $p_1 \ll p_2$. К концу балки приложена переменная сила $P = \alpha P_{\max}$. Принято, что сила P_{\max} положительна, если она направлена вниз.

Рассмотрим два этапа изменения силы P :

I) возрастание силы P от нуля до наибольшего значения P_{\max} ;

II) уменьшение силы P от наибольшего значения P_{\max} до наименьшего значения $-P_{\max}$.

I этап.

Под действием силы αP_{\max} балка изгибается. До прижатия накладок изгибающий момент, a , следовательно, напряжения и относительные удлинения изменяются по длине балки в данный момент времени по линейному закону, а в каждом сечении закон изменения их по времени будет таким же, как и силы $P = \alpha P_{\max}$. Максимальные относительные удлинения балки в точках 1, 2 и 3 будут соответственно $\epsilon_{\max 1}$, $\epsilon_{\max 2}$

и $\epsilon_{\max 3}$. После прижатия накладок максимальные относительные удлинения балки в точках 1 и 2 изменятся.

Принято, что толщина накладки небольшая и изгибом ее можно пренебречь. Таким образом, накладки только сжимаются и растягиваются. Сдвиги накладок по поверхности балки начнутся с концов. В местах сдвига появятся удельные касательные усилия q_1 . Направления сдвигов, а, следовательно

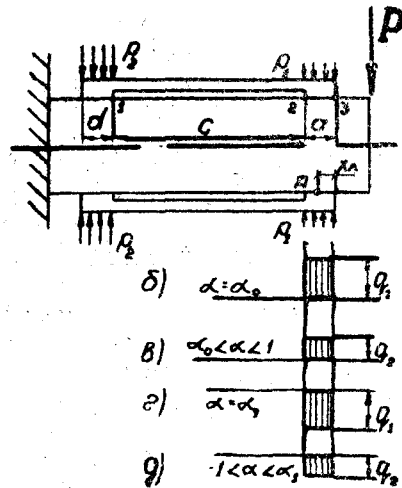


Рис. 4. Схема балки и накладок при изгибе.

и касательных усилий будут противоположны для верхней и нижней накладок. На рис. 4 изображено распределение касательных усилий для верхней накладки. При $\alpha = \alpha_0$ участок, на котором произошли сдвиги, распространится на всю длину участка а (рис. 4б), после чего начнется проскальзывание всего участка а по балке. В момент начала проскальзывания касательные усилия изменятся скачкообразно и величина их будет q_2 (рис. 4в).

II этап.

При уменьшении α от 1 на участках, которые расположены у концов, произойдут сдвиги противоположных направлений. При определенном $\alpha = \alpha_1$ зона этих сдвигов распространится на весь участок а (рис. 4г). При изменении α от 1 до α_1 деформация накладки и крайних волокон балки на участке с будут одинаковы. Деформация накладки будет определяться так же, как и при растяжении-сжатии по формуле (9).

Со стороны участков а накладок при $\alpha = 1$ на балку будут действовать две равные и противоположно направленные силы q_2ab , которые дадут момент, направленный против часовой стрелки.

Величина этого момента равна:

$$M_2 = q_1abh.$$

где h — высота балки.

При $\alpha = \alpha_1$ противоположно направленные силы со стороны накладок будут равны q_1ab и момент, который они дадут, будет направлен по часовой стрелке и величина его равна:

$$M_2 = q_1abh.$$

При $\alpha = 1$ деформация крайних волокон балки на участке с будет равна сумме деформаций от силы P_{\max} и от момента M_1 :

$$\Delta c^I = \frac{\epsilon_{\max 3} + \epsilon_{\max 2}}{2} c - \frac{q_2abh}{EW} c, \quad (18)$$

где: W — момент сопротивления поперечного сечения балки, E — модуль нормальной упругости материала балки.

При $\alpha = \alpha_1$ деформация крайних волокон балки на участке с будет равна сумме деформаций от силы $\alpha_1 P_{\max}$ и от момента M_2 :

$$\Delta c^{II} = \frac{\epsilon_{\max 3} + \epsilon_{\max 2}}{2} \alpha_1 c + \frac{q_1abh}{EW} c. \quad (19)$$

Изменение длины участка с балки при изменении α от 1 до α_1 будет:

$$\Delta c = \Delta c^{II} - \Delta c^I = (\alpha_1 - 1) \epsilon_{\max \text{ ср}} c + \frac{abh}{EW} (q_1 + q_2) c, \quad (20)$$

$$\text{где } \epsilon_{\max \text{ ср}} = \frac{\epsilon_{\max 3} + \epsilon_{\max 2}}{2}$$

Приравняв выражения (9) и (20), получим:

$$\alpha_1 = \frac{\epsilon_{\max \text{ ср}} \left(\frac{ab}{K_H} + \frac{abh}{EW} \right) (q_1 + q_2)}{\epsilon_{\max \text{ ср}}}. \quad (21)$$

При уменьшении α от α_1 до -1 участок а будет весь скользить по балке. Величина удельных касательных усилий при этом будет q_2 (рис. 4д).

Величина проскальзывания S_A в точке А накладки

(рис. 4) относительно балки при изменении α от α_1 до -1 равна изменению длины крайних волокон балки на участке $c+a-x_A$:

$$S_A = (c+a-x_A) (\alpha_1+1) \frac{\epsilon_{max3} + \epsilon_{maxA}}{2}, \quad (22)$$

где ϵ_{max} — максимальное относительное удлинение в точке А балки до прижатия накладок.

Обычно размеры участка a и накладки ограничены и можно принять, что $c \gg a$.

Тогда перемещение любой точки накладки внутри участка a равно:

$$S = c(\alpha_1+1) \epsilon_{max\text{ ср.}} \quad (23)$$

Подставляя вместо α_1 его значение (21), получим:

$$S = c[2\epsilon_{max\text{ ср.}} - \left(\frac{ab}{k_H} + \frac{abh}{EW}\right) (q_1+q_2)]. \quad (24)$$

Работа сил трения участка a при изменении α от α_1 до -1 будет:

$$\Delta w = Sq_2 ab. \quad (25)$$

Подставляя вместо S его значение (24), получим:

$$\Delta w = 2q_2 abc \epsilon_{max\text{ ср.}} - q_2 a^2 b^2 c \left(\frac{1}{k_H} + \frac{h}{EW}\right) (q_1+q_2). \quad (26)$$

Работа сил трения участков a верхней и нижней накладок за весь период изменения параметра α равна:

$$\Delta W = 4\Delta w = 8q_2 abc \epsilon_{max\text{ ср.}} - 4q_2 a^2 b^2 c \left(\frac{1}{k_H} + \frac{h}{EW}\right) (q_1+q_2). \quad (27)$$

§ 3. Экспериментальная проверка демпфирования при изгибе

Для проверки вышеприведенных выводов были проведены испытания при свободных затухающих колебаниях на установке, изображенной на рис. 5. Установка состоит из сварной рамы 1, подвешенной на длинной проволоке 2 к потолку. Подвешивание на проволоке дает возможность свести к минимуму возможные утечки энергии и получить более наглядную картину рассеяния энергии. В верхней части рамы имеется зажим 3, в котором крепится прямоугольный образец 4. К нижней свободной части образца крепятся грузы 5. Желаемая начальная деформация образца создается винтом 6, по-

ступательное перемещение которого при помощи капроновой нити 7 через блок 8 передается образцу. Две накладки 9 располагаются у корня образца и прижимаются к нему при помощи хомутов и предварительно протарированных пружин. После разрезания нити 7 образец начинает совершать сво-

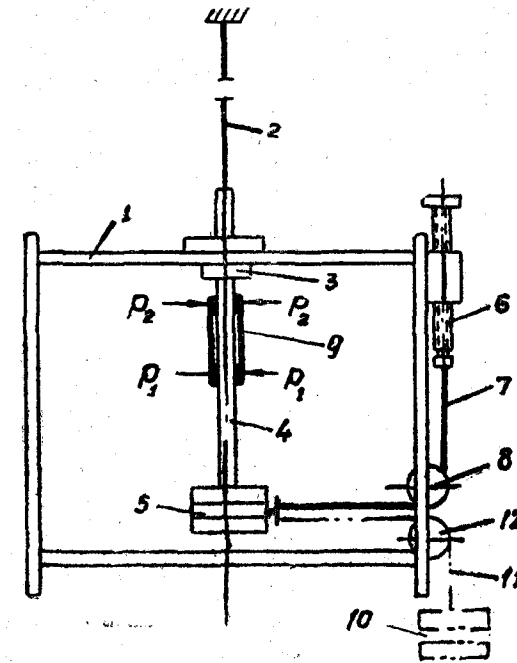


Рис. 5. Схема экспериментальной установки.

бодные затухающие колебания. Запись виброграмм производилась при помощи тензометрических датчиков сопротивления, наклеенных на образец. Сигнал от датчиков подавался на электронный усилитель, а с него на осциллограф и записывался им в виде виброграммы на пленку. Тарировка виброграмм производилась при помощи грузов 10, вес которых тарирован через блок 12 передается на конец образца. При тарировке капроновая нить 7 отсоединяется.

Испытания проводились с четырьмя различными типами

накладок, размеры которых даны на рис. 4 и в нижеследующей таблице 1. Ширина всех накладок $b=25$ мм.

Таблица 1. Основные размеры накладок.

Тип	a мм	c мм	d мм	δ мм
I	2	70	3	1,8
II	2	70	3	0,9
III	2	30	3	1,8
IV	2	30	3	0,9

Размеры образца: длина — 300 мм; высота — 15 мм; ширина — 25 мм. Материал образца и накладок сталь 45 с $E=2,1 \cdot 10^4$ кг/мм². Количество рассеянной за один период энергии будет равно разности энергий в образце в начале и в конце периода, которые без затруднений определяются по известным формулам сопротивления материалов, если известны напряжения, материал и размеры образца.

Напряжения по длине образца изменяются по линейному закону от нуля на свободном конце до наибольшего значения в заделке. Таким образом, зная напряжения в месте наклейки тензометрических датчиков, можно легко определить их для любой другой точки. За начало периода принимается одно из крайних положений образца.

Рассеяние энергии будет происходить как в накладках, так и вне их (в материале образца и установки, в заделке образца и в сочленениях установки). Для того, чтобы из общего количества рассеянной энергии исключить потери в установке и материале образца, были предварительно сняты виброграммы свободных затухающих колебаний без накладок и построен график рассеянной энергии за один цикл в зависимости от максимальной деформации (напряжения) у заделки. Из этого графика без затруднений можно получить зависимость рассеянной энергии от деформации (напряжения) в любой другой точке.

Для каждого типа накладок были произведены эксперименты при различных значениях давления p_1 .

В результате обработки виброграмм и исключения потерь энергии в установке и материале образца были построены графики рассеянной энергии в накладках за один цикл в зависимости от $\epsilon_{max\text{ ср}}$ [см. формулу (27)].

На рис. 6 показаны графики энергии, рассеянной накладками за один цикл, в зависимости от $\epsilon_{max\text{ ср}}$ при различных

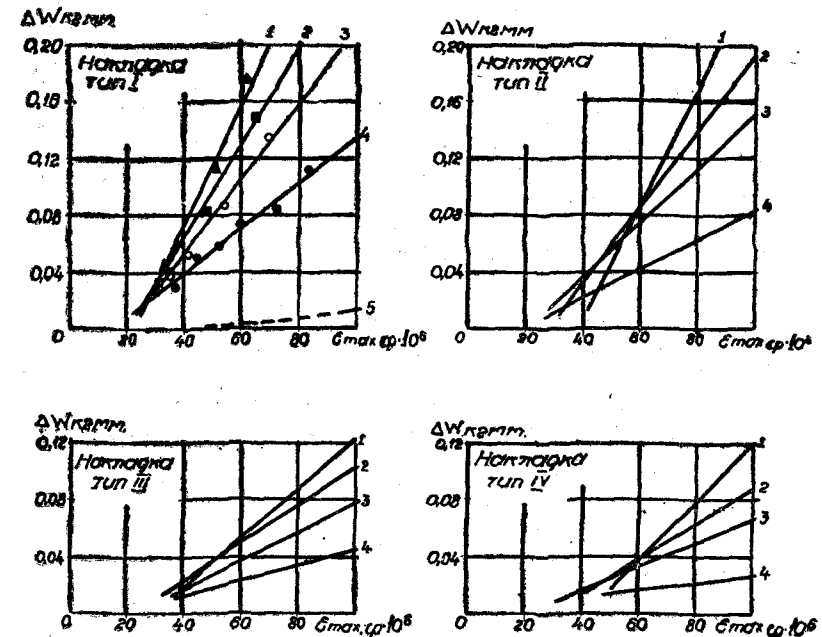


Рис. 6. Зависимость рассеянной накладками энергии за один цикл от ϵ_{max} при различных давлениях прижатия P_1 .

давлениях прижатия p_1 . На графике, относящемся к накладке типа 1, пунктиром нанесен график рассеиваемой энергии за один цикл в установке и в материале образца без накладок также в зависимости от $\epsilon_{max\text{ ср}}$. Как видно из приведенных графиков при выбранном типе накладок количество рассеянной энергии в местах контакта с образцом значительно превышает количество рассеянной энергии в материале образца и

во всей установке. Это видно и из приведенных на рис. 7 виброграмм затухающих колебаний с накладками и без них. Количество рассеяной за один цикл энергии определяется формулой (27). Эта формула представляет собой уравнение прямой линии в координатах $\Delta W, \epsilon_{max\text{ ср}}$. Для каждого типа накладок и каждого p_1 можно определить значения упрощен-

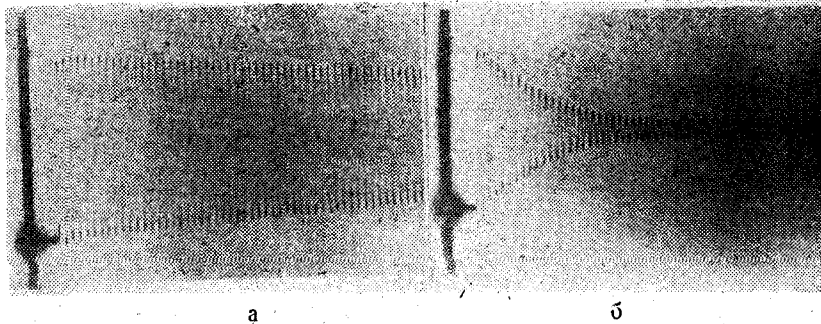


Рис. 7. Виброграммы затухающих колебаний: а — без накладок; б — с накладками.

