

Автор ер.  
П 12

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

ПАВЛИКОВ Валерий Павлович

УДК 631.563

ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ОБОСНОВАНИЮ РАСЧЕТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
ПРОЧНОСТНЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ НАСЫПИ СОЧНОЙ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ КАК ОБЪЕКТА ХРАНЕНИЯ

Специальность 05.18.03 - хранение зерна (элеваторно-  
складское хозяйство) и других сельско-  
хозяйственных продуктов

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Переучет 19.84

Одесса - 1983

Работа выполнена во Всесоюзном центральном научно-исследовательском и проектном институте "Гипронисельпром".

Научный руководитель - доктор технических наук,  
профессор Г.И.ГЛУШКОВ

Официальные оппоненты - доктор технических наук,  
профессор В.З.ЖАДАН,  
кандидат технических наук  
Н.В.НАУМЕНКО

Ведущая организация - Литовская ордена Трудового Красного  
Знамени сельскохозяйственная акаде-  
мия.

Защита состоится " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 1963 г. в \_\_\_\_\_ часов  
на заседании специализированного совета К 068.35.02 в Одесском  
технологическом институте пищевой промышленности имени М.В.Ломо-  
носова, 270039, Одесса, ул. Свердлова, 112.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского  
технологического института пищевой промышленности имени М.В.Ло-  
моносова.

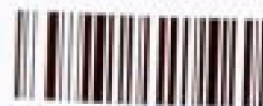
Автореферат разослан " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 1963 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета  
доцент

В.П.ЛУТКО


МПП, Зам. 43-4000 тмс.

Исследование по обос



v014329

ОНАХТ

25.06.17

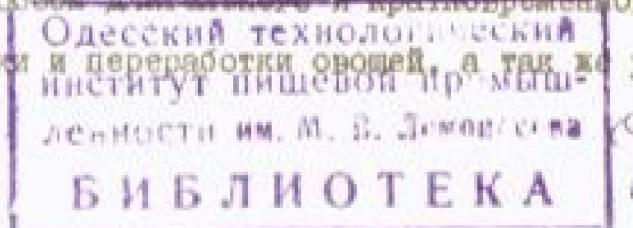
### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Решениями майского (1982 г.) Пленума ЦК КПСС, направленными на выполнение Продовольственной программы СССР, предусмотрено увеличить капитальные вложения в строительство хранилищ сочной сельскохозяйственной продукции в XI пятилетке в 1,6 раза по сравнению с предыдущей пятилеткой.

Одним из путей повышения экономической эффективности использования капитальных вложений в строительство хранилищ является снижение материалоемкости сооружения на основе совершенствования методов расчета оборудования и конструкций хранилищ. В этой связи важное значение приобретает вопрос получения и обоснования исходных данных, входящих в расчетные формулы по определению таких параметров насыпи, как её давление на конструкции, аэродинамическое сопротивление, сыпучесть и пр. Указанными исходными данными являются расчетные показатели прочностных (предел прочности клубня, угол внутреннего трения насыпи) и деформационных (модули деформации и осадки) свойств насыпи.

На настоящий период прочностные и деформационные свойства таких видов сочной сельскохозяйственной продукции, как морковь, столовая свекла, лук, изучены недостаточно. Совершенно не исследованы закономерности изменения указанных свойств в процесс хранения.

Работа выполнена по плану научно-исследовательских работ Гипроиссельпрома (результат Н-4(78) "Изучение физико-механических характеристик картофеля и овощей в процессе их длительного хранения для учета при проектировании" № ГОС.РЕГ.78069429) и в соответствии с координационным заданием 04.14 этап 05 "Усовершенствовать способ длительного и кратковременного хранения, товарной обработки и переработки овощей, а так же усовершенствовать



стандарты на овощную продукцию", утвержденным МСХ СССР 17.II. 1975 г.

Цель работы - установление статистически обоснованных показателей прочностных и деформационных свойств насыпи сочной сельскохозяйственной продукции, необходимых для расчета вентиляционного и технологического оборудования, а также несущих и ограждающих конструкций хранилищ.

Научная новизна работы определяется новым объектом исследования, каковым является комплекс физико-механических процессов, протекающих в насыпи картофеля, моркови, столовой свеклы и лука при хранении, а также новыми научными положениями и научными результатами, сформулированными в диссертации.

Основное научное положение, защищаемое автором.

Снижение в процессе хранения тургора клубней, образующих в совокупности насыпь продукции, вызывает уменьшение её угла внутреннего трения, пористости и модуля деформации, описываемое степенной функцией.

Научные результаты, полученные в работе.

1. Аналитические зависимости, устанавливающие взаимосвязь прочностных и деформационных свойств насыпи продукции с деформационными параметрами клубней, её образующих.

