

A 72

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ**

На правах рукописи

АНТОНЮК Виктор Григорьевич

УДК 624.153:024.138.22

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ
ВЫТРАМБОВЫВАНИЯ КОТЛОВАНОВ ПОД ФУНДАМЕНТЫ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ**

05.23.08 — ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ДНЕПРОПЕТРОВСК 1986

Работа выполнена в научно-исследовательском институте
строительного производства Госстроя УССР.

Научный руководитель - кандидат технических наук, с.н.с.

Артамоновский Олег Дрович.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор

Швец Виктор Борисович:

КАНДИДАТ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, ДОЦЕНТ

Васильковский Александр Андреевич.

Ведущее предприятие - объединение "Киевоблагрострой".

Защита состоится "14" января 1986г. в 14 часов
на заседании специализированного совета К 068.32.02 Днепро-
петровского инженерно-строительного института, ауд.202

Адрес: 320600, г.Днепропетровск, ул. Чернышевского, 24 а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Днепропетровского инженерно-строительного института.

Автофериат разослан "10" септември 1986г.

[illegible]

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. На XXVII съезде КПСС отмечалось, что первоочередной задачей партии и народа является выполнение Продовольственной программы СССР, принятой майским 1982г. Пленумом ЦК КПСС. Выполнение этой программы требует интенсификации сельского строительства.

В последние годы значительно расширилось строительство сельскохозяйственных зданий стоечно-балочной и рамной конструкции. Трудоемкость работ нулевого цикла при строительстве этих зданий составляет до 30% общих трудовых затрат. При этом, большая доля приходится на устройство фундаментов, особенно на просадочных грунтах.

Как показала практика, при строительстве на просадочных грунтах I типа по просадочности, одним из наиболее экономичных и прогрессивных способов является устройство фундаментов в вытрамбованных котлованах. Применение этих фундаментов позволяет почти полностью исключить земляные и опалубочные работы, снизить расход материалов, трудозатраты и сметную стоимость работ нулевого цикла до 30-40%.

НИИ оснований и подземных сооружений им. Н.М.Герсеванова и другими организациями разработаны основные положения по конструкциям фундаментов в вытрамбованных котлованах. Вопросы оптимизации технологии их возведения и параметров вытрамбовывания котлованов еще недостаточно изучены. Для широкого внедрения этого прогрессивного метода в сельском строительстве, где преобладают малозатные здания и рассредоточенность объектов, является актуальным исследование технологии строительства фундаментов и, в частности, изучение процесса вытрамбовывания котлованов для научного обоснования основных технологических параметров оборудования и оптимальных режимов его работы в различных грунтовых условиях.

Цель работы является совершенствование технологии вытрамбовывания котлованов под фундаменты сельскохозяйственных зданий и разработка научно-обоснованных режимов вытрамбовывания и параметров трамбующих устройств, обеспечивающих высокую эффективность рабочего процесса, а основными задачами:

Днепропетровский
институт
жел. доз.
им. М.
БИБЛИОТ

- изучение технологического процесса вытрамбовывания котлованов и разработка требований к трамбующим установкам для образования котлованов под фундаменты сельскохозяйственных зданий;
- установление основных факторов, влияющих на процесс вытрамбовывания котлованов и обоснование их оптимальных значений;
- исследование процесса формирования уплотненной зоны и влияния на него формы днища трамбовки;
- определение усилий извлечения трамбовки и разработка предложений по устранению эффекта засасывания;
- разработка предложений по совершенствованию технологии вытрамбовывания котлованов под фундаменты сельскохозяйственных зданий и проверка их в производственных условиях.

Научная новизна. Исследованы и научно-обоснованы основные параметры технологии вытрамбовывания котлованов. Установлено влияние угла заострения днища трамбовки на режим вытрамбовывания, процесс формирования уплотненной зоны и перемещений грунта вокруг котлована. Определены усилия извлечения трамбовки из котлованов и разработан метод их уменьшения. Выявлены зависимости числа ударов трамбовки, размеров уплотненной зоны и минимально-допустимых расстояний между котлованами от угла заострения днища трамбовки. Разработан метод полевых испытаний столбчатых фундаментов на совместное действие горизонтальных и вертикальных нагрузок.