ной характеристики трения q_1 и q_2 так, чтобы прямая, определяемая этой формулой, совпадала с соответствующим графиком (рис. 6). Зная величины q_1 и q_2 , можно определить коэффициенты трения:

$$f_1 = \frac{q_1}{P_1} \text{ и } f_2 = \frac{q_2}{P_1},$$

где: f_1 — статический коэффициент трения,
 f_2 — коэффициент трения движения.

На рис. 8 даны графики изменения коэффициентов f_1 и f_2 для различных типов накладок в зависимости от давления p_1 . Из этих графиков видно, что коэффициенты трения при данных давлениях не являются постоянными величинами, а увеличиваются с уменьшением p_1 . Значения коэффициентов трения и характер их изменения полностью согласуются со значениями коэффициентов трения движения и покоя, которыми пользуются в технике [6], [7]. Таким образом, вышеприведенные выводы [формула (27)] и принятые при этом допущения подтверждаются экспериментом.

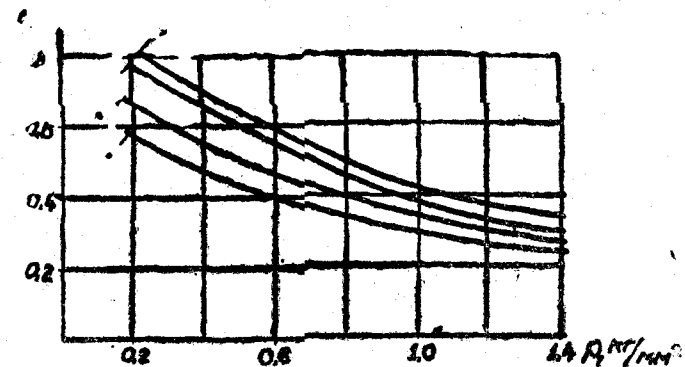
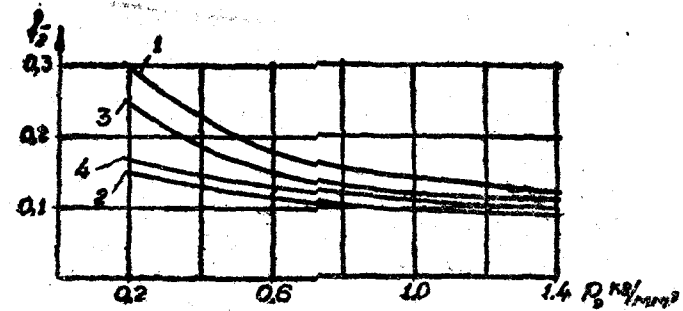


Рис. 8. Изменение коэффициентов трения f_1 и f_2 в зависимости от давления прижатия P_1 для различных типов накладок. 1 — тип I; 2 — тип II; 3 — тип III; 4 — тип IV.

На рис. 9 приведены графики изменения рассеяной энергии в накладках за один цикл в зависимости от давления прижатия p_1 при различных $\epsilon_{max\text{ ср}}$. Эти графики построены на основании графиков, приведенных на рис. 6. Из графиков видно, что при значительном изменении p_1 от $0,2 \text{ кг/мм}^2$ до $1,4 \text{ кг/мм}^2$ величина ΔW изменяется примерно всего лишь в два раза, т. е. имеет стабильный характер. Стабильность рассеянной энергии объясняется тем, что в этом интервале изменение давления прижатия, а, следовательно, и удельных сил трения q_1 и q_2 , влечет за собой такое изменение величины перемещения участка а по балке, что работа сил трения q_2 на этом перемещении меняется незначительно. Стабильность рассеянной энергии при изменении давления прижатия для различных $\epsilon_{max\text{ ср}}$ дает возможность оценить оптимальные раз-

меры накладок и сил прижатия их, не зная точного закона движения колеблющейся системы, а, следовательно, и изме-

давления в местах контакта величина рассеяной за один цикл энергии изменяется не столь резко, т. е. имеет стабильный характер.

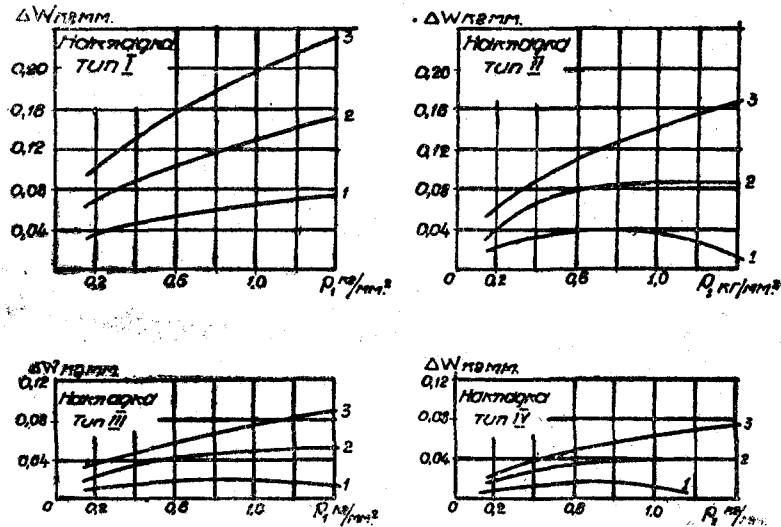


Рис. 9. Зависимость рассеяной накладками энергии за один цикл от давления прижатия P , при различных $E_{\text{max ср}}$ 1— $E_{\text{max ср}}=40 \cdot 10^{-6}$; 2— $E_{\text{max ср}}=60 \cdot 10^{-6}$; 3— $E_{\text{max ср}}=80 \cdot 10^{-6}$.

нений напряжений в ней. Кроме того, возможные изменения со временем сил трения и неточность их определения (неточность упрощенной характеристики трения) также не повлекут за собой существенного изменения рассеяной за цикл энергии.

Выводы

Для рассмотренных случаев конструктивного демпфирования получены аналитические зависимости, определяющие количество рассеяной за один цикл энергии. Опытная проверка подтвердила приемлемость принятых при этом предположений относительно закона сухого трения и показала, что рассеяная за один цикл энергия в местах контакта значительно превышает рассеяние энергии, связанное с внутренним трением в материале, особенно при колебаниях с малой амплитудой. Кроме того, при значительных изменениях удельного

ЛИТЕРАТУРА

1. Соифер А. М. Изыскание методов конструктивного демпфирования вибраций деталей газотурбинных двигателей. Сб. трудов научно-технического совещания по изучению рассеяния энергии при колебаниях упругих тел, АН УССР, 1958.
2. Н. Н. Р i a n, Structural Damping of a Simple Built-Up Beam With Riveted Joints in Bending, J. of Applied Mechanics, 1957, 1.
3. Пановко Я. Г., Гольцев Д. И., Страхов Г. И. Элементарные задачи конструктивного гистерезиса. Сб. «Вопросы динамики и прочности», вып. 5, АН Латв. ССР, 1958.
4. К а й д а н о в с к и й Н. Л. Природа механических автоколебаний, возникающих при сухом трении. «Журнал технической физики», т. XIX, вып. 9, 1949.
5. Кононенко В. О. Взаимодействие релаксационных автоколебаний с гармоническими колебаниями в механических системах. Сб. «Вопросы прочности конструкций и динамики машин». Труды института строительной механики АН УССР, № 19, 1954.
6. Крагельский И. В., Виноградова И. Э. Коэффициенты трения (справочное пособие), Машгиз, 1955.
7. Конвисаров Д. В. Трение и износ металлов, Машгиз, 1947.

Асп. В. А. КАЛЕНДЕРЬЯН,
канд. техн. наук, доц. З. Р. ГОРБИС

ИЗУЧЕНИЕ ОБЪЕМНОГО ВЕСА И УГЛА ЕСТЕСТВЕННОГО ОТКОСА ГРАФИТНОГО СЛОЯ

1. Постановка вопроса

Необходимость в определении ряда свойств частиц искусственного графита вызвана проводящимися на кафедре теплотехники с 1957 года исследованиями графитного теплоносителя, в частности в виде движущегося слоя. При этом для изучения механики движения слоя, для выбора рационального оребрения поверхности нагрева, для конструирования ряда узлов установок, использующих графитный слой, требуется в первую очередь знание физико-механических свойств графитных частиц.

Основными характеристиками такого рода, имеющими важнейшее значение для раскрытия механизма движения и переноса тепла графитным слоем, являются плотность укладки слоя ε , коэффициенты внешнего трения и коэффициент внутреннего трения, определяемый в значительной мере углом естественного откоса. При этом

$$\varepsilon = \frac{\gamma_{об}}{\gamma_{уд}}, \quad (1)$$

где: $\gamma_{об}$ — объемный вес частиц, кг/м³;

$\gamma_{уд}$ — удельный (истинный) вес материала частиц, кг/м³.

Для одних и тех же частиц ε однозначно определяется объемным весом, который в дальнейшем и рассматривается.

На кафедре теплотехники проводятся определения ряда физико-механических и теплофизических свойств графитного теплоносителя. Первый этап — определение истинного удельного

веса, коэффициентов внешнего трения и других величин — был выполнен в 1958 г.

Второй этап, выполненный в 1959 году, включал в себя:

1. Изучение объемного веса графитных частиц в зависимости от их размера, скорости движения слоя и эффекта истирания частиц при многократном их использовании.

2. Определение угла естественного откоса в зависимости от размера частиц и плотности их укладки.

В третьем, завершающем, этапе работ, ведущемся в текущем году, необходимо установить влияние скорости и температуры на коэффициенты внешнего и внутреннего трения графитного слоя.

В настоящей статье приводятся результаты работ 1959 года по определению физико-механических свойств графитных частиц.

2. Объемный вес графитных частиц

Исследуемый материал — бой Запорожского (партия 1) и Новочеркасского (партия 2) электродных заводов — представляет собой смесь частиц искусственного графита размером от 3,74 мм до 0,03 мм. По данным Новочеркасского завода зольность не превышает 0,5%. Заводская смесь была рассеяна на 4 механических ситах, причем были получены частицы пяти размеров: 2,88 мм; 2,08 мм; 1,44 мм; 0,77 мм и <0,5 мм. (размер частиц определялся как средне-геометрический размер ячеек двух соседних сит). Эти частицы использовались при изучении теплоотдачи, поэтому им уделялось основное внимание и при изучении свойств графитных частиц. Кроме того, смесь была рассеяна на 10 лабораторных ситах и для полученных 11 фракций (от 3,74 мм до 0,03 мм) были определены некоторые свойства.

Объемный вес неподвижного слоя определялся по стандартной методике в пурке. Был определен объемный вес заводской смеси партий 1 и 2 и частиц, полученных рассевом на механических и лабораторных ситах. Объемный вес для частиц различных размеров и смеси приведен в таблице 1, зависимость объемного веса от размера частиц — на рис. 1. Как видно из рис. 1, объемный вес неподвижного слоя увеличивается с уменьшением размера частиц. Так для размера частиц 2,96 мм объемный вес составляет 868 кг/м³, а для частиц размером 0,03 мм — 1011 кг/м³, что объясняется лучшим заполнением объема мелкими частицами.

Объемный вес и угол естественного откоса графитных частиц
(рассев на лабораторных ситах)

№ п п	Размер ячеек сит в мм	Размер частиц в мм	Объемный вес неподвижного слоя в кг/м ³	Угол естественного откоса при температуре слоя 20° С ²)
1	3,5	> 3,5	—	—
2	2,5	2,96	868	35
3	2,0	2,24	871	36
4	1,45	1,70	868	37
5	1,20	1,32	876	36
6	1,0	1,10	889	36
7	0,95	0,975	905	37
8	0,90	0,955	915	36
9	0,80	0,85	917	36
10	0,767	0,73	—	36°30'
11	дно	0,03	1011	>> 45°

Примечания: 1) Определен пуркой.
2) Определен плексигласовым прибором.

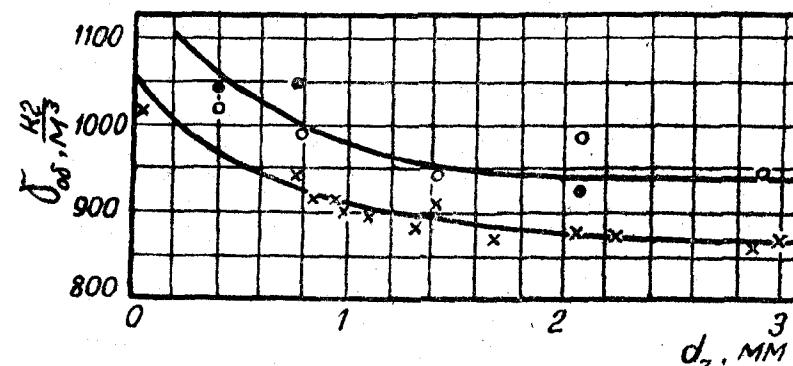


Рис. 1. Зависимость объемного веса неподвижного слоя от размера частиц
Условные обозначения: x — партия 1 до работы в установке
• — партия 1 после работы в установке
o — партия 2 после работы в установке.

Для графитных частиц партии 1 определялся объемный вес при максимальном уплотнении слоя, какого удавалось достичь путем обстукивания сосуда. При этом объемный вес составил для частиц размером 2,88 мм — 959 кг/м³, для частиц 2,08 мм — 967 кг/м³, для смеси — 1075 кг/м³.

Для частиц размером 2,88 мм, 2,08 мм, 0,77 мм и <0,5 мм был определен удельный вес методом вытеснения жидкости из мерной колбы. Результаты, приведенные в таблице 2, показывают, что с увеличением размера частиц от 0,5 мм до

Таблица 2

Удельный вес, объемный вес и угол естественного откоса графитных частиц (рассев на механических ситах)

№ п.п.	Размер частиц в мм	Удельный вес в кг/м ³	Объемный вес неподв. слоя кг/м ³ (в пурке)			Угол естественного откоса в град. при 20° С	
			Партия 1		Партия 2	По плексигласовому прибору	По ящику
			до работы в установке	после работы в установке	после работы в установке		
1	2,88	1799	862	—	940	37°30'	38
2	2,08	1930	874	920	978	37	35
3	1,44	—	914	—	948	37	—
4	0,77	2019	942,5	1050	993	37	34°30'
5	<0,5	2046	—	1013	1044	>45	48
6	смесь	—	974,5	1100	1112	44	46°30'

2,88 мм удельный вес уменьшается от 2046,2 кг/м³ — величины, близкой к истинному удельному весу $\gamma_{уд} = 2050$ кг/м³ — до 1799 кг/м³, приближаясь к удельному весу графита в изделии (по [1] $\gamma_{изд} = 1550 \div 1750$ кг/м³). Это объясняется большей пористостью крупных частиц.

Объемный вес движущегося слоя определялся при движении слоя вдоль гладких и ребристых труб в вертикальных каналах с различным кольцевым живым сечением.