2. Закономерности процесса трехосного сжатия образцов моркови, столовой свеклы, лука и полученные на основе этих закономерностей расчетные показатели прочностных и деформационных свойств указанных видов продукции.

3. Закономерности послойного и общего снижения пористости насыпи картофеля при хранении.

4. Закономерности повреждения клубней в насыпи при действии

нагрузки, возникающей от собственного веса вышележащих слоёв картофеля, и установленные на основе этих закономерностей значения предельных напряжений, вызывающих разрушение клубней в насыпи.

Практическая ценность. Выявлены статистически обоснованные показатели прочностных и деформационных свойств моркови, столовой свеклы, лука-репки, использование которых увеличивает надежность расчетов технологического и вентиляционного оборудования, а также ограждающих и несущих конструкций хранилищ. Научно обоснована допустимая высота складирования картофеля, исходя из условий механической прочности клубня.

Методы и объекты исследований. С целью изучения прочностных свойств насыпи разработана экспериментальная установка, основной частью которой является вакуумный стабилومتر. Предел прочности клубня в условиях трехосного сжатия массива картофеля определялся в момент появления трещины на поверхности клубня. Угол внутреннего трения насыпи находился по соотношению предельных сжимающих вертикальных и боковых напряжений.

Прочность отдельных клубней устанавливалась по результатам опытов на одноосное сжатие между горизонтальными пластинами на реверсивном приспособлении к разрывной машине РТ-250.

Действие экспериментальной установки для определения деформационных свойств насыпи основано на принципе трехосного сжатия образца без возможности его бокового расширения. Деформационные показатели находились по стандартной методике, исходя из зафиксированных в опытах значений вертикальных сжимающих напряжений и соответствующих им осадок образца.

С целью выбора критерия разрушения клубня проводились опыты по изучению влияния механического давления на интенсивность основных физиологических и биохимических процессов, протекающих в

клубне при хранении. Интенсивность дыхания клубней находили по количеству соляной кислоты, необходимой для оттитрования избытка барита, непрореагировавшего с углекислым газом, выделяющимся в процессе дыхания. Содержание сухих веществ определялось по методу Реймана и контролировалось прямым методом высушивания в сушильных шкафах.

Лабораторные исследования проводились в течение двух сезонов хранения с картофелем, морковью, столовой свеклой, луком-репкой.

Натурные испытания по изучению закономерностей изменения объема межклубневого пространства проводились в течение четырех периодов хранения на специальной установке, в основу разработки конструкции которой положена идея замера послойных деформаций напыли с помощью глубинных реперов.

Реализация результатов исследований. Результаты исследований внедрены в общесоюзные нормативные документы: "Нормы технологического проектирования зданий и сооружений для хранения картофеля и овощей СНП 6-80", "Нормы технологического проектирования предприятий по переработке плодов и овощей в колхозах и совхозах ВНП 14-80".

Предложения по корректировке главы СНП П-98-77 "Здания и сооружения для хранения и переработки сельскохозяйственной продукция", подготовленные на основе результатов диссертационной работы, одобрены Госстроем всех союзных республик.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены на научно-практических конференциях "Молодые ученые и специалисты - сельскому хозяйству Нечерноземья" (Орел, 1978, 1981 гг); на IV Всесоюзной конференции по механике сыпучих материалов (Одесса, 1980г.); на заседаниях секции "Агропромышленные

комплексы, здания и сооружения" научно-технического совета института "Гипронисельпром" в 1978-80гг. Исследования обсуждены и одобрены на заседании отдела комплексов, зданий и сооружений по хранению и переработке картофеля, плодов и овощей института "Гипронисельпром".

Публикации. По результатам исследований опубликовано 10 печатных работ.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 146 страницах машинописного текста, содержит 46 рисунков и 18 таблиц. Список литературы включает 154 источника, из них 32 иностранных. Приложение к диссертации представлено на 22 страницах.

#### Состояние вопроса

На сегодняшний день достаточно полно изучены прочностные и деформационные свойства отдельных клубней (здесь и далее с целью упрощения для обозначения корнеплодов моркови и столовой свеклы и луковиц применяется термин "клубень"). Однако, имеющиеся данные по прочностным и деформационным свойствам клубней в большинстве своем касаются показателей, определяемых в период уборки урожая. Динамика их изменения в процессе хранения изучена недостаточно. Отсутствуют сведения о послойных деформациях насыпи картофеля, вызываемых слеживаемостью продукции. Не проводилось исследований прочностных и деформационных свойств массивов лука, моркови, столовой свеклы.