Практическое значение работы состоит в разработке и внедрении механизированной технологии вытрамбовывания котлованов под фундаменты сельских зданий, в создании высокопроизводительной мобильной установки для осуществления этой технологии и в разработке методики определения параметров трамбуемых устройств на основе технологических требований.

Реализация работы. Результаты исследований использованы при разработках: технологической карты на устройство фундаментов в вытрамбованных котлованах с применением установки УВК-1, одобренной Укргростроем, методики проведения испытаний фундаментов на совместное действие вертикальных и горизонтальных нагрузок, технической документации на опытные образцы установки для вытрамбовывания котлованов (УВК-1) и установки для статических испытаний фундаментов (УСИФ-1). В настоящее время ре-

зультаты работы используются при проектировании и строительстве сельских зданий в системе Госагропрома СССР согласно Республиканской целевой комплексной научно-технической программы "Материалоемкость" на 1986-1990 гг.

Апробация работы. Основные результаты исследований и работа в целом докладывались и обсуждались на II Всесоюзной конференции по механизации и автоматизации земляных работ в строительстве (Киев, 1986 г.), XXXVI научно-технической конференции КИСИ (1985 г.), научно-технических советах Минсельстроя СССР (1983-1985 гг.) и Укрмежколхозстроя (1985 г.), а также секциях Ученого совета НИИСП Госстроя СССР (1982-1986 гг.).

Публикации. По результатам выполненных исследований и внедрения технологии, опубликовано 14 печатных работ, в том числе получено 4 авторских свидетельства на изобретение.

Объем работы. Диссертация содержит 108 страниц машинописного текста, 50 рисунков, 13 таблиц и состоит из введения, основных выводов и рекомендаций, 4 глав со списком использованных литературных источников в количестве 129 наименований и 7 приложений. Общий объем диссертации составляет 176 страниц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Благодаря разработкам НИИОСП, СибЗНИИЭП, ЦНИИЭПсельстрой, ДИСИ, ЛИСИ, РИСИ, ОИСИ и ряда других организаций, существенное развитие в последние годы получили фундаменты в вытрамбованных котлованах, которые являются также одним из направлений исследований НИИСП Госстроя СССР.

Сущность метода устройства таких фундаментов состоит в том, что котлованы под отдельно стоящие фундаменты не разрабатываются землеройными механизмами, а вытрамбовываются на необходимую глубину падающей трамбовкой, имеющей форму и размеры будущего фундамента. В результате вытрамбовывания под котлованом и вокруг него образуется уплотненная зона грунта, в пределах которой полностью устраняются просадочные свойства грунта, повышаются его прочностные характеристики, снижается сжимаемость, что в свою очередь обеспечивает возможность передачи на фундамент повышенных нагрузок.

Перспективность этого метода и его высокая эффективность определяют большое внимание исследователей к его изучению. Исследованиями, разработкой и внедрением метода устройства фундаментов в вытрамбованных котлованах в различных грунтовых условиях занимались Авазов Р.Р., Багдасаров Ю.А., Божко А.Г., Быков В.И., Вихорев А.К., Власов Ю.В., Гильман Я.Д., Гольдфельд И.З., Григорян А.А., Джумаев К.М., Жуков Н.В., Кальнин Ю.П., Константиновский Д.И., Крутов В.И., Меклер М.Б., Рабинович И.Г., Рафальзук В.Л., Сажин В.С., Сальников Б.А., Стародворский В.В., Ткачев А.А., Тропп В.В., Шаевич В.М., Швец В.Б. и многие другие.

Большинство выполненных исследований направлено на изучение несущей способности фундаментов в вытрамбованных котлованах, разработке методов ее определения и создание новых конструкций фундаментов. Совершенствование технологии образования котлованов и определение рациональных параметров трамбующих устройств и режимов их работы требуют постановки специальных исследований, применительно к конкретным условиям строительства.

Анализ операций технологического процесса и опыта применения фундаментов в вытрамбованных котлованах показал, что эффективность технологии и область ее применения определяются в основном методами вытрамбовывания котлованов и зависят от параметров трамбовки и режимов ее работы. Производительность операций определяется конструкциями устройств, способами их передвижения и выверки.