Для определения объемного веса в движении производилась отсечка движущегося слоя путем одновременного закрытия заслонок на входе и на выходе из измерительного участка (длина измерительного участка 3 м). Отсеченный графит взвешивался, после чего объемный вес движущегося слоя определялся по формуле:

$$\gamma_{об} = \frac{G_{отс}}{V_k}, \quad (2)$$

где: V_k — известный объем канала, м³;

$G_{отс}$ — вес отсеченного графита, кг.

Для выявления зависимости объемного веса движущегося слоя от скорости были проведены опыты при изменении ско-

рости от 3 ÷ 5 см/сек до 50 ÷ 120 см/сек для частиц различных размеров и смеси. Полученная зависимость объемного веса частиц разных размеров от скорости слоя для кольцевого канала $\varnothing 100 \times 33$ мм и для кольцевого канала $\varnothing 63 \times 33$ мм представлена на рис. 2 и 3.

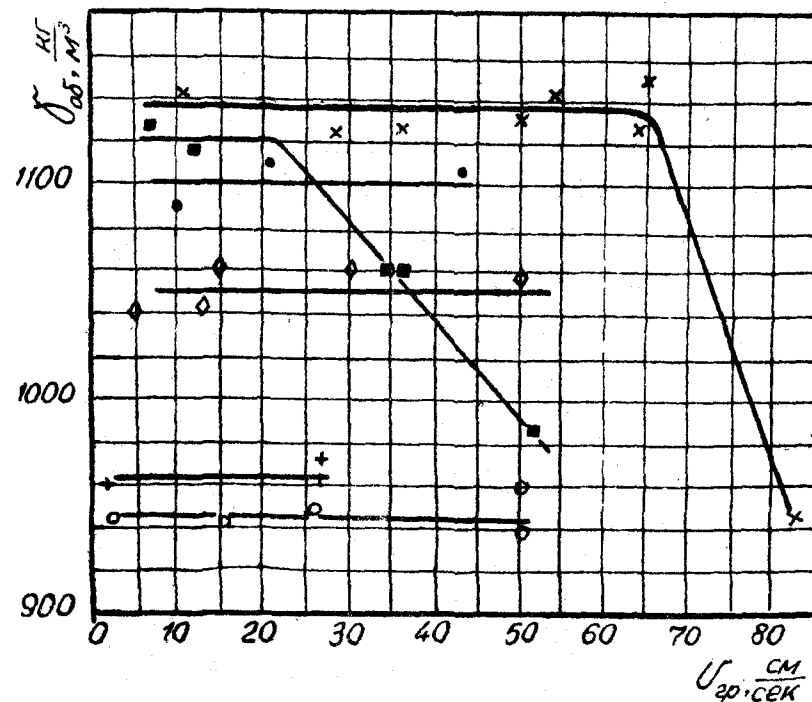


Рис. 2. Зависимость объемного веса движущегося слоя от скорости (канал $\varnothing 100 \times 33$ мм).
Условные обозначения: x — стержень гладкий, смесь;
• — стержень с наклонными ребрами $h_r = 12$ мм, смесь;
+ — стержень гладкий, частицы 2,88 мм;
o — стержень гладкий, частицы 2,08 мм;
◇ — стержень гладкий, частицы 0,77 мм;
■ — стержень с прямыми ребрами $h_r = 30$ мм, смесь.

Как видно из этих рисунков, объемный вес движущегося слоя не зависит от скорости до тех пор, пока скорость не достигнет определенного значения, определяемого живым сече-

нием и формой канала. Это значение скорости («предельная скорость») соответствует нарушению плотности, цельности движущегося слоя, появлению местных разрывов слоя, отдельных струек и воздушных мешков. При увеличении скоро-

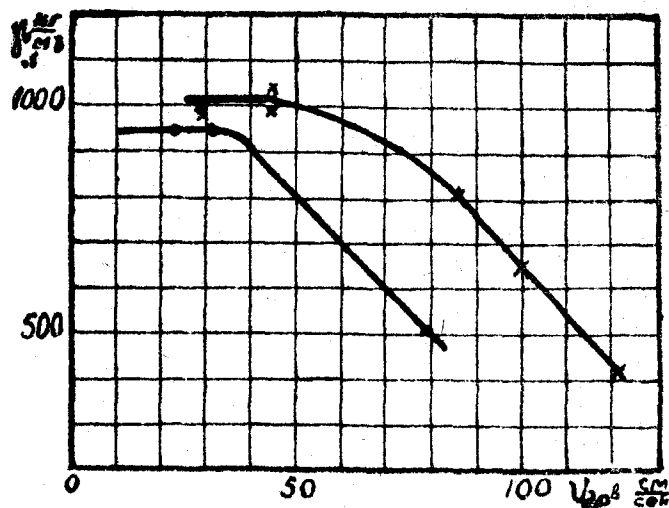


Рис. 3. Зависимость объемного веса движущегося слоя от скорости (канал $\varnothing 63 \times 33$ мм).
Условные обозначения: x — стержень гладкий, смесь;
.— стержень гладкий, частицы 0,77 мм.

сти сверх «предельной» появления разрывов слоя приводит к заметному снижению объемного веса движущегося слоя. Так для смеси при движении в гладком канале $\varnothing 100 \times 33$ мм увеличение скорости от предельного значения 65 см/сек до 83 см/сек приводит к уменьшению объемного веса с 1140 кг/м³ до 943 кг/м³, при движении смеси в гладком канале $\varnothing 63 \times 33$ мм увеличение скорости сверх предельного значения от 50 см/сек до 120 см/сек приводит к уменьшению объемного веса с 1000 кг/м³ до 420 кг/м³ (рис. 2, 3). Аналогичная зависимость наблюдается и для других частиц при их движении в различных каналах.

Сравнение объемных весов неподвижного и движущегося слоя, определенных одновременно, показывает, что в последнем случае $\gamma_{об}$ несколько выше объемного веса, показываемого пуркой. Так для смеси партии 1 после работы в установке $\gamma_{об}$ по пурке составляет 1100 кг/м³, а для движущегося

слоя этой же смеси — 1120 кг/м³; для частиц 2,08 мм — 920 кг/м³ против 945 кг/м³ (рис. 2). Для частиц 0,77 мм $\gamma_{об}$ нельзя сравнивать, т. к. определения производились в разное время, т. е. при разной степени истирания частиц.

Указанное увеличение объемного веса слоя при его движении, проявлявшееся систематически, является незначительным. Оно может быть объяснено тем, что при использовании нестрого фракционированных частиц фактор их движения облегчает заполнение пустот слоя более мелкими частицами.

Из рис. 2 и 3 следует, что объемный вес движущегося слоя (как и неподвижного), уменьшается с увеличением размера частиц. Так для частиц размером 0,77 мм объемный вес составляет 1050 кг/м³, для частиц размером 2,08 и 2,88 мм — 960 кг/м³.

Истирание графитных частиц наблюдается при длительном движении слоя в металлических каналах. Об истирании частиц можно судить по изменению со временем фракционного состава смеси, по уменьшению размера частиц и по изменению объемного веса.

В таблице 3 приведен фракционный состав смеси партии 1 до и после использования в установке в течение ~ 500—700

Фракционный состав смеси

Таблица 3

№ п. п.	Размер частиц в мм	Содержание фракций в смеси в %		
		партия 1		партия 2
		до работы в установке	после работы в установке	до работы в установке
1	> 2,88	20,3	14,1	0
2	2,08	8,7	20,5	17,6
3	1,44	18,7	0,7	2,4
4	0,77	15,2	24,0	22,2
5	< 0,5	37,1	40,7	57,8

часов. Как видно из таблицы, содержание в смеси наиболее крупных частиц 2,88 мм уменьшилось с 20,3% до 14,1%; содержание частиц 0,77 мм увеличилось с 15,2% до 24%; содержание частиц < 0,5 мм увеличилось с 37,1% до 40,7%. Истирание частиц сказывается также и в увеличении объемного веса. Изменение объемного веса неподвижного слоя частиц разных размеров в результате истирания представлено в табл. 2, из которой видно, что объемный вес частиц размером 2,08 мм увеличился на 5%, частиц 0,77 мм — на 12%, частиц

$<0,5$ мм — на 16%, смеси — на 21%. Увеличение объемного веса объясняется, во-первых, «обкаткой» частиц, приближением их формы к шарообразной, и, во-вторых, уменьшением размера частиц вследствие их истирания. Так средневзвешенный размер частиц смеси в результате истирания за 600 часов уменьшился с 1,34 мм до 1,22 мм. Истирание частиц приводит также к увеличению объемного веса движущегося слоя. Объемный вес движущегося слоя смеси и частиц 0,77 мм приведен в таблице 4, из которой видно, что с течением времени объемный вес смеси частиц увеличился на 22%, частиц 0,77 мм — на 9%.

Таблица 4

Объемный вес движущегося слоя				
№ п.п.	Размер частиц в мм	Дата опыта	Скорость в см/сек	Объемный вес в кг/м ³
1	Смесь	11/II-59 г.	14,8	960
2	Смесь	5/VI-59 г.	14,9	1170
3	0,77	11/III-59 г.	14,0	958
4	0,77	6/VI-59 г.	14,6	1045
5	0,77	11/III-59 г.	48,0	970
6	0,77	1/VI-59 г.	48,6	1060

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что длительное использование частиц в качестве теплоносителя приводит из-за незначительной твердости к их истиранию и, следовательно, к уменьшению размера частиц со временем.

В дальнейшем наблюдения за истиранием будут продолжены с целью определения скорости истирания.

3. Угол естественного откоса

Нами было применено несколько рекомендуемых в литературе методов определения угла естественного откоса. Ряд этих методов (высыпание сыпучего на плоскость при плавном подъеме цилиндра [1], высыпание сыпучего на плоскость с высоты [1]) не дает удовлетворительных результатов, т. к. получаемые данные в значительной мере зависят от условий ведения опыта (диаметра цилиндра, высоты высыпания, шероховатости поверхности и т. п.), которые в методике не оговариваются.

Наиболее надежные результаты дают, по нашему мнению, два метода определения угла естественного откоса: с по-

мощью специального плексигласового прибора (согласно методике кафедры ПТМ ОТИ им. Сталина), и с помощью ящика с выдвигной стенкой [2].

Плексигласовый прибор состоит из прозрачного сосуда, имеющего внутри на двух противоположных стенках гнезда для цапф и упоры, и мерного сосуда с цапфами, на стенках которого нанесена градусная сетка от 0° до 45°. Для определения угла естественного откоса в мерный сосуд засыпают графитные частицы и линейкой выравнивают их наружную горизонтальную поверхность. После этого мерный сосуд плавно поворачивают вниз до упоров. При этом поверхность частиц в мерном сосуде устанавливается под некоторым углом к горизонту, который является углом естественного откоса и определяется по сетке на мерном сосуде. С помощью этого прибора был определен угол естественного откоса для смеси и частиц, рассеянных на лабораторных и механических ситах. Результаты, представленные на рис. 4, показывают заметное

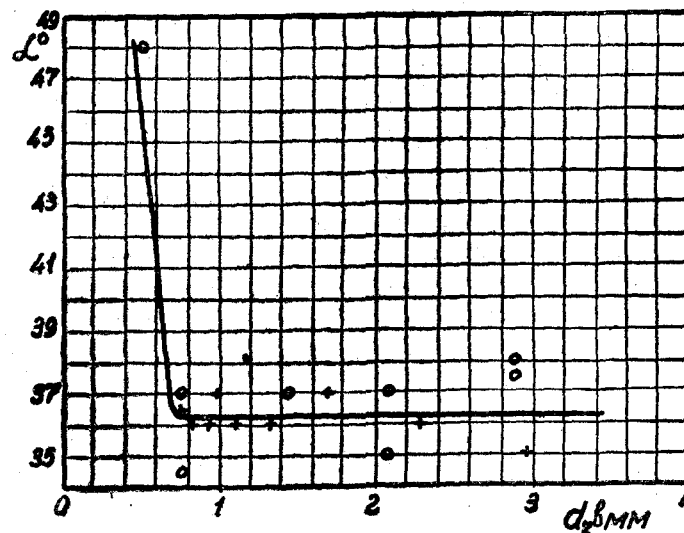


Рис. 4. Зависимость угла естественного откоса от размера частиц. Условные обозначения: + — рассев на лабораторных ситах; o — рассев на механических ситах.

увеличение угла естественного откоса для частиц $<0,50$ мм ($>45^\circ$) по сравнению с частицами 2,88 мм (37°). Для частиц размерами от 0,8 мм до 3 мм углы естественного откоса при

мерно одинаковы и составляют $\sim 36-37^\circ$. Для смеси (эквивалентный размер частиц 1,22 мм) угол естественного откоса значительно выше, чем для однородных частиц размером ~ 1 мм и составляет 44° .

Увеличение угла естественного откоса для частиц $< 0,5$ мм и для смеси объясняется значительными силами сцепления частиц $< 0,5$ мм в отличие от более крупных.

Для проверки полученных результатов угол естественного откоса был определен также с помощью ящика с выдвижной стенкой. Ящик имеет размеры 250×205 мм и высоту 195 мм. Для устранения влияния размеров ящика на результаты он снабжен сменными перегородками. При определении угла естественного откоса в ящик засыпают частицы и их наружную поверхность выравнивают линейкой. После этого выдвигают переднюю стенку ящика и графит свободно высыпается из ящика. Поверхность оставшегося в ящике графита располагается под некоторым углом к горизонту, который и является углом естественного откоса. С помощью ящика был определен угол естественного откоса при свободной засыпке смеси и частиц размером $2,88 \div 0,5$ мм. Результаты, полученные с помощью ящика, хорошо согласуются с результатами, полученными на плексигласовом приборе. Значения угла естественного откоса, определенные с помощью ящика, нанесены также на рис. 4.

При определении угла естественного откоса с помощью ящика был проведен ряд опытов для выявления влияния объемного веса. С этой целью графит в ящике уплотнялся обстукиванием. Заметное влияние объемного веса на угол естественного откоса наблюдалось для частиц $< 0,5$ мм и смеси. Так для частиц $< 0,5$ мм при свободной засыпке объемный вес составляет ~ 950 кг/м³, угол естественного откоса — 48° . При увеличении объемного веса до 1100 кг/м³ угол естественного откоса увеличивается до 57° . Для смеси увеличение объемного веса от 925 кг/м³ до 1040 кг/м³ приводит к увеличению угла естественного откоса с 46° до 60° . Увеличение угла естественного откоса для смеси и частиц $< 0,5$ мм объясняется увеличением сил сцепления мелких частиц при уплотнении слоя. Для частиц размером $0,77 \div 2,88$ мм силы сцепления невелики, поэтому уплотнение не вызывает роста угла естественного откоса.