Изучение физико-механических свойств насыпи сочной сельскохозяйственной продукции можно провести по аналогии с другими сыпучими материалами растительного (зерно, мука и др.) и неорганического (грунты, руда и др.) происхождения. Вопросам изучения фи-

зико-механических свойств и напряженно-деформационного состояния сыпучих сред посвящены работы Покровского Г.И., Глушкова Г.И., Клейна Г.К., Платонова П.И., Кандурова И.И., Гячева Л.М., Наремского Н.К., Сергеева И.Т., Карнаушенко Л.И., Науменко Н.В., Черняева В.Ф. и др. При этом в направлениях работ обозначается две тенденции.

Согласно первой, сыпучая среда рассматривается как совокупность равновеликих частиц сферической формы, расположенных в определенном порядке, характеризующимся простой кубической, орторомбической, тетраэдрической, гексагональной упаковками или их комбинациями. Однако при этом пренебрегают весьма существенным свойством реальной сыпучей среды, а именно, случайным расположением зерен в массе. Значительно реалистичнее статистические модели, построенные на знании эмпирических законов распределения частиц по форме, размерам, ориентации и пр. Но, как справедливо отмечает Г.К.Клейн, отсутствие методики экспериментального определения этих законов значительно усложняет работу с данной моделью.

Поэтому для теоретических разработок избран и обоснована модель насыпи в виде беспорядочной совокупности клубней сферической формы эквивалентного радиуса, физически правильно интерпретирующая основные закономерности механического поведения насыпи в процессе хранения.

Применение указанной модели для расчета показателей прочностных и деформационных свойств насыпи позволяет учитывать их изменчивость при хранении. Подобная изменчивость является отличительной чертой насыпи сочной сельскохозяйственной продукции по сравнению с другими сыпучими материалами и вызывается протеканием в клубнях при хранении процессов жизнедеятельности, в резуль-

тате которых происходит изменение физического состояния клубня: потеря тургора, убыль массы и изменение размерных характеристик.

Для экспериментального подтверждения необходимости выбора модели насыпи продукции, позволяющей учитывать изменчивость физического состояния отдельных клубней, были проведены опыты по определению снижения количественной характеристики тургора клубня картофеля — его модуля упругости. Установлено, что к концу периода хранения модуль упругости снижается в 1,5 раза.

Связь указанного показателя с убылью массы клубня выражается зависимостью ( $R = -0,69$ ;  $MR = -0,12$ ):

$$E = 4,6\chi^{-0,18}. \quad (I)$$

Отмечается, что при достижении убыли массы клубней 4–5% происходит резкое снижение модуля упругости клубня, также резко уменьшаются и размерные характеристики клубней. До значения убыли массы  $\chi = 4,6\%$  интенсивность массопотерь превышает уменьшение в объеме, в результате чего плотность клубней возрастает, при превышении  $\chi = 4,6\%$  наблюдается обратная закономерность.

Подобное явление, как показано в работах по сушке сельскохозяйственных продуктов, происходит в результате превышения в начальный период хранения интенсивности процесса убыли центральных слоев над интенсивностью аналогичного процесса внешних слоев клубня, благодаря чему последние сохраняют механические и размерные характеристики клубня в целом. В дальнейшем приток влаги к внешним слоям за счет внутренних прекращается, в результате чего резко изменяются механические и размерно-массовые показатели клубня.

#### Теоретическая часть

В теоретической части работы показано, как изменение выше-

указанных показателей отдельных клубней в процессе хранения влияет на закономерности изменения прочностных и деформационных свойств насыпи, составленной из этих клубней. Насыпь рассматривается в виде беспорядочной собокупности отдельных клубней сферической формы эквивалентного радиуса.

Из условий статического равновесия элементарного куба, выделенного из насыпи, получено выражение для определения среднего усилия, действующего на контакте двух клубней:

$$N = \frac{\pi \rho H (2E_0^2 + 1)^{\frac{1}{2}} R^2}{2(1-\mu)} \quad (2)$$

Прочностные свойства. На основе данного выражения из уравнения работ, выполняемых внутренними и внешними силами при трехосном сжатии образца, получена зависимость, из которой следует, что разрушение образца, составленного из более податливых клубней, произойдет при меньшем значении отношения критических напряжений  $\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_3}$  по сравнению с образцом, составленным из более жестких клубней. Снижение указанного отношения произойдет на величину, равную:

$$\Delta \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_3} = \frac{\kappa_1 (1-\mu)^{\frac{1}{2}} (1-M^2)^{\frac{1}{2}} \sigma_3^{\frac{2}{3}} E^{-\frac{2}{3}}}{\pi E} \quad (3)$$

Из анализа выражения (3) следует, что основной прочностной показатель насыпи - угол внутреннего трения, определяемый по соотношению критических напряжений, в процессе хранения снижается, вследствие уменьшения модуля упругости клубней, образующих насыпь.