Изучение конструкций существующего оборудования, применяемого для вытрамбовывания котлованов, позволило сделать вывод, что оно имеет большой вес и низкую мобильность. Это затрудняет доставку его на строительные площадки и увеличивает продолжительность операций по установке трамбовки на место будущего котлована. Отмеченные недостатки становятся особенно существенными в сельском строительстве, для которого характерны: удаленность строительных объектов и большие размеры сооружений в плане. Поэтому, для совершенствования технологии вытрамбовывания котлованов необходимо создание трамбующих устройств, конструкция и параметры которых наиболее полно отвечают технологическим требованиям.

Обзор экспериментальных работ по влиянию различных факторов на процесс вытрамбовывания котлованов показал, что эффективность его в большой степени зависит от формы трамбовки, особенно ее нижней части. Есть основания полагать, что при определенных углах заострения днища трамбовки, возможно увеличение площади уплотненной зоны и повышение плотности грунта в стенках котлована. Установлено также, что назначение режимов вытрамбовывания, выбор формы и массы трамбовки должны соответствовать грунтовым условиям и требуемой несущей способности возводимых фундаментов. Определение указанных параметров ведется в настоящее время без должного научного обоснования, что снижает эффективность новой технологии. Недостаточно изученными являются влияние технологических факторов на закономерность формирования уплотненной зоны и ее взаимосвязь с формой и размерами трамбовки. Этим определяется цель и задачи диссертационной работы.

Для решения поставленных задач проводились экспериментальные исследования процесса вытрамбовывания котлованов. В качестве основного метода при проведении работ был принят метод исследований в натурных условиях на трех опытных площадках, расположенных в Киевской области и сложенных лессовыми просадочными грунтами I типа грунтовых условий по просадочности. Площадки № 1 и 2 сложены с поверхности на глубину до 6 м просадочными суглинками с природной плотностью сухого грунта (ρ_d) соответственно 1,31 и 1,38 т/м³, а площадка № 3 – на глубину до 10 м просадочной супесью с природной плотностью $\rho_d = 1,30$ т/м³.

Изучение процесса вытрамбовывания котлованов выполнялось при устройстве 86 опытных и более 200 рабочих котлованов. Вытрамбовывание осуществлялось специально разработанной и изготовленной при непосредственном участии автора экспериментальной установкой УВК-1 (А.с. СССР №141162), снабженной трамбовкой с размерами поверху 1,0 x 1,0 м, понизу 0,8 x 0,8 м и высотой 1,5 м. Трамбовка массой 5 т, оборудована сменными подпружиненными днищами пирамидальной формы с углами заострения при вершине (α) 60, 90, 120 и 180° и соответственно высотой 65, 40, 25 и 10 см (А.с. СССР №1081277). Во всех случаях котлованы вытрамбовывались на глубину 1,5 м (без высоты днища).

В экспериментальных исследованиях использован метод однофакторного планирования. В зависимости от решаемой задачи, опыты проводились при изменении величин:

- угла заострения днища трамбовки, град.....60-180
- высоты сбрасывания трамбовки, м.....1,5-4,0
- влажности грунта.....0,13-0,21
- плотности сухого грунта, т/м³.....1,30-1,38

Минимальное число повторных опытов, обеспечивающих достоверное значение измеряемой величины, определялось по предварительным опытам с использованием методов математической статистики. В большинстве опытов при исследовании процесса повторность составляла - 4. При построении графических зависимостей использовался метод наименьших квадратов.

Исследования по понижению дна котлованов (h_k) от числа ударов трамбовки (N), оборудованной сменными днищами с различными углами заострения (α), проводились в различных грунтовых условиях на всех трех опытных площадках. Трамбовка сбрасывалась с высоты (H) - 4 м.

Эти исследования базируются на основных положениях динамического взаимодействия рабочего органа с грунтом, разработанных Абелевым Ю.М., Швецом В.Б. и Хархутой Н.Я. при поверхностном уплотнении грунтов, а при вытрамбовывании котлованов Крутовым В.И., Зласовым Ю.В. и другими учеными.