Так как графитные частицы не являются идеальным сыпучим телом, то для них угол естественного откоса, характеризующий сыпучие свойства, не равен коэффициенту внутреннего

трения. Для определения коэффициента внутреннего трения, являющегося одной из важнейших характеристик твердого теплоносителя, изготовлена экспериментальная установка.

Выводы

1. Объемный вес неподвижного и движущегося графитных слоев возрастает с уменьшением размера частиц.

2. Объемный вес нестрого фракционированного слоя, движущегося в каналах кольцевого сечения, как правило, несколько выше объемного веса неподвижного слоя, определенного в пурке.

3. Изменение скорости слоя до предельной величины не оказывает влияния на объемный вес. Превышение предельной скорости, вызывающее разрыв слоя, приводит к значительному падению его объемного веса.

4. При движении слоя (особенно смеси частиц) наблюдается истирание графитных частиц вследствие их недостаточной твердости. В результате повышается плотность слоя и уменьшается размер частиц. Так для смеси частиц средневзвешенный размер за 600 часов движения уменьшился с 1,34 мм до 1,22 мм, а плотность укладки слоя увеличилась на 21%. При этом темп истирания составил примерно 0,2 микрона в час.

5. Угол естественного откоса слоя графитных частиц размером 0,8—3 мм практически одинаков ($35 \div 38^\circ$), заметно увеличиваясь для пыли и смеси графитных частиц ($44 \div 48^\circ$).

6. Влияние уплотнения слоя на угол естественного откоса обнаружено только для частиц менее 0,5 мм и смеси частиц. При этом угол естественного откоса увеличивается до $57-60^\circ$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зенков Р. Л. Механика насыпных грузов, 1952 г.
2. Михайлов Н. М., Сушка угля на электростанциях ГЭИ, 1956 г.

Аспирант А. С. СУПРУНОВ

ВЫЧИСЛЕНИЕ ЧЕТЫРЕХ ПАРАМЕТРОВ ШАРНИРНОГО ЧЕТЫРЕХЗВЕННИКА, ПРИБЛИЖЕННО ВОСПРОИЗВОДЯЩЕГО ЗАДАННУЮ ТРАЕКТОРИЮ¹

В современных производственных машинах для воспроизведения траектории движения рабочего органа широко применяются шарнирные четырехзвенники. Длины звеньев такого четырехзвенника должны быть подобраны так, чтобы траектория одной выбранной точки шатуна (на рис. 1 точки М) была достаточно близкой к заданной. В общем случае [1] необходимо определить значения девяти параметров четырехзвенника, из которых часть находится эмпирическим путем, а остальные — вычисляются по одному из известных методов.

Известно, что часть параметров шарнирного четырехзвенника, у которого траектория шатунной точки М (рис. 1) хорошо приближается к заданной кривой, может быть вычислена [1].

Для случая, когда центр А вращения звена АВ (рис. 1) совпадает с началом координатной системы УАХ, а ось АХ направлена вдоль осевой линии стойки АД и известны величины параметров $a = (AB)$ и $k = (BM)$, требуется вычислить значения четырех параметров: $r = (CD)$; $d = (AD)$; $t = (BC)$ и $\omega = \angle CBM$.

Согласно Н. И. Левитскому [1] значение так называемой взвешенной разности Δq для рассматриваемого случая равно:

$$\Delta q = A[F(x) - P_0\varphi_0(x) - P_1\varphi_1(x) - P_2\varphi_2(x) - P_0P_1\varphi_4(x) - P_3], \quad (1)$$

где: $A, F(x), \varphi_0(x), \varphi_1(x), \varphi_2(x)$ и $\varphi_4(x)$ — известные функции

¹ Работа выполнена на кафедре «Теория механизмов и детали машин» под руководством доктора техн. наук проф. В. Я. Белецкого.

заданной независимой переменной — абсциссы x кривой, которую необходимо воспроизвести;

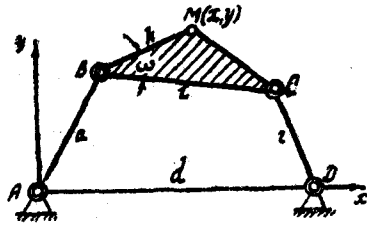


Рис. 1.

P_0, P_1, P_2 и P_3 — постоянные коэффициенты, подлежащие определению.

В свою очередь, функции, входящие в правую часть уравнения (1), выражаются зависимостями:

$$F(x) = \rho^2; \quad (2)$$

$$\varphi_0(x) = -U; \quad (3)$$

$$\varphi_1(x) = W \cdot x - V \cdot y; \quad (4)$$

$$\varphi_2(x) = k[2x - \varphi_1(x)]; \quad (5)$$

$$\varphi_4(x) = V \cdot x + W \cdot y; \quad (6)$$

где:

$$\rho^2 = x^2 + y^2; \quad (7)$$

$$U = \pm \sqrt{4k^2 \rho^2 - (\rho^2 + k^2 - a^2)^2} \quad (8)$$

$$V = \frac{U}{\rho^2}; \quad (9)$$

$$W = \frac{\rho^2 + k^2 - a^2}{\rho^2}; \quad (10)$$

$$A = \frac{1}{k} \cos \omega. \quad (11)$$

Искомые размеры механизма вычисляются при этом по формулам:

$$d = P_1; \quad (12)$$

$$\omega = \arctg P_0; \quad (13)$$

$$v = \frac{d}{P_2 \cdot \cos \omega}; \quad (14)$$

$$r = \sqrt{v^2 + a^2 + d^2 - \frac{P_1}{k \cdot P_2} (a^2 + k^2 - P_3)}. \quad (15)$$

Применяя метод последовательного исключения постоянных коэффициентов основного уравнения путем последовательного дифференцирования [2, 3], в нашем случае получим:

$$F(x) - P_0 \cdot \varphi_0(x) - P_1 \cdot \varphi_1(x) - P_2 \cdot \varphi_2(x) - P_0 \cdot P_1 \cdot \varphi_4(x) - P_3 = 0. \quad (16)$$

Поскольку коэффициенты P_0, P_1, P_2 и P_3 — постоянные величины, то дифференцируя уравнение (16) по независимой переменной x , получаем:

$$P_2 = \frac{F'(x)}{\varphi_2'(x)} - P_0 \frac{\varphi_0'(x)}{\varphi_2'(x)} - P_1 \frac{\varphi_1'(x)}{\varphi_2'(x)} - P_0 \cdot P_1 \frac{\varphi_4'(x)}{\varphi_2'(x)} \quad (17)$$

Беря производную по той же переменной обеих частей уравнения (17), после простейших преобразований найдем:

$$P_0 = \frac{f_1(x) - P_1 \cdot f_3(x)}{f_2(x) + P_1 \cdot f_4(x)}, \quad (18)$$

где:

$$f_1(x) = F''(x) \cdot \varphi_2'(x) - \varphi_2''(x) \cdot F'(x); \quad (19)$$

$$f_2(x) = \varphi_0''(x) \cdot \varphi_2'(x) - \varphi_2''(x) \cdot \varphi_0'(x); \quad (20)$$

$$f_3(x) = \varphi_1''(x) \cdot \varphi_2'(x) - \varphi_2''(x) \cdot \varphi_1'(x); \quad (21)$$

$$f_4(x) = \varphi_4''(x) \cdot \varphi_2'(x) - \varphi_2''(x) \cdot \varphi_4'(x). \quad (22)$$

Беря производную по той же переменной обеих частей уравнения (18), после преобразований получим квадратное уравнение:

$$f_5(x) P_1^2 + f_6(x) P_1 + f_7(x) = 0, \quad (23)$$

где:

$$f_5(x) = f_3(x) \cdot f_4'(x) - f_3'(x) \cdot f_4(x); \quad (24)$$

$$f_6(x) = f_1'(x) \cdot f_4(x) - f_4'(x) \cdot f_1(x) + f_2'(x) \cdot f_3(x) - f_3'(x) \cdot f_2(x); \quad (25)$$

$$f_7(x) = f_1'(x) \cdot f_2(x) - f_2'(x) \cdot f_1(x); \quad (26)$$

$$f_1'(x) = F'''(x) \cdot \varphi_2'(x) - \varphi_2'''(x) \cdot F'(x); \quad (27)$$

$$f_2'(x) = \varphi_0'''(x) \cdot \varphi_2'(x) - \varphi_2'''(x) \cdot \varphi_0'(x); \quad (28)$$

$$f_3'(x) = \varphi_1'''(x) \cdot \varphi_2'(x) - \varphi_2'''(x) \cdot \varphi_1'(x); \quad (29)$$

$$f_4'(x) = \varphi_4'''(x) \cdot \varphi_2'(x) - \varphi_2'''(x) \cdot \varphi_4'(x). \quad (30)$$

Из приведенного видно, что расчет должен выполняться в следующем порядке. Для фиксированного значения¹ независимой переменной x и соответствующей ей заданным уравнением кривой величине y , определить по уравнениям (7)–(10) значения ρ , U , V и W , а затем по зависимостям (2)–(6) — функций $F(x)$, $\varphi_0(x)$, $\varphi_1(x)$, $\varphi_2(x)$ и $\varphi_4(x)$. Для вычисления значений коэффициентов P_1 , P_0 , P_2 , P_3 по уравнениям (23), (18), (17) и (16) нужно предварительно вычислить первые, вторые и третьи производные по переменной x упомянутых выше функций по следующим зависимостям, полученным на основании уравнений (2)–(10):

$$U' = \pm \frac{1}{U} [2\rho\rho'(k^2 - \rho^2 + a^2)]; \quad (31)$$

$$U'' = \pm \frac{1}{U} \{2[(\rho'^2 + \rho \cdot \rho'') \cdot (k^2 - \rho^2 + a^2) - 2\rho^2 \cdot \rho''] - U'^2\}; \quad (32)$$

$$U''' = \pm \frac{1}{U} \{2[(3\rho' \cdot \rho'' + \rho \cdot \rho''') \cdot (k^2 - \rho^2 + a^2) - 6\rho \cdot \rho'(\rho'^2 + \rho\rho'')] - 3U' \cdot U''\}; \quad (33)$$

$$V' = \frac{1}{\rho} \left[\frac{1}{\rho^2} (U' \cdot \rho - 2\rho' \cdot U) \right]; \quad (34)$$

$$V'' = \frac{1}{\rho} \left[\frac{1}{\rho^2} (U'' \cdot \rho - 2\rho'' \cdot U - \rho' \cdot U') - 3\rho' \cdot V' \right]; \quad (35)$$

$$V''' = \frac{1}{\rho} \left[\frac{1}{\rho} (U''' - 6\rho'^3 \cdot V') - \frac{1}{\rho^2} (2\rho''' \cdot U + 3\rho'' \cdot U') - 3(\rho'' \cdot V' + 2\rho' \cdot V'') \right]; \quad (36)$$

$$W' = \frac{1}{\rho} 2\rho' \cdot (1 - W); \quad (37)$$

$$W'' = \frac{1}{\rho} \left[2\rho'' \cdot (1 - W) - 3\rho' \cdot W' \right]; \quad (38)$$

$$W''' = \frac{1}{\rho} \left[2\rho''' \cdot (1 - W) - 5\rho'' \cdot W' - 4\rho' \cdot W'' \right]; \quad (39)$$

$$F'(x) = 2\rho \cdot \rho'; \quad (40)$$

$$F''(x) = 2(\rho'^2 + \rho \cdot \rho''); \quad (41)$$

$$F'''(x) = 2(3\rho' \cdot \rho'' + \rho \cdot \rho'''); \quad (42)$$

$$\varphi_0'(x) = -U'; \quad (43)$$

$$\varphi_0''(x) = -U''; \quad (44)$$

¹ О рациональном выборе этого значения см. работу [4].

$$\varphi_0'''(x) = -U'''; \quad (45)$$

$$\varphi_1'(x) = W' \cdot x + W - V' \cdot y - V \cdot y'; \quad (46)$$

$$\varphi_1''(x) = W'' \cdot x + 2(W' - V' \cdot y') - V'' \cdot y - V \cdot y''; \quad (47)$$

$$\varphi_1'''(x) = W''' \cdot x + 3(W'' - V'' \cdot y' - V' \cdot y'') - V''' \cdot y - V \cdot y'''; \quad (48)$$

$$\varphi_2'(x) = k[2 - \varphi_1'(x)]; \quad (49)$$

$$\varphi_2''(x) = -k \cdot \varphi_1''(x); \quad (50)$$

$$\varphi_2'''(x) = -k \cdot \varphi_1'''(x); \quad (51)$$

$$\varphi_4'(x) = V' \cdot x + V + W' \cdot y + W \cdot y'; \quad (52)$$

$$\varphi_4''(x) = V'' \cdot x + 2(V' + W' \cdot y') + W'' \cdot y + W \cdot y''; \quad (53)$$

$$\varphi_4'''(x) = V''' \cdot x + 3(V'' + W'' \cdot y' + W' \cdot y'') + W''' \cdot y + W \cdot y'''; \quad (54)$$

$$\rho' = \frac{1}{\rho} \cdot (x + y \cdot y'); \quad (55)$$

$$\rho'' = \frac{1}{\rho} (1 + y'^2 + y \cdot y'' - \rho'^2); \quad (56)$$

$$\rho''' = \frac{1}{\rho} [3(y' \cdot y'' - \rho' \cdot \rho'') + y \cdot y''']; \quad (57)$$

После выполнения указанных расчетов, нужно определить последовательно по уравнениям (23), (18), (17) и (16) значения коэффициентов P_1 , P_0 , P_2 и P_3 , а затем вычислить по формулам (12)–(15) искомые значения параметров d , ω , τ и γ . Из изложенного ясно, что кривая, воспроизводимая шатунной точкой M шарнирного четырехзвенника, имеет с заданной кривой точку касания 3-го порядка; иначе говоря, кратность интерполяционного узла равна четырем.

Пусть требуется определить размеры шарнирного четырехзвенника так, чтобы его шатунная точка M описывала приближенно дугу окружности, уравнение которой при выборе осей координат согласно рис. 1 таково [5]:

$$\left. \begin{aligned} x &= 1,2400 + 1,6200 \cos t \\ y &= 0,4400 + 1,6200 \sin t \end{aligned} \right\} \quad (57, a)$$

При этом величина параметра t ограничена пределами $50^\circ \leq t \leq 90^\circ$.

Предварительно найдено: $k = 1,3393$ и $a = 1,8200$. Требуется вычислить параметры γ , d , τ и ω .