Деформационные свойства. Зависимость модуля деформации насыпи  $E_0$  от деформационных свойств отдельных клубней определялась из равенства объема твердой фазы до и после уплотнения с учетом объемной деформации клубня при его сжатии:

$$E_0 = \frac{\kappa_2 \sigma_3^{\frac{2}{3}} E^{\frac{2}{3}} (1+e_0)}{2\alpha_3 \sigma_3^{\frac{2}{3}} E^{\frac{2}{3}} + (1+e_0)(1-2\mu)(2E_0^2 + 1) [\pi(1-M^2)]^{\frac{2}{3}}} \quad (4)$$

В частном случае при  $\mu = 0,5$  (при отсутствии объемной деформации клубня) полученная формула приводится к обычному в механике сыпучих материалов виду, что подтверждает правильность проведенных теоретических выкладок.

Наряду с подтверждением очевидного вывода о снижении модуля деформации насыпи при уменьшении модуля упругости клубней, её образующих, формула дает информацию о влиянии таких факторов, как начальная пористость насыпи, коэффициент Пуассона клубня, сжимающие напряжения, на модуль деформации насыпи.

Проявлением деформационных свойств насыпи при натурном хранении является процесс непрерывного развития осадки насыпи, вызванный слеживаемостью продукции под действием собственного веса.

Осадку массива картофеля можно представить как сумму двух составляющих: мгновенно-действующей части осадки, складывающейся в основном из деформаций скатия контактов клубней друг с другом, и длительно действующей части, включающей деформацию от перемещения клубней в насыпи под действием сил гравитации и от уменьшения их размеров в результате убыли массы.

На основе дифференциального уравнения, описывающего закономерность изменения пористости по высоте слоя, вызванного деформациями контактов клубней в предположении их упругой работы по теории Герца:

$$dn = 2\kappa_2 (1-\mu)(1-n)(r\theta)^{\frac{2}{3}} h^{-\frac{1}{3}} R^{-\frac{2}{3}} dh \quad (5)$$

получено выражение для определения мгновенно-действующей части осадки:

$$S_0 = \frac{2}{5} \kappa_2 (r\theta)^{\frac{2}{3}} H^{\frac{5}{3}}, \quad \text{где } \theta = \frac{1-\mu}{4E}. \quad (6)$$

Осадка в конце периода хранения определялась по известной

из механики сыпучих материалов зависимости с учетом дополнительной деформации от снижения размеров клубней:

$$S = \frac{\delta H^2}{2E_0} + 3\lambda H, \quad (7)$$

где  $\lambda$  - относительное снижение размеров клубня.

Из анализа зависимостей (6) и (7) видно, что они учитывают основные факторы, изменяющиеся в процессе хранения: модуль упругости и размерно-массовые характеристики клубней.

#### Экспериментальная часть

Прочностные свойства. За критерий разрушения клубня в насenne принимали появление трещин на его поверхности. Подобный вывод следовал из того факта, что при напряжениях, меньших предела прочности клубня ( $\sigma_{\text{н}} = 0,5 - 0,9$  МПа), не обнаружено заметного влияния механического давления на интенсивность основных физиологических и биохимических процессов, протекающих в клубне при хранении. Так, в конце периода хранения интенсивность дыхания составила в среднем  $15,0$  мгСО<sub>2</sub>/кг.час как для клубней, хранившихся под нагрузкой  $\sigma = 0,5$  МПа, так и для клубней, свободных от нагрузки. Разницы в снижении массовой доли сухих веществ и крахмала для нагруженных и контрольных клубней картофеля не наблюдалось.

На основе указанного критерия установлено, что при вертикальных сжимающих напряжениях, соответствующих нагрузке, которая возникает от давления на нижние слои веса вышележащих слоев насыпи высотой  $3,3$  м ( $\sigma_{\text{д}} = 0,056$  МПа), в опытных образцах наблюдаются случаи разрушения отдельных клубней. Их процентное отношение к общему количеству клубней достигает 6%. При дальнейшем увеличении сжимающих напряжений рост количества поврежденных клубней происходит по экспоненциальной зависимости.

Проведенные опыты показывают, что допустимая высота складирования картофеля при хранении в зависимости от сорта должна быть ограничена в пределах 8,0 - 9,0 м.

Процесс разрушения насыпи рассматривался как результат взаимного перемещения клубней друг относительно друга при трехосном сжатии образца, составленного из этих клубней. За критерий разрушения насыпи принимали начало непрерывного перемещения клубней при определенном (критическом) соотношении бокового и вертикального напряжения, характеризуемым углом внутреннего трения.

Установлено, что образцы моркови разрушаются при большем отношении критических напряжений, чем образцы столовой свеклы, предельные характеристики которых в свою очередь превышают аналогичные показатели образцов лука (рис. I).