Полученные зависимости понижения дна котлованов от числа ударов трамбовки представлены на рис. I. Эти графики зависимостей состоят из двух участков: криволинейного и прямолинейного. Первый участок может быть аппроксимирован логарифмической зависимостью вида:

$$h'_k = K_n q_{ст} (1 + \bar{A} \lg n), \text{ см} \quad (I)$$

где h'_k - общая глубина котлована на первом участке за N ударов, при постоянных: удельном статическом давлении и высоте сбрасывания трамбовки, см; K_n - коэффициент пропорциональности, зависящий от деформационных свойств грунта и размеров угла заострения днища трамбовки, см/МПа; $q_{ст}$ - удельное статическое давление трамбовки, - \bar{A} - коэффициент интенсивности накопления оста-

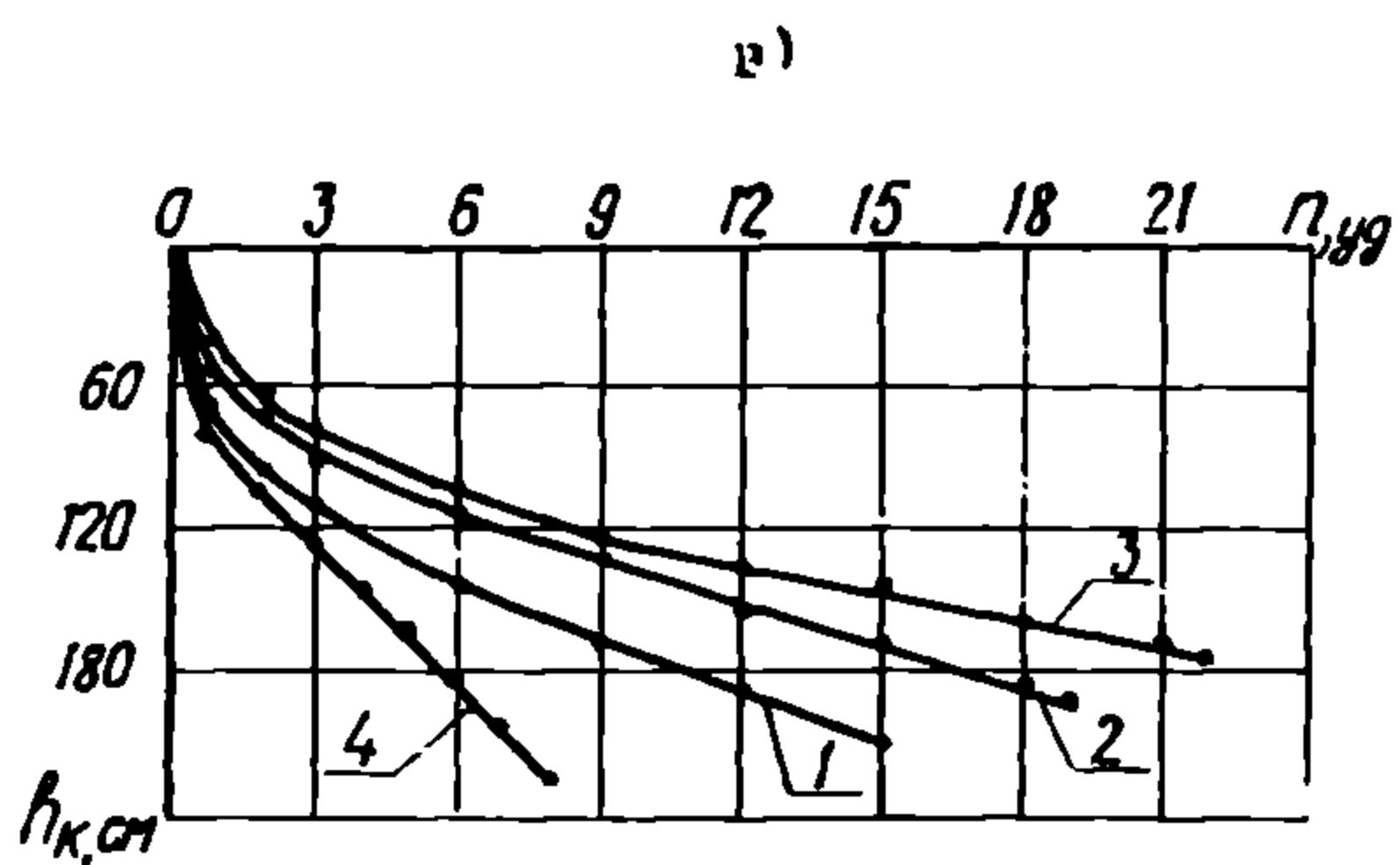