По П. Л. Чебышеву [6] в качестве точки касания кривых (заданной дуги окружности и траектории, описываемой шатунной точкой M проектируемого четырехзвенника) нужно выбрать среднюю точку на дуге. Для нашего случая точка ка-

сания соответствует значению $t=70^\circ$. Согласно уравнению (57, а) координаты точки касания соответственно равны:

$$x=1,79404 \text{ и } y=1,962314.$$

По уравнениям (7) — (10) находим:

$$\begin{aligned} \rho &= 2,6588072; & U &= -4,46231415; \\ V &= -0,63122828; & W &= 0,78517180. \end{aligned}$$

Воспользовавшись зависимостями (2) — (6), получаем:

$$\begin{aligned} F(x) &= 7,06925576; & \varphi_0(x) &= 4,46231415; \\ \varphi_1(x) &= 2,64729770; & \varphi_2(x) &= 1,25998973; \\ \varphi_4(x) &= 0,40830483. \end{aligned}$$

Согласно заданной системе уравнений (57, а) будем иметь:

$$y' = \frac{dy}{dx} = -\operatorname{ctg} t; \quad y'' = \frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{1}{1,6200 \cdot \sin^3 t} \text{ и}$$

$$y''' = \frac{d^3y}{dx^3} = -\frac{3 \cos t}{1,6200^2 \cdot \sin^5 t},$$

что для значения параметра $t=70^\circ$ дает: $y' = -0,364$; $y'' = -0,74390471$; и $y''' = -0,53362443$.

По уравнениям (55) — (57) и (31) — (54) найдем:

$$\begin{aligned} \rho' &= 0,40610606; & \rho'' &= -0,18512089; & \rho''' &= -0,00348224; \\ U' &= 0,95004791; & U'' &= 0,95939370; & U''' &= -0,54412018; \\ V' &= 0,32721904; & V'' &= -0,12265885; & V''' &= 0,08440258; \\ W' &= 0,06562570; & W'' &= -0,05998605; & W''' &= 0,058932465; \\ F'(x) &= 2,15951541; & F''(x) &= -0,65455723; & F'''(x) &= -0,46958950; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varphi_0'(x) &= -0,95004791; & \varphi_0''(x) &= -0,95939370; & \varphi_0'''(x) &= 0,54412018; \\ \varphi_1'(x) &= 0,03103331; & \varphi_1''(x) &= 0,032970958; & \varphi_1'''(x) &= 0,01962175; \\ \varphi_2'(x) &= 2,63703709; & \varphi_2''(x) &= -0,04415800; & \varphi_2'''(x) &= -0,026279403; \\ \varphi_4'(x) &= -0,20120854; & \varphi_4''(x) &= -0,31519676; & \varphi_4'''(x) &= -0,60085080. \end{aligned}$$

По уравнениям (19) — (22) и (27) — (30) найдем:

$$\begin{aligned} f_1(x) &= -1,63073180; & f_1'(x) &= -1,18157414; \\ f_2(x) &= -2,57190898; & f_2'(x) &= 1,40989840; \\ f_3(x) &= 0,08831601; & f_3'(x) &= 0,052558806; \\ f_4(x) &= -0,84007051; & f_4'(x) &= -1,58975348. \end{aligned}$$

По уравнениям (24) — (26) найдем:

$$f_5(x) = -0,09624758; \quad f_6(x) = -1,34016289; \quad f_7(x) = 5,33806729.$$

По формулам (23), (18), (17) и (16):

$$\begin{aligned} P_1 &= 3,23265001; & P_0 &= 0,36240260; & P_2 &= 1,00082604; \\ P_3 &= -4,84505354. \end{aligned}$$

Искомые значения параметров механизма согласно формул (12) — (15) равны:

$$d = 3,23265001; \quad \omega = 19^\circ 55'; \quad \iota = 3,43542003; \quad r = 1,25113530.$$

Схема полученного механизма изображена на рис. 2.

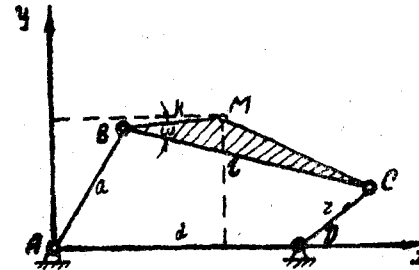


Рис. 2.

Для оценки значений отклонений кривой, описываемой шатунной точкой M (рис. 2) найденного механизма, от заданной дуги согласно Н. И. Левитскому [1] поступаем следующим образом. Во-первых, для ряда значений параметра t ($50^\circ \leq t \leq 90^\circ$) находим по уравнению (1) соответственные величины взвешенной разности Δq . Вычисления приведены в таблице 1.

Во-вторых, вычерчиваем для значений параметра t , равного $50^\circ, 55^\circ, 85^\circ$ и 90° , преобразованный механизм, для чего (рис. 3, а)¹ закрепляем звено CD и вводим дополнительно ползушку С, перемещающуюся вдоль звена CD, как по направляющей.

¹ Положение механизма, показанное на рис. 3, а, соответствует значению $t=50^\circ$.

На рис. 4 изображен график изменения величины Δn .

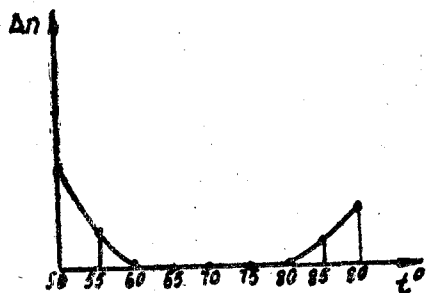


Рис. 4.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. И. Левитский. Проектирование плоских механизмов с низшими парами. Изд. АН СССР, 1950.
2. В. Я. Белецкий. Уточнение размеров плоских механизмов с низшими парами, воспроизводящих заданный закон движения. Труды Одесского технологического института им. И. В. Сталина, т. 8, 1957.
3. В. Я. Белецкий. Вычисление пяти параметров передаточных кривошипно-шатунных механизмов. Известия высших учебных заведений МВО СССР. Машиностроение, № 7—8, 1958.
4. Н. И. Левитский. К синтезу шарнирных механизмов. Труды семинара по теории машин и механизмов, вып. 69. Изд. АН СССР, 1958.
5. И. Ш. Пинскер. Приближенный синтез механизмов с низшими парами. Труды семинара по теории машин и механизмов, вып. 18. Изд. АН СССР, 1948.
6. П. Л. Чебышев. Теория механизмов, известных под названием параллелограммов. Собр. соч., т. 2. Изд. АН СССР, 1947.

Аспирант Ю. Г. ГРИЦЕНКО

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЛАДКОЙ ВИБРИРУЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ В КАЧЕСТВЕ РАБОЧЕГО ОРГАНА ДЛЯ СЕПАРИРОВАНИЯ СЫПУЧИХ СМЕСЕЙ

Описываемый в настоящей статье «звуковой» способ сепарирования¹ представляет собой бесситовый вибрационный способ выделения сухих порошков из различных сыпучих смесей органического и неорганического происхождения. Процесс сепарирования по этому способу происходит на рабочем органе в виде вибрирующей наклонной плоскости или вибрирующего усеченного конуса с гладкой поверхностью (рис. 1, а). Эффект сепарирования на такого рода рабочей поверхности может иметь место лишь при соблюдении определенных кинематических и геометрических параметров, а именно: частота f вибрации, как показали опыты, должна быть порядка $30 \div 100$ герц, а амплитуда a — соответственно $2 \div 0,5$ мм. Угол α наклона образующей рабочей поверхности к горизонту может изменяться в пределах $5 \div 70^\circ$ (рис. 2), а угол β , характеризующий направление прямолинейной вибрации по отношению к рабочей поверхности, должен удовлетворять следующему условию:

$$\gamma > \beta \gg \delta,$$

где: δ — угол между вертикалью и рабочей поверхностью,

$$\gamma = \delta + 15^\circ.$$

Иными словами, направление прямолинейной вибрации должно быть вертикальным, либо отклоняться от вертикали.

¹ Авторское свидетельство № 114116 с приоритетом от 17 декабря 1956 года.

в сторону нормали на угол $\varphi < 15^\circ$. Последнее условие выполнимо только для плоскости. Для конической же поверхности существует единственное значение угла $\beta = \delta$, при котором все точки ее совершают вертикальные прямолинейные колебания.

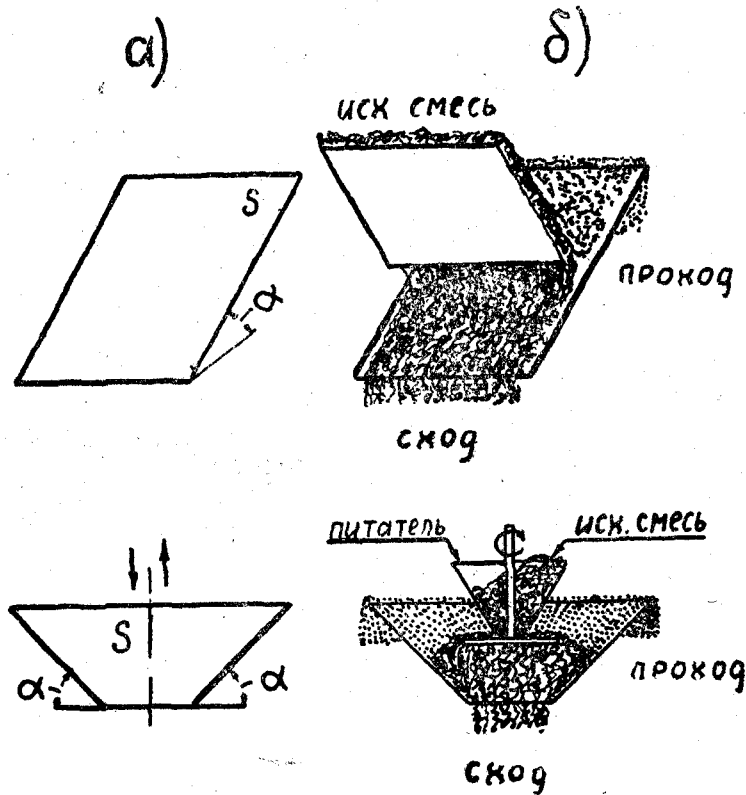


Рис. 1. Два типа рабочих органов (а) и внешний вид процесса сепарирования звуковым способом, осуществляемого на них (б).

Если все указанные требования к параметрам f , a , α , β удовлетворяются, то процесс сепарирования на рабочей поверхности осуществляется путем разделения исходной смеси на две фракции, одна из которых движется вверх («проход»), а вторая — вниз («сход») (рис. 1, б). Выделяемая в «проход»

фракция представляет собой совокупность частиц, крупность которых колеблется в некоторых пределах и зависит от многих факторов, но в любом случае они не могут превышать 0,5 мм в поперечнике. Что касается фракции «сход», то она состоит из более крупных частиц, чем частицы «прохода».

Описываемый эффект сепарирования основан на неодинаковом взаимодействии тонкодисперсных и крупных частиц с звуковыми волнами воздуха, возникающими вследствие вибрации в пограничном с рабочей поверхностью слое.

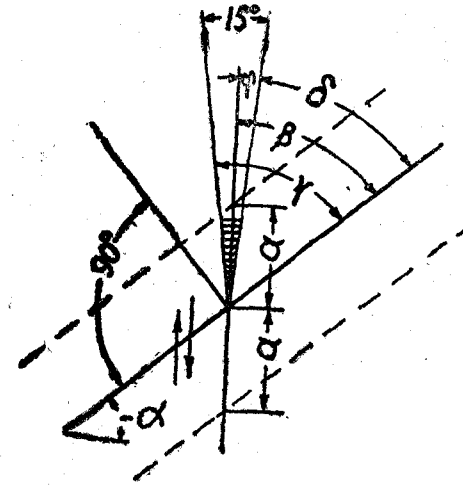


Рис. 2. Геометрические параметры рабочей поверхности (плоскости).

В процессе волнообразования в пограничном слое образуются воздушные потоки, которые пронизывают находящуюся на рабочей поверхности смесь и увлекают с собой наиболее легкие тонкодисперсные частицы, так что их результирующее движение становится направленным вверх. Действие же воздуха на более крупные частицы менее существенно и поэтому их результирующее движение направлено вниз. Правильность сделанного предположения относительно причины движения порошка («прохода») вверх подтверждается изменением условий опыта.

В условиях вакуума все частицы перемещаются вниз и, следовательно, эффект сепарирования отсутствует.

Поскольку рассматриваемый способ сепарирования обуславливается действием слышимых воздушных волн, то это дает основания называть его «звуковым».

Конструкция экспериментальной установки

Исследование возможностей звукового способа сепарирования проводилось на экспериментальной установке, внешний вид которой показан на рис. 3. Состоит она из трех основных частей: рабочего органа — диффузора, вибратора и питателя.

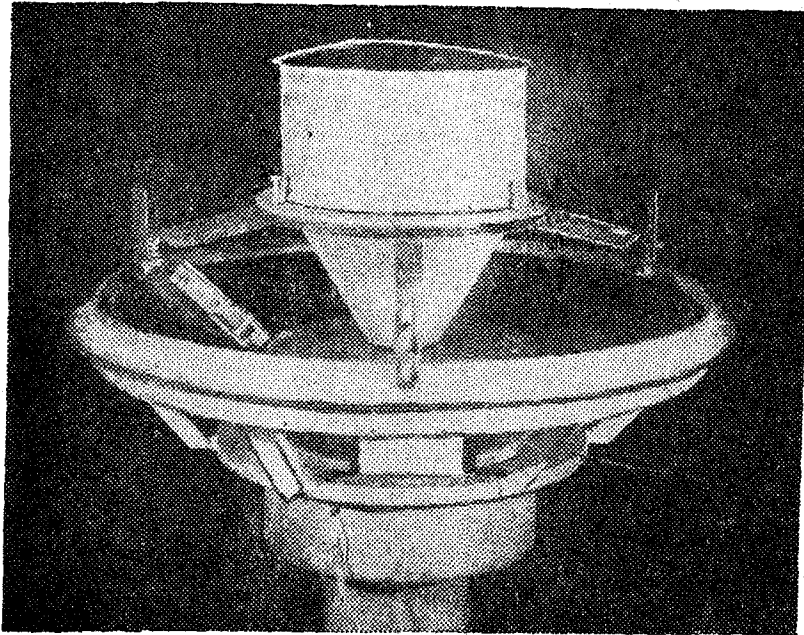


Рис. 3. Внешний вид экспериментальной установки.