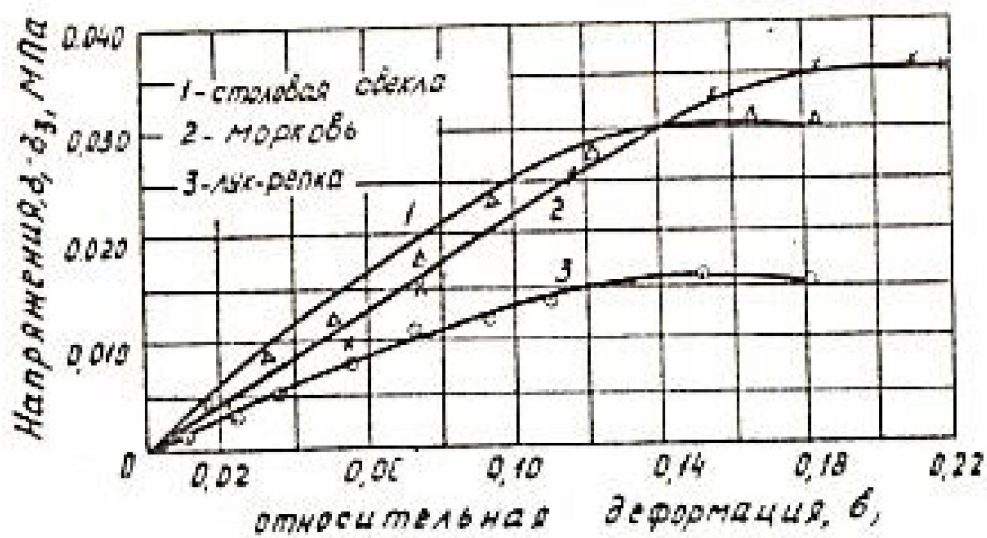


Рис. I. Кривые трехосного сжатия.

В результате угол внутреннего трения моркови ( $43,6^\circ$ ) больше, чем у столовой свеклы ( $37,8^\circ$ ) и лука ( $29,4^\circ$ ). Очевидно, причинами данного факта являются различия в форме корнеплодов моркови, столовой свеклы и лука, а также различия в шероховатости их

поверхности.

В диапазоне боковых напряжений  $\sigma_x = 0,003-0,006$  МПа основной прочностной показатель моркови, столовой свеклы и лука инвариантен по отношению к сжимающим напряжениям. Установлена явно выраженная прямопропорциональная зависимость углов внутреннего трения  $\varphi$  от начальной насыпной плотности образца  $f$ , имеющая вид:  $\varphi = \alpha f - \beta$ , где коэффициент пропорциональности  $\alpha$  и свободный член  $\beta$  равны соответственно для лука, моркови и столовой свеклы:  $\alpha = 0,08; 0,13; 0,24$ ;  $\beta = 18,53; 31,05; 105,95$ . Коэффициент корреляции во всех случаях больше  $R = 0,7$  что характеризует устойчивую связь параметров.

В процессе хранения при снижении модуля упругости клубней, образующих насыпь, угол внутреннего трения последней уменьшается в соответствии с зависимостью ( $R = 0,610$ ;  $MA = 0,137$ ):

$$\varphi = 36,02 E^{0,10} \quad (8)$$

Из представленного выражения следует, что диапазон варьирования углов внутреннего трения насыпи картофеля при уменьшении модуля упругости клубней, её образующих, от 3,26 МПа до 1,69 МПа составляет  $42,2^\circ - 40,0^\circ$ .

Деформационные свойства. Установлено, что процесс компрессионного сжатия образцов картофеля протекает по аналогии с процессом сжатия других сыпучих материалов: зерна, грунт. Их характерный признак – криволинейная зависимость деформаций сжатия от нагрузки. Наибольшие деформации образца происходят на первых ступенях нагружения (рис.2). При нагрузке, превышающей 0,01 МПа, деформация всего массива складывается в основном из деформаций контактов клубней.