Рабочий орган — диффузор 1 (рис. 4) представляет собой усеченный конус из тонколистового текстолита. При помощи двух упругих текстолитовых шайб 2 и 3, заземленных между двумя парами фланцев 4 и 5, он подвешен к неподвижной розетке 8, которая в свою очередь крепится к неподвижной части электродинамического вибратора. Последняя

состоит из кольцеобразного полого сердечника магнита 10 и катушки подмагничивания L_2 , предназначенной для создания постоянного магнитного поля между полюсными фланцами 11 и 12.

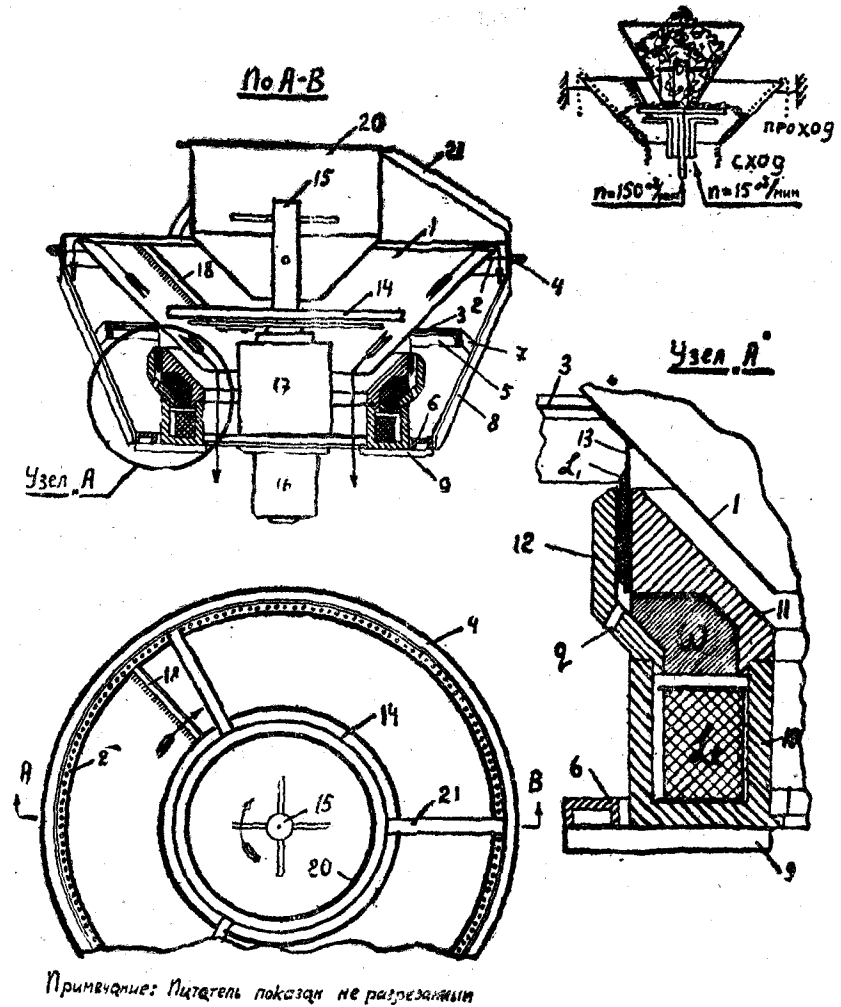


Рис. 4. Экспериментальная установка (разрез).

В концентричную шель, образованную фланцами 11 и 12, свободно входит подвижная часть вибратора — колебательная катушка L_1 , намотанная на каркас 13, который наглухо прикреплен к нижней части диффузора 1.

Состоит катушка L_1 из нескольких десятков витков провода $\varnothing 0,5 \div 1$ мм, намотанного в 1—2 слоя и защищенного оболочкой от механических повреждений. При пропускании через катушку переменного тока вокруг нее образуется знакопеременное магнитное поле, которое взаимодействует с постоянным магнитным полем соленоида L_2 и обуславливает появление знакопеременной механической силы, вынуждающей вибрировать по вертикали катушку L_1 , а вместе с ней и диффузор 1. Таким образом, изменяя частоту и напряжение тока, питающего катушку L_1 , можно изменять частоту f и амплитуду a вибрации диффузора.

Питатель состоит из неподвижного ковша 20, вала 15 с насаженным на нем диском 14 и щетки 18. Диск 14 вместе с валом 15 приводится во вращательное движение от электродвигателя 16 через редуктор 17.

Поступающая из ковша 20 на вращающийся диск 14 исходная смесь, под действием центробежных сил, равномерно подается на рабочую поверхность, где и происходит процесс сепарирования.

Сход выводится наружу через внутреннее пространство вибратора, а проход — через внешнюю кромку диффузора и далее через множество отверстий, пробитых в шайбе 2. Медленно вращающаяся щетка 18 предназначена для очистки рабочей поверхности от налипших на нее частиц.

Некоторые предварительные данные, характеризующие возможности звукового способа сепарирования

Как уже отмечалось, эффективность сепарирования звуковым способом зависит от многих факторов.

Опытным путем было установлено, что качественно-количественная характеристика прохода и схода зависит от параметров f , a , α , β , от характеристики исходной смеси (удельный вес, влажность, упругость частиц и т. д.), от характеристики рабочей поверхности (шероховатость, упругость материала), а также от ряда других второстепенных факторов. Сочетая различным образом эти факторы, можно изменять качественно-количественную характеристику прохода и схода.

Практически выделить проходом тонкодисперсную порошкообразную фракцию удается из многих сыпучих смесей, полученных путем измельчения разнообразных материалов таких, как кварц, стекло, поваренная соль, уголь каменный и древесный, речной песок, злаковые зерна, древесные породы и т. д.

Частицы сыпучих смесей, полученных из материалов с относительно большим сопротивлением разрушению (алмаз, кварц, сухая поваренная соль и т. д.) в процессе сепарирования не слипаются между собой. Поэтому порошки из таких смесей выделяются наиболее эффективно. Менее эффективно протекает процесс сепарирования смесей, частицы которых имеют тенденцию к слипанию (например, порошок из мела). Такие частицы слипаются в комочки и налипают на рабочую поверхность, что затрудняет процесс сепарирования.

Для суждения о возможности разделения какой-либо смеси звуковым способом на сход и проход, а также для суждения о дисперсности этих фракций необходимо знать «критический» или «граничный» размер b_k частиц данной исходной смеси.

Как уже отмечалось, направление движения частиц на рабочей поверхности зависит от их дисперсности. Достаточно мелкие частицы движутся вверх, а более крупные — вниз. Частицы же промежуточного размера не движутся ни вверх, ни вниз, а подпрыгивают на одном месте, т. е. находятся в равновесном положении.

Размеры таких частиц и называются «критическими».

Зная критический размер b_k частицы данной смеси, можно судить о дисперсности фракций, не прибегая к пробному сепарированию. Проход будет состоять из частиц меньшего размера, чем критический, а сход, наоборот, большего.

Опытным путем было установлено, что величина b_k зависит главным образом от удельного веса γ частиц и в меньшей мере от параметров f , a , α , β . Зависимость b_k от γ при $\alpha = 30^\circ$, $f = 50$ гц, $a = 1,25$ мм и $\beta = \delta$ показана на рис. 5. При других значениях f , a , α , β кривая зависимости $b_k = f(\gamma)$ на графике (рис. 5) расположится выше или ниже.

При рассмотрении качества исходных и конечных продуктов основной интерес представляет их дисперсная характеристика, составленная по данным ситового анализа. В качестве критерия для оценки дисперсности принято относительное содержание u_n частиц, провалившихся через сито с определенным размером отверстий b . В качестве же критерия для ко-

личественной оценки эффективности сепарирования принят коэффициент разделения $i = \frac{q_n}{q_c}$, характеризующий отношение удельного прохода q_n к удельному сходу q_c при заданной удельной подаче $q = q_n + q_c$, величина которой не зависит от кинематических параметров f, a .

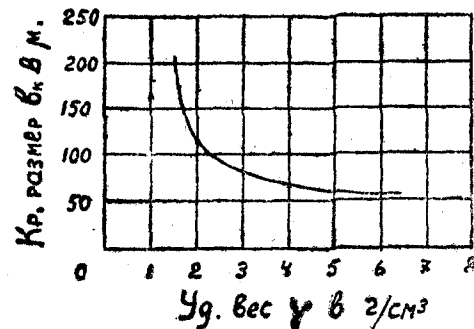


Рис. 5. График зависимости критического размера частиц от их удельного веса.

Под «удельным проходом» q_n и «удельным сходом» q_c подразумевается весовое количество прохода или схода, получаемое за единицу времени с единицы длины линии контакта смеси с диффузором, при поступлении ее на последний (кг/м мин.). Аналогично под «удельной подачей q » подразумевается весовое количество исходной смеси, подаваемое за единицу времени на единицу длины линии контакта (кг/м мин.).

Влияние параметров f, a, α, q на указанные критерии можно проследить по опытным данным, полученным на описанной выше экспериментальной установке. На этой установке были проведены четыре серии опытов с продуктами первой размольной системы влажностью 14,2—14,5%, получаемыми при помоле пшеницы ($\gamma = 1,5 \text{ г/см}^3$).

Методика проведения опытов была построена так, что в каждой серии опытов один из параметров f, a, α, q изменялся, а остальные три оставались неизменными.

Все четыре серии опытов проводились при установившемся режиме сепарирования и при трехкратной повторности. Таким образом, все полученные данные являются средними арифметическими трех измерений.

В первой серии опытов переменной была частота f , величина которой изменялась в пределах 40 ÷ 70 гц, через каждые 10 гц. Прочие три параметра имели следующие фиксированные значения: $a = 1 \text{ мм}, \alpha = 39^\circ, q = 2 \text{ кг/м мин.}$ На основании полученных данных было установлено, что коэффициент разделения i (рис. 6) находится в прямой, а относительное содержание u_n (рис. 7) — в обратной зависимости

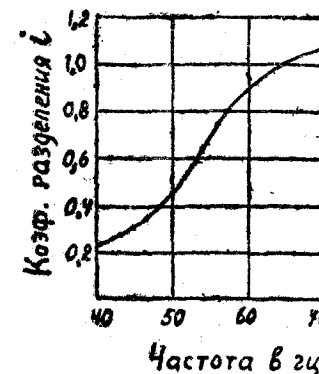


Рис. 6. График зависимости коэффициента разделения от частоты.

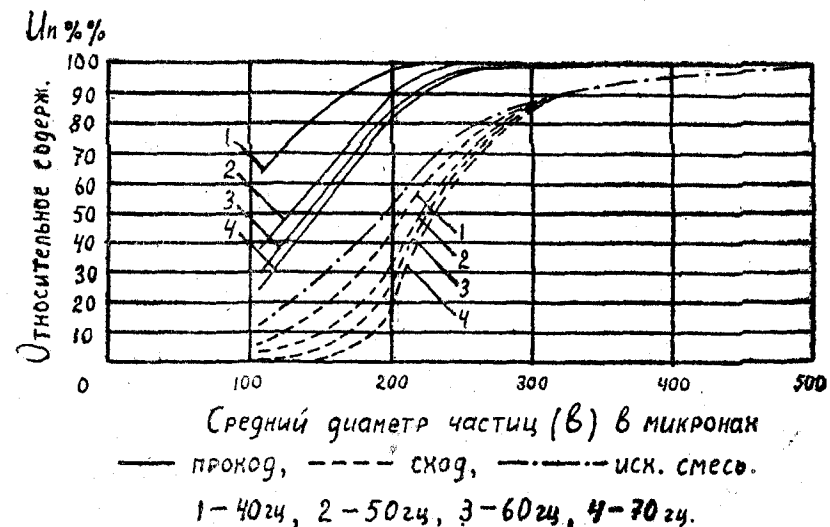


Рис. 7. Дисперсная характеристика продуктов первой серии опытов

от частоты f . Этот результат можно объяснить тем, что при увеличении числа ударных воздействий рабочей поверхности на частицы смеси за единицу времени, удельный проход q_n увеличивается за счет отбора из смеси более крупных частиц.

Во второй серии опытов изменялась амплитуда a в пределах $0,75 \div 1,25$ мм через $0,25$ мм, а прочие три параметра принимались постоянными и равными $f=50$ гц, $\alpha=39^\circ$, $q \approx 2$ кг/м мин. Как показали результаты этой серии опытов, коэффициент разделения i связан с амплитудой a прямой зависимостью (рис. 8), а с относительным содержанием u_n — обратной (рис. 9).

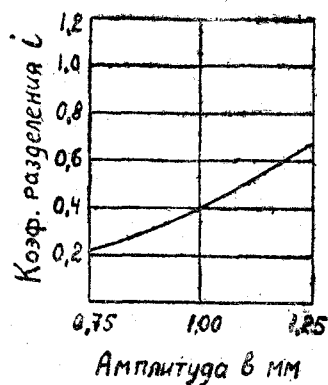


Рис. 8. График зависимости коэффициента разделения от амплитуды.

Как и в предыдущей серии опытов, увеличение удельного прохода q_n по мере увеличения амплитуды a происходит за счет отбора из смеси более крупных частиц.

В третьей серии опытов изменялся угол α , а параметры f , a , q оставались неизменными и равными $f=50$ гц, $a=1$ мм, $q \approx 2$ кг/м мин. Углу α было придано всего лишь два значения: $\alpha_1=39^\circ$ и $\alpha_2=45^\circ$. По данным этой серии опытов было установлено, что с увеличением α коэффициент разделения i соответственно уменьшается с $i=0,57$ до $i=0,31$, а относительное содержание u_n увеличивается согласно графику (рис. 10).

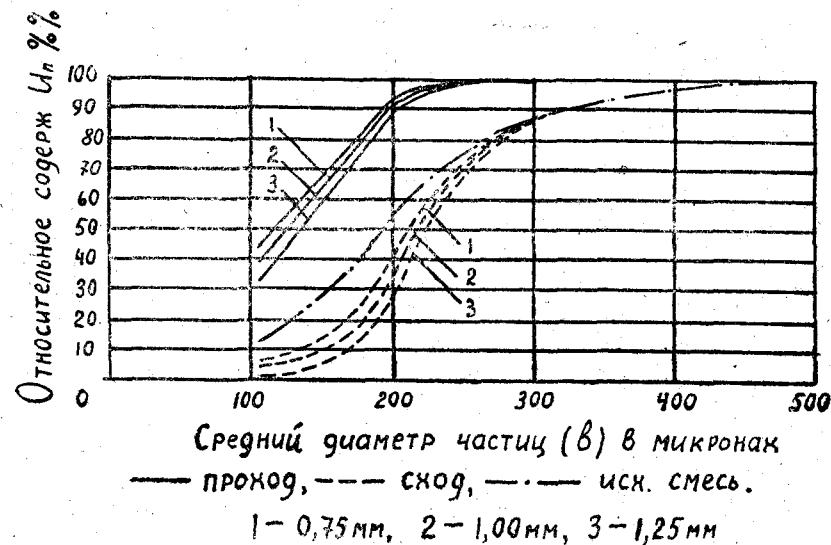


Рис. 9. Дисперсная характеристика продуктов второй серии опытов.

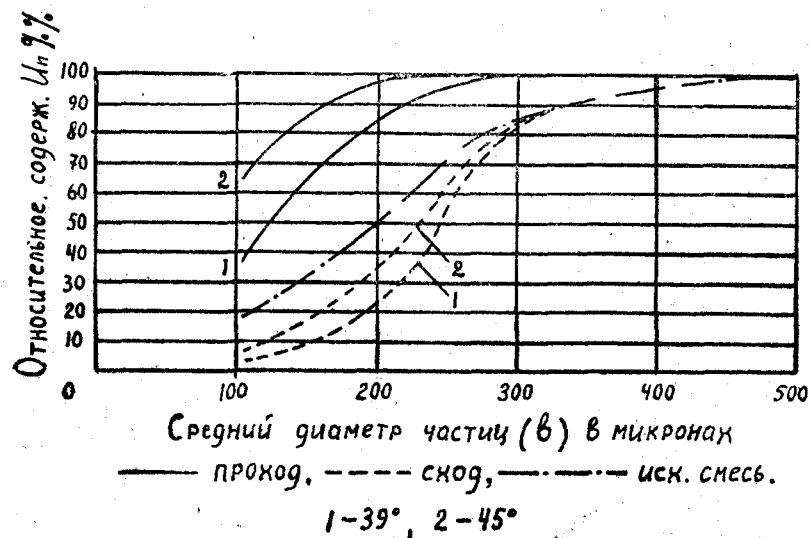


Рис. 10. Дисперсная характеристика продуктов третьей серии опытов.

В четвертой серии опытов удельная подача была принята равной $q_1=1,28$ кг/м мин. и $q_2=1,96$ кг/м мин. Остальные параметры имели постоянную величину, равную $f=60$ гц $a=0,75$ мм, $\alpha=39^\circ$.

В первом случае ($q_1=1,28$ кг/м мин.) коэффициент разделения был равен $i_1=0,73$, а во втором ($q_2=1,96$ кг/м мин.) он уменьшился до значения $i_2=0,41$, что указывает на существование обратной зависимости между величинами q и i . Относительное содержание u_n зависит от q , как это видно из графика (рис. 11), также обратно пропорционально.

Из анализа полученных данных следует, что коэффициент разделения i находится в прямой зависимости от параметров f , a и в обратной — от параметров α , q . Относительное же содержание u_n прямо пропорционально параметру a и обратно пропорционально параметрам f , a , q .

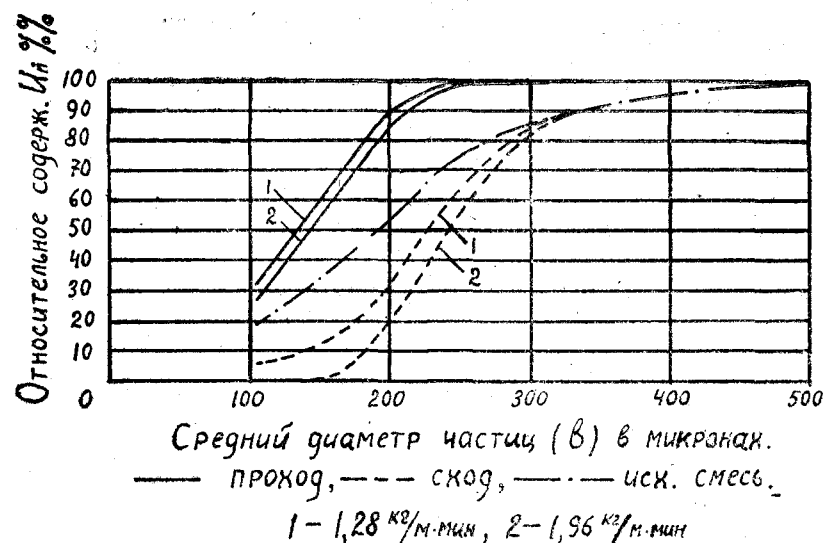


Рис. 11. Дисперсионная характеристика продуктов четвертой серии опытов.

Выводы

Анализ полученных опытных данных свидетельствует о том, что при использовании гладкой вибрирующей поверхности в качестве рабочего органа для сепарирования сыпучих смесей представляется возможным получать результаты, близкие к результатам просеивания на ситах. Например, при $f=50$ гц, $a=1,25$ мм, $\alpha=45^\circ$, $q=2$ кг/м мин. проходом можно получить порошок типа муки с размерами частиц до 200 микрон.

Ассистент В. П. МАЛАХОВЦЕВ

О МОДУЛЕ УПРУГОСТИ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ¹

П. А. Афанасьевым впервые исследовались упругие свойства зерна пшеницы с целью определения расхода энергии на измельчение [1]. Проведенный им расчет межвальцового давления и определения затраты энергии на измельчение основан на использовании данных опытов по разрушению одновременно 200 зерен при сжатии их на прессе. Полученная эмпирическая формула

$$P = 4,5 \frac{\mu}{\delta},$$

где: P — величина усилия, необходимого для статического разрушения зерна;

μ — относительное сжатие зерна;

δ — толщина зерна,

до сих пор не потеряла своего значения. Но сведений о модуле упругости зерна мы в этой работе не находим.

В 1947 году А. Л. Шполянская [2], используя теорию Гертца о сжатии двух упругих тел, получила формулу:

$$E = \frac{0,96 \cdot P}{\sqrt{\Delta h^3 \cdot b}},$$

где: E — модуль упругости зерна;

P — нагрузка в кг;

Δh — абсолютная деформация в см;

b — ширина зерна.

Подсчитывая по этой формуле модуль упругости зерна, получены значения:

$$E = 20000 - 50000 \text{ кг/см}^2.$$

¹ Работа выполнена на кафедре сопротивления материала под руководством доктора тех. наук проф. Луица Е. Б.

В 1957 году И. А. Наумов [3], исследуя упругие свойства оболочек зерна пшеницы, нашел их модуль упругости в зависимости от влажности и установил, что при колебаниях влажности от 12 до 48% E оболочек зерна пшеницы разных сортов изменяется ($1760 \div 1890$; $2540 \div 2210$; $2910 \div 2600$ кг/см²) в пределах одного сорта, а между сортами для одной влажности, следовательно, от 1760 до 2910 кг/см².

Других сведений по данному вопросу в известной нам литературе не имеется. Между тем модуль упругости является важнейшей механической характеристикой любого материала. Сведения о модуле упругости позволят теоретически определять межзвальцовое давление при размоле зерна.

Задачи исследования и экспериментальная установка

С целью уточнения данных о величине модуля упругости зерна пшеницы нами были поставлены задачи:

- а) установить предел упругости зерна;
- б) построив кривую сжатия в координатах «напряжение—относительная деформация», определить модуль упругости некоторых сортов пшеницы в зависимости от относительного сжатия и влажности.

Для этого был сконструирован и изготовлен прибор, схема которого представлена на рис. 1.

Особенностью конструкции прибора является возможность фиксировать усилия и деформации в пределах упругости.

При снятии нагрузки с помощью винта 2 верхняя матрица 4, сжимающая зерно, и рычажок 5, поддерживающий стержень зеркала 6, остаются на зерне, которое силой своей упругости приподнимает их и, находясь в стадии только упругих деформаций, возвращает световую стрелку на шкале деформаций 8 в нулевое положение. При наличии остаточных деформаций световая стрелка не устанавливается на нуль и таким образом регистрирует их величину.

Тарировка усилий производилась с помощью индикаторного динамометра (рис. 2), который устанавливается между нижней матрицей и микрометрическим винтом (рис. 1). Динамометр предварительно протарирован гирями, таким образом по отклонению стрелки индикатора, соответствующему нагрузке в 1, 2, 3 и т. д. кг, замечалось отклонение стрелки миллиамперметра (рис. 1). Тарировочный график усилий приведен на рис. 3.

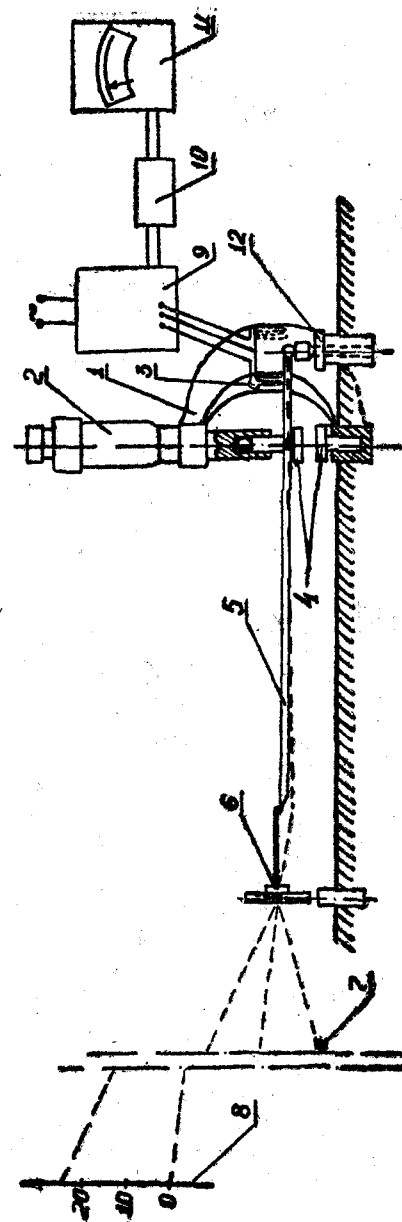


Рис. 1. Схема установки для исследования упругих свойств зерна:
1. Скоба микрометра; 2. Микрометрический винт, с помощью которого нагружается зерно; 3. Проволочные датчики; 4. Матрица, между которыми сжимается зерновка; 5. Рычажок указателя деформаций; 6. Зеркальце; 7. Осветитель; 8. Шкала отчета деформаций; 9. Усилитель; 10. Фильтр; 11. Миллиамперметр; 12. Винт установки нуля на шкале отчета деформаций.

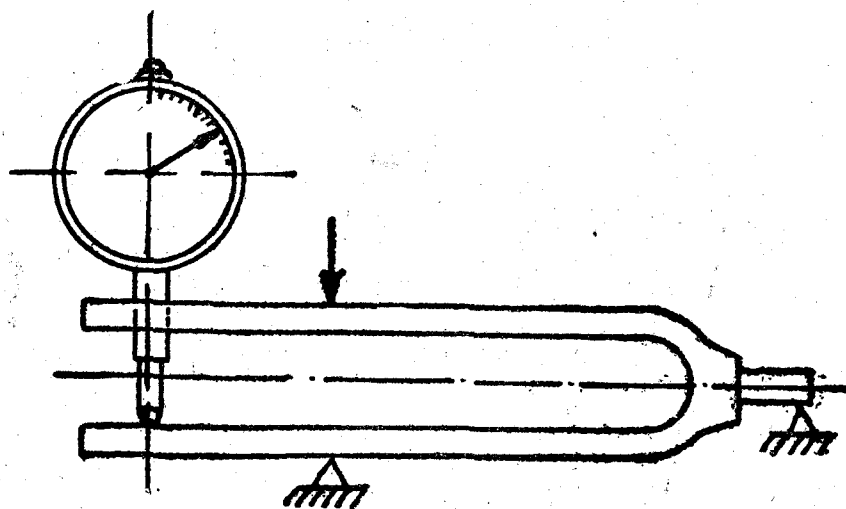


Рис. 2. Индикаторный динамометр.

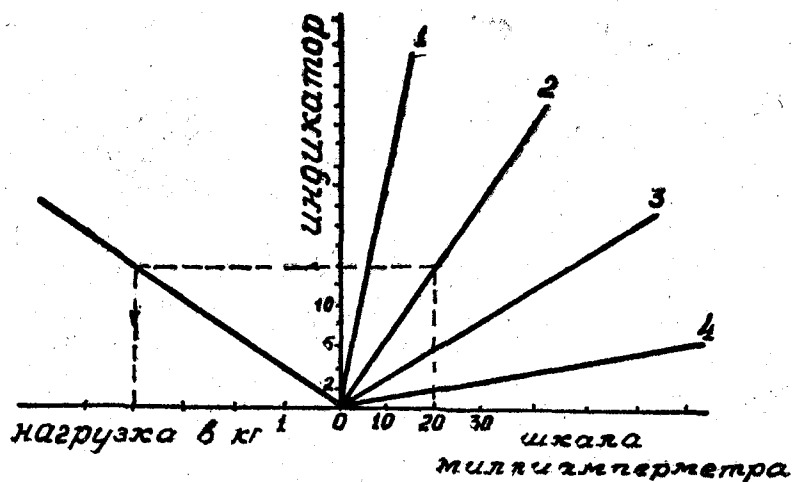


Рис. 3. Тарировочный график усилий.

Тарировка деформаций производилась с помощью измерительных плиток через 0,01 мм. Схема измерения деформаций показана на рис. 4.

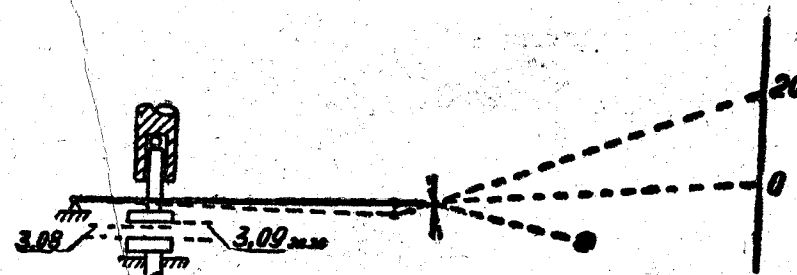


Рис. 4. Схема измерения деформаций.

Тарировочный график усилий (рис. 3) после математической обработки по способу наименьших квадратов для луча 2¹ построен по формуле:

$$y = ax + b,$$

где: $a = 0,7 \Delta a = 0,037$ (5,3%);
 $b = 2,5 \Delta b = 0,025$ (1%).

Таким образом погрешность измерения сил 5,3%. Погрешность измерения деформаций определена после трехкратной тарировки и составила 14,5%.

Методика определения условного модуля упругости зерна пшеницы

В настоящее время мы не имеем возможности оценить допущение о равномерности распределения напряжений в каком-то элементе зерна при сжатии. Все же мы такое допущение принимаем, т. к. за испытуемый образец берем целое зерно, полагая, что при выделении из целого зерна элемента правильной геометрической формы для исследования мы тем самым нарушаем прочность материала.

Поэтому определяемый в данной работе модуль упругости мы называем условным.