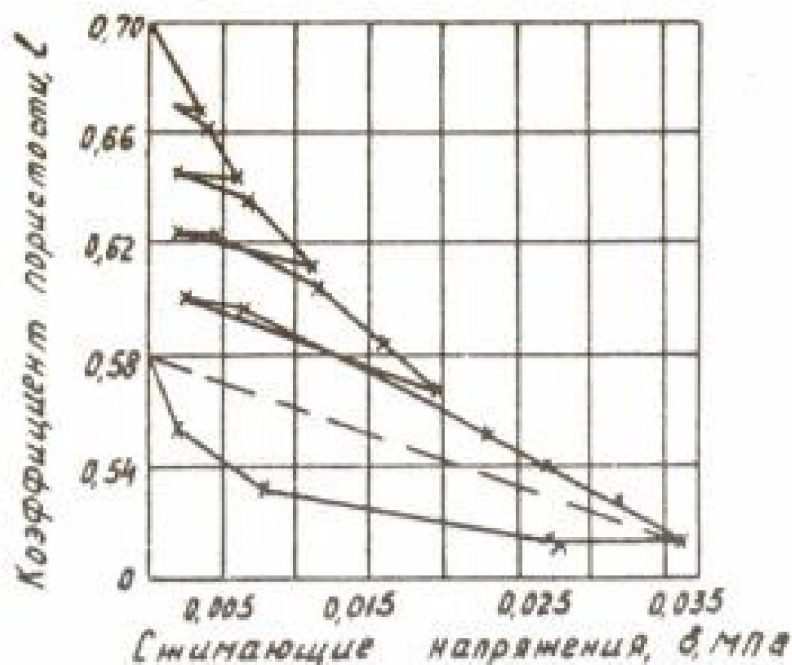


Рис.2. Компрессионная кривая с разгрузкой на каждой ступени нагружения

Вследствие отсутствия линейной зависимости между напряжениями и деформацией, модуль деформации  $E_\sigma$  образцов является переменной величиной.

В диапазоне вертикальных сжимающих напряжений от  $\sigma_s = 0,005$  МПа до  $\sigma_s = 0,040$  МПа, модуль деформации возрастает от  $E_\sigma = 0,12$  МПа до  $E_\sigma = 0,51$  МПа.

Результаты стабиллометрических испытаний в целом подтвердили данные, полученные в условиях компрессионного сжатия. Модуль деформации образцов картофеля возрастает от 0,167 МПа до 0,296 МПа при увеличении бокового давления от 0,003 МПа до 0,006 МПа. Сравнение кривых сдвига при трехосном сжатии образцов различных видов продукции (см.рис.1) показывает, что интенсивность приращения деформаций при сжатии образцов моркови и столовой свеклы ( $\Delta E = 3,5 - 4,0$  МПа<sup>-1</sup>) меньше, чем у образцов лука ( $\Delta E = 6,6 - 7,2$  МПа<sup>-1</sup>). В результате модуль деформации последних принимает

меньшие значения, чем у моркови.

Связь модуля деформации насыпи и модуля упругости клубня определяется зависимостью ( $R = 0,774$ ;  $MA = 0,107$ ):

$$E_0 = 0,123 (E)^{0,745}. \quad (9)$$

При снижении в процессе хранения модуля упругости клубней, образующих насыпь картофеля, в 1,2 раза модуль деформации насыпи уменьшается на 25%.

Результаты натуральных экспериментов по определению деформаций самоуплотнения насыпи картофеля при хранении показывают что кривые ползучести насыпи описываются степенной функцией (рис.3).

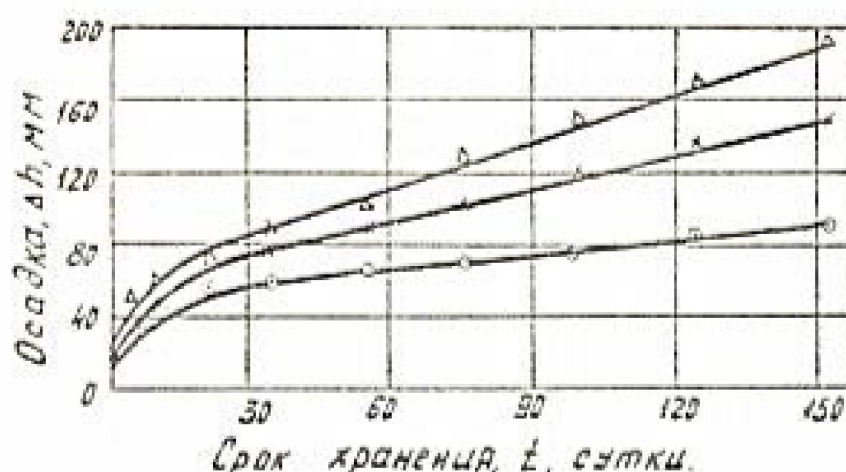


Рис.3. Кривые ползучести насыпи картофеля  $H = 2,0$  м по слоям  
1) нижний; 2) средний; 3) верхний слой

Осадка насыпи высотой до 4,0 м достигает к концу периода хранения 8-10% от первоначальной высоты слоя. Значительна неравномерность осадки по слоям. Осадка слоев высотой 0,6 и 1,2 м составляет соответственно 41-45% и 63-61% от осадки слоя высотой 2,0 м. Следствием этого является снижение пористости нижних слоев на 9-15%, средних на 5-8% и верхних на 1-3% по сравнению с первоначальной.