Сущность метода основана на измерении деформации сжатия зерна при ступенчатом нагружении до явного нарушения закона пропорциональности.

¹ Лучи 1, 2, 3, 4 соответствуют разной чувствительности миллиамперметра.

По замеренным деформациям определяется предел упругости, модуль упругости и относительное сжатие в момент разрушения.

На основании вышеуказанного допущения предел упругости определяется по формуле:

$$\sigma_p = \frac{P_p}{F_p},$$

где: P_p — сила, соответствующая пределу упругости,

F_p — площадь соприкосновения зерна с матрицами, определяемая после достижения предела упругости с помощью микроскопа с рисовальным прибором и планиметра (перед нагружением матрицы чертится грифелем и на зернышке остается отпечаток).

Вычисление модуля упругости для каждой ступени нагружения производится по формуле:

$$E = \frac{\sigma_p}{\epsilon_p},$$

где: ϵ_p — относительное сжатие зерновки, соответствующее нагружению в пределе упругости;

ϵ_p — получаем в результате деления абсолютного сжатия Δa на первоначальную высоту зерна a , т. е.

$$\epsilon_p = \frac{\Delta a}{a}.$$

Таким образом, методика по своей сущности не отличается от метода определения модуля упругости пластических масс органического происхождения ГОСТ 4646—49 [4].

Последовательность эксперимента заключается в следующем: из подготовленной к опыту пшеницы берется навеска в 1 кг и рассортировывается по крупности на ситах 2,4; 2,6; 2,8; 3,0; 3,2. От фракции, имеющей максимальное процентное содержание в массе зерна, отбирается средняя проба, определяется влажность и стекловидность зерна. Подготовленная к опыту навеска определенной влажности сохраняется в течение опыта (около 8 часов) в эксикаторе. Непосредственно перед нагружением каждая зерновка измеряется на стоечном индикаторе и укладывается бороздкой вниз между матрицами прибора. Затем осуществляется ступенчатое нагружение зер-

на со скоростью $0,3 \div 0,4$ кг через каждые 15 сек. Один опыт состоял в нагружении не менее 50 зерен и определении средних значений всех интересующих нас величин.

Результаты экспериментов

а) опыты по определению предела упругости дали следующие результаты:

Таблица 1

№ п.п.	С о р т	Влажность в %	P_p в кг	F_p в мм ²	σ_p в кг/см ²
1	Пшеница рядовая обезличенная	12	1,6	0,48	334
		15	1,2	0,49	245
		17	1,0	0,64	156
2	Меянопус-69	9	1,5	0,45	334

б) зависимость условного модуля упругости от относительного сжатия зерна рядовой обезличенной пшеницы с влажностью 12% и со стекловидностью в 30% показана в таблице 2.

Таблица 2

Относительное сжатие ϵ	$4 \cdot 10^{-3}$	$7,7 \cdot 10^{-3}$	$12 \cdot 10^{-3}$	$15,5 \cdot 10^{-3}$	$20 \cdot 10^{-3}$	$25 \cdot 10^{-3}$	$34,5 \cdot 10^{-3}$	$36 \cdot 10^{-3}$	$44,5 \cdot 10^{-3}$
Условный модуль упругости E в кг/см ²	$7,6 \cdot 10^5$	$3,9 \cdot 10^5$	$2,6 \cdot 10^5$	$1,14 \cdot 10^5$	$0,9 \cdot 10^5$	$0,8 \cdot 10^5$	$0,53 \cdot 10^5$	$0,64 \cdot 10^5$	$0,47 \cdot 10^5$

Математическая обработка этих результатов по методу наименьших квадратов показывает, что данные эксперимента можно представить кривой гиперболического типа:

$$E = m\epsilon^{-n},$$

где: m и n постоянные коэффициенты. Для нашего случая оказалось $m = 1012 (\pm 4,4\%)$; $n = 1,2 (\pm 9,15\%)$.

На рис. 5 показана вычисленная кривая и обозначены точки кривой, найденные из опыта.

Резкое снижение условного модуля упругости с увеличением относительного сжатия, нам представляется, происходит за счет влияния формы зерновки. При проведении многочисленных опытов нами замечено, что за счет влияния формы

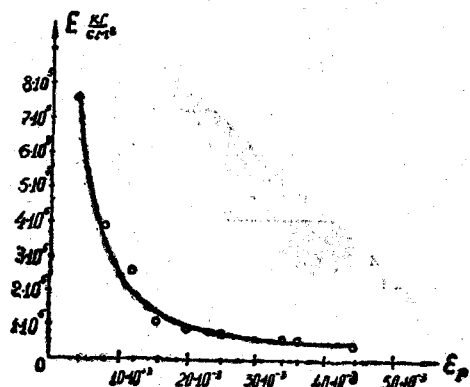


Рис. 5. Зависимость условного модуля упругости зерна рядовой обезличенной пшеницы влажностью 12%, стекловидностью 30% от относительного сжатия.

пропорциональное изменение деформации с увеличением силы сжатия протекает почти до разрушения зерна. Чтобы исключить влияние формы на упругие свойства зерна, мы считали возможным рассчитывать условный модуль упругости, относя силу при достижении предела упругости к площади в 4 мм².

Произведя пересчет, мы получили кривые сжатия, каждая из которых способом наименьших квадратов с допустимой в настоящих опытах погрешностью аппроксимируется прямой линией

$$\sigma_p = E \varepsilon_p + b.$$

Угловой коэффициент прямых представляет условный модуль упругости зерна соответствующей влажности E кг/см² (± погрешность в %).

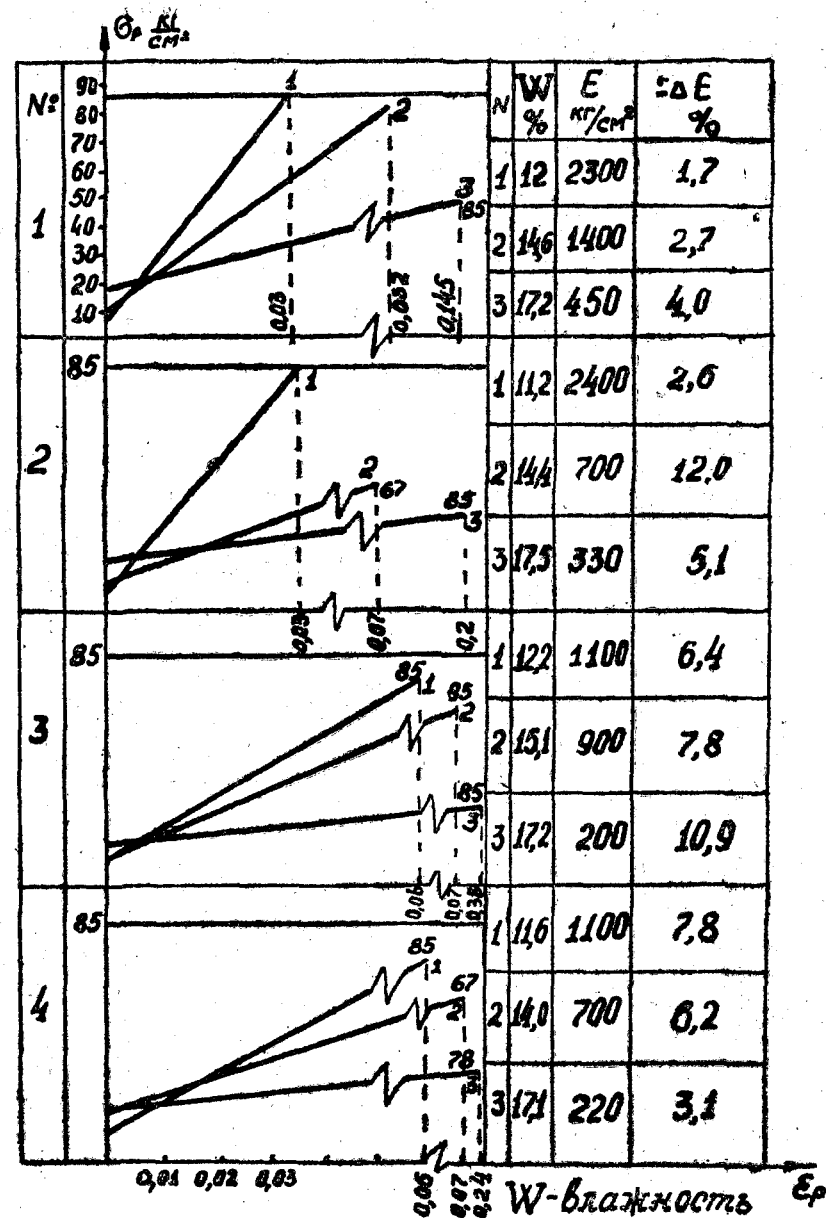


Рис. 6. Зависимость напряжений от деформаций.

Зависимость условного модуля упругости от влажности показана на рис. 7.

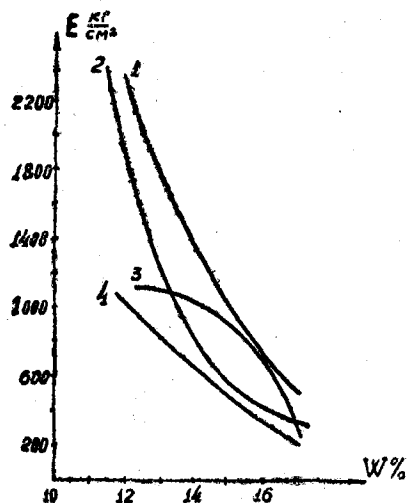


Рис. 7. Зависимость условного модуля упругости от влажности:
 1 кривая — пшеница рядовая стекловидность 30 %;
 2 кривая — Мелянопус 69, стекловидность 70 %;
 3 кривая — Приазовская твердая, стекловидность 83 %;
 4 кривая — Балтская твердая, стекловидность 96 %.

Выводы

1. Опытами установлено существование предела упругости в зерне. Подтверждено обнаруженное ранее [2] явление разрушения зерна при достижении предела упругости.

2. Определена зависимость упругих свойств зерна от относительного сжатия. Это может иметь большое значение при изучении механизма разрушения в вальцовом станке.

Условный модуль упругости изменяется в широких пределах $(0,5 \div 7,6) \cdot 10^5$ кг/см². Нижний предел совпадает с результатами исследований А. Л. Шполянской. По нашему мнению, широкие пределы изменения E вызваны специфической формой зерновки, являющейся близкой к эллипсоиду вращения. А поскольку на результаты опыта значительное влияние оказывает форма подопытного материала, полученные

данные не могут полностью отвечать физическим свойствам исследуемого материала. Следовательно, необходимо исключить влияние формы. Это и сделано введением в рассмотрение площади в 4 мм², т. к. наблюдения показали, что площадка разрушенного зерна приблизительно равняется этой величине.

3. В результате получено новое значение условного модуля упругости, значительно меньшее по абсолютной величине, но отвечающее физическим свойствам зерна.

Для подтверждения этого положения нами произведен приближенный расчет распорного межвальцового усилия, позволяющий убедиться, что расчетные усилия лежат в рамках экспериментально полученных авторами работ [5, 6]. Предпосылкой расчета является допущение, что максимальные усилия действуют в пределах упругих деформаций зерна или его частей. Преодолев упругие связи в зерне, распорное усилие интенсивно уменьшается. При этом происходит разделение зерновки на части, каждая из которых подвергается такому же механизму разрушения. Тогда распорное усилие запишется:

$$P = \eta \cdot \Psi \cdot \epsilon_{\text{ср}} \cdot S \cdot l \cdot E,$$

где: $\eta = 0,2 \div 0,3$ [7, стр. 212] — коэффициент, учитывающий деформацию скалывания;

$\Psi = 0,15 \div 0,8$ [7, стр. 235] — коэффициент заполнения рабочей зоны;

$\epsilon_{\text{ср}} = 0,052$ — относительное сжатие (рис. 6, опыт № 1, влажность 14,6 %);

$S = 0,3 \div 2$ см — длина пути обработки зерна [7];

$l = 100$ см — длина вальцов;

$E = 1400$ кг/см² — модуль упругости (рис. 6, опыт № 1, влажность 14,6 %).

Для наихудшего случая использования рабочей зоны $\Psi = 0,15$; $S = 0,3$ см. При $\eta = 0,3$ получаем распорное усилие $P = 47$ кг. И при полной загрузке станка $\Psi = 0,8$; $S = 2$ см и при $\eta = 0,3$ получаем $P = 3500$ кг, что отвечает результатам, полученным авторами работ [5, 6].

ЛИТЕРАТУРА

1. П. А. Афанасьев. Мухомольные мельницы. М.—Л. 1883 г.
2. А. Л. Шполянская. Исследование механических свойств зерна разной влажности при статическом и ударном сжатии. Кандидатская диссертация. М., 1947 г.

3. И. А. Наумов. Исследования в области физико-механических свойств зерна и подготовки его к помолу. МТИПП. Труды, выпуск 9, Хлебоиздат, М., 1957 г., стр. 39.

4. Сборник общесоюзных стандартов ГОСТ 4646—49. Взамен ОСТ 10945—40, группа Л-25.

5. А. Р. Демидов. Мельничные вальцевые станки. М., 1948 г.

6. Н. В. Остапчук. «Бюллетень пищевого машиностроения», № 12, 1958 г.

7. Технология мукомольного производства, под общей редакцией Я. Н. Куприца, Заготиздат, 1951 г.

О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр.
Предисловие	3
Александров А. В. Декабристы о финансах и кредите («Южное общество»)	5
Болотич И. П. Изучение кинетики роста окислов на Mg и Al оптическим поляризационным методом	21
Прядко Г. Ф., Водатурский Г. А. Дробная реакция на микроэлемент медь с применением β -нафтиламина	31
Левчишина Р. В. Исследование гемицеллюлоз метелок тростника	39
Рева В. Ф. Некоторые случаи конструктивного демпфирования низкоамплитудных колебаний	43
Календерьян В. А., Горбис З. Р. Изучение объемного веса и угла естественного откоса графитного слоя	63
Супрунов А. С. Вычисление четырех параметров шарнирного четырехзвенника, приближенно воспроизводящего заданную траекторию	75
Гриценко Ю. Г. О возможности применения гладкой вибрирующей поверхности в качестве рабочего органа для сепарирования сыпучих смесей	85
Малаховцев В. П. О модуле упругости зерна пшеницы	99

Редактор РОЗЕНФЕЛЬД И. Д.

БР 11972.

Подписано к печати 17/XII-1960 г.

Формат бумаги 60×84¹/₁₆. Печ. листов 7.

Заказ № 7390.

Тираж 500.

Белгород-Днестровская городская типография, ул. Ленина, 42.