Полученные данные доказывают необходимость учета нелиней-

ного изменился допустимый по высоте слои при расчете аэродинамического сопротивления насыпи. Их сравнение с результатами теоретических расчетов по формулам (6) и (7) свидетельствует о достаточно тесной схожести (расхождение не превышает 15%).

В результате проведенных исследований установлено, что расчетные показатели прочностных и деформационных свойств необходимо определять в начальный период хранения. Исходя из неравномерности распределения изучаемых признаков в генеральной совокупности, расчетные показатели прочностных свойств определялись с учетом физического состояния насыпи по нижней границе допустимого материала их изменения. Расчетное значение модуля деформации принималось равным нормативному. Рекомендуемые и использованные при расчетах технологического, вентиляционного оборудования, а также ограждающих конструкций картофелехранилищ показатели прочностных и деформационных свойств насыпи сочной сельскохозяйственной продукции представлены в таблице.

Таблица

Рекомендуемые расчетные показатели прочностных и деформационных свойств насыпи сочной сельскохозяйственной продукции

№ п/п	Вид продукции	Насыпная плотность кг/м <sup>3</sup>	Прочностные свойства		Предел прочности клубня при трехосном сжатии МПа	Деформационные свойства Модуль деформации МПа
			Угол внутреннего трения град.	Нормативное значение град.		
1.	Картофель	680	40	38	0,05	0,3
2.	Морковь	570	45	43	-	0,2
3.	Свекловичные ботвы	600	40	38	-	0,2
4.	Лук	530	31	30	-	0,1

В. Д. 14329  
 Одесский технологический институт пищевой промышленности им. С. С. Бондаренка  
 Б И Б Л И О Т Е К А

В экономическом разделе работы показано, что при увеличении угла внутреннего трения насыпи продукции на  $4^{\circ}$  интенсивность бокового давления снижается на 15-17%, что позволяет сократить расход материалов на ограждающие конструкции закровов на 4-5%. С учетом данного снижения, а также экономии от уменьшения сметной стоимости зданий картофелехранилищ при увеличении допустимой высоты складирования картофеля, экономический эффект на годовой объем строительства хранилищ сочной сельскохозяйственной продукции составит 145 тыс.рублей.

### ВЫВОДЫ

Проведенные экспериментально-теоретические исследования позволили обосновать расчетные показатели прочностных и деформационных свойств насыпи сочной сельскохозяйственной продукции, использование которых при проектировании картофелехранилищ дает возможность повысить надежность расчетов технологического, вентиляционного оборудования, а также строительных конструкций зданий хранилищ.

1. Полученные аналитические зависимости отражают взаимосвязь между прочностными и деформационными свойствами насыпи продукции и физическим состоянием клубней, изменяющимся в процессе хранения.

2. Разработанные методы расчета мгновенных и конечных осадок насыпи продукции предусматривают более полный учет особенностей клубней как растительных объектов, выражающихся в изменении их деформационных и размерных характеристик в процессе хранения.

Предложенные формулы позволяют определить снижение объема межклубневого пространства в момент загрузки и в конце периода хранения.

3. Подтверждены данные об изменении деформационных и размерных характеристик клубня картофеля при хранении. Установлено, что при достижении убыли массы 4,6% от первоначальной происходит резкое снижение модуля упругости и объема клубня.

4. Диапазон варьирования углов внутреннего трения насыпи картофеля при снижении в процессе хранения модулей упругости клубней, её образующих, от 3,26 МПа до 1,69 МПа составляет  $42,2^{\circ} \dots 40,0^{\circ}$ .

Увеличение начальной насыпной плотности образцов на 10% приводит к возрастанию углов внутреннего трения столовой свеклы, моркови и лука на  $4-7^{\circ}$ . В интервале боковых напряжений, возникающих от собственного веса насыпи высотой от 2,0 до 6,0 м, указанный показатель не меняется.

Рекомендуемые расчетные показатели углов внутреннего трения моркови, столовой свеклы и лука-репки составляют соответственно  $43^{\circ}$ ,  $38^{\circ}$  и  $30^{\circ}$ .

5. Длительно-действующая на клубень нагрузка, составляющая до  $\sigma = 0,5$  МПа, не оказывает заметного влияния на интенсивность снижения массовой доли сухих веществ, а также на интенсивность физиологических процессов, протекающих в клубне при хранении.

6. При напряжениях, возникающих от собственного веса насыпи высотой 8,3 м, на клубнях, контактирующих с твердыми поверхностями, появляются трещины. При дальнейшем увеличении нагрузки происходит рост количества поврежденных клубней по экспоненциальной зависимости.

7. В процессе хранения при снижении модуля упругости клубней, образующих насыпь картофеля, в 1,2 раза наблюдается уменьшение модуля деформации насыпи на 25%.

При увеличении боковых сжимающих напряжений от 0,003 МПа до 0,006 МПа (что соответствует боковому давлению, возникающему от собственного веса насыпи высотой от 3,0 до 6,0 м) модули деформации картофеля, моркови, столовой свеклы и лука-репки возрастают в 1,5-1,8 раза.

Рекомендуемые расчетные показатели модулей деформации картофеля, моркови, столовой свеклы и лука-репки составляют соответственно 0,3; 0,2; 0,2; 0,1 МПа.

8. Снижение пористости нижних, средних и верхних слоев насыпи к концу периода хранения соответственно на 9-15%, 5-8%, 1-3% при высоте насыпи 2,0 м происходит вследствие осадки, вызванной перемещением клубней под действием сил гравитации, а также вязкоупругими деформациями клубней в местах контакта друг с другом. В среднем по закрому пористость снижается на 6-9% при высоте насыпи до 4,0 м.

9. Экономический эффект от использования в расчетах технологического, вентиляционного оборудования, а также ограждающих конструкций хранилищ, рекомендуемых расчетных показателей прочностных и деформационных свойств насыпи сочной сельскохозяйственной продукции на годовой объем строительства хранилищ картофеля и моркови составляет 145 тыс. рублей.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Павликов В.И. К вопросу о допустимой высоте складирования картофеля, исходя из условия механической прочности клубня. - В кн.: Молодые ученые и специалисты области - сельскому хозяйству Нечерноземья: Тез. докл. научно-практ. конф. Орел, 1978, с. 30-33.

2. Павликов В.И. Установка для определения углов внутреннего трения насыпи сельскохозяйственной продукции. - Изв. вузов 1966-80/

Орловский ЦНТИ, сер. 53, Орел, 1980. - 4с.

3. Павликов В.П., Луганский В.И., Манпиль Л.И. Установка для определения деформационных характеристик насыпи картофеля. - Инф. лист №115-80/Орловский ЦНТИ, сер. 53, Орел, 1980. - 4 с.

4. Павликов В.П. Расчет осадки насыпи картофеля. - В кн.: Тезисы докладов IV Всесоюзной конференции "Механика сыпучих материалов", Одесса, 1980, с. 72-73.

5. Павликов В.П., Манпиль Л.И., Луганский В.И. Деформационные свойства насыпи картофеля. - В кн.: Тезисы докладов IV Всесоюзной конференции "Механика сыпучих материалов", Одесса, 1980, с. 73.

6. Павликов В.П., Манпиль Л.И., Луганский В.И. Выбор расчетных значений модуля деформации насыпи картофеля при проектировании картофелехранилищ. - Инф. лист №30-81/Орловский ЦНТИ, сер. 53, Орел, 1981. - 4с.

7. Павликов В.П. Ограждающие конструкции хранилищ. - Инф. лист №52-81/Орловский ЦНТИ, сер. 53, Орел, 1981. - 4с.

8. Павликов В.П., Манпиль Л.И. О влиянии упругих свойств клубней на угол внутреннего трения массива. - В кн.: Молодые ученые и специалисты - сельскому хозяйству Нечерноземья. Тез. докл. научно-практ. конф. - Орел, 1981, с. 103.

9. Павликов В.П., Луганский В.И. О допустимой высоте насыпи картофеля. - В кн.: Молодые ученые и специалисты - сельскому хозяйству Нечерноземья. Тез. докл. научно-практ. конф. - Орел, 1981, с. 104.

10. Павликов В.П. О процессе самоуплотнения насыпи картофеля при хранении. - Орел, 1981. - 25с. - Рукопись представлена ин-том "Типроисельпром". Деп. во ВНИИТЭИСХ 18. окт. 1982, №242-82.

Основные обозначения

$R, \mu, E$  - средние значения радиуса, коэффициента Пуассона и модуля упругости,  $\chi, \lambda$  - убыль массы и относительное снижение размеров клубня;  $\sigma, \sigma_n$  - нагрузка на клубень и его предел прочности;  $n, \rho, \xi_0$  - пористость, насыпная плотность и коэффициент бокового давления,  $\varphi, E_0$  - угол внутреннего трения и модуль деформации насыпи продукции;  $H, S$  - высота и осадка слоя;  $\sigma_1, \sigma_2$  - наибольшее и наименьшее главные напряжения;  $\varepsilon$  - осевая деформация,  $\varepsilon_0, \varepsilon_p$  - начальный и конечный коэффициенты пористости,  $D_y$  - коэффициент уплотнения опытного образца;  $R, MR$  - коэффициент корреляции линейного уравнения, получаемого из приведенного путем логарифмирования, и его ошибка;  $K_1, K_2, K_3$  - коэффициенты, значения которых представлены в диссертации.

*Равинов*