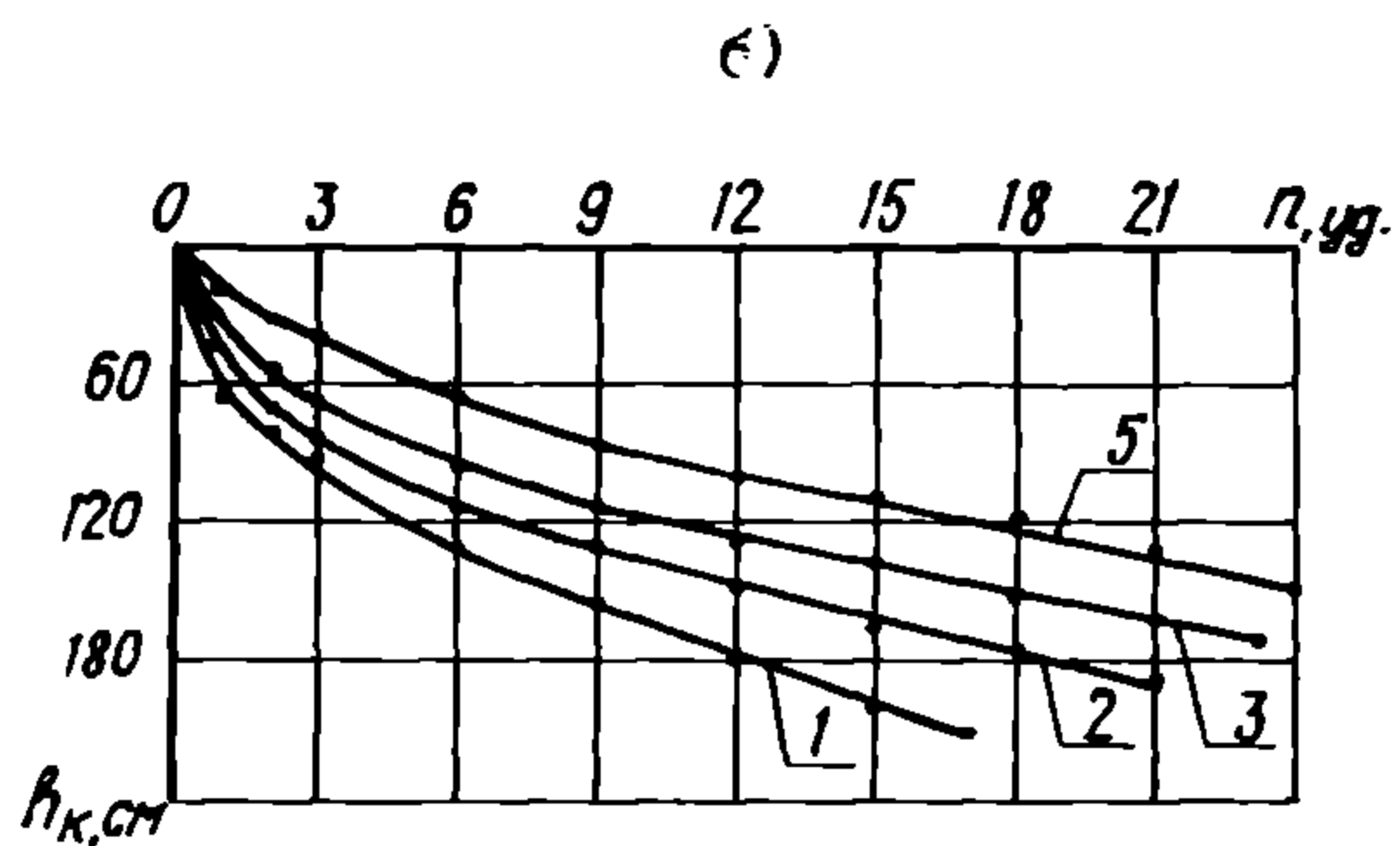
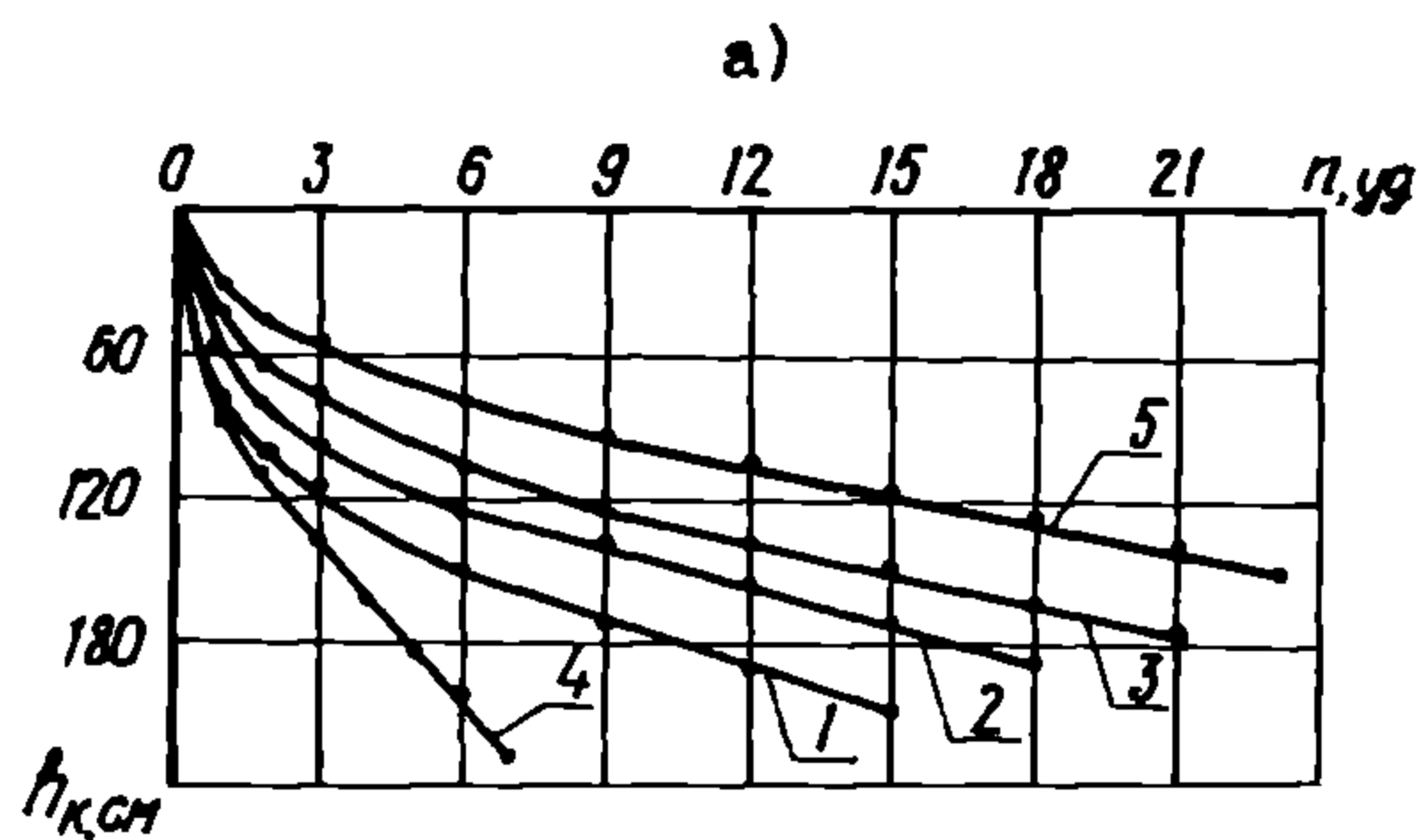


Рис.1. Зависимость понижения дна котлованов от числа ударов трамбовки: 1—с заостренным дном $\alpha=60^\circ$; 2—то же $\alpha=90^\circ$; 3—то же $\alpha=120^\circ$; 4—то же $\alpha=60^\circ$ при оптимальной влажности; 5—с плоским дном $\alpha=180^\circ$; а) площадка №1; б) площадка №2; в) площадка №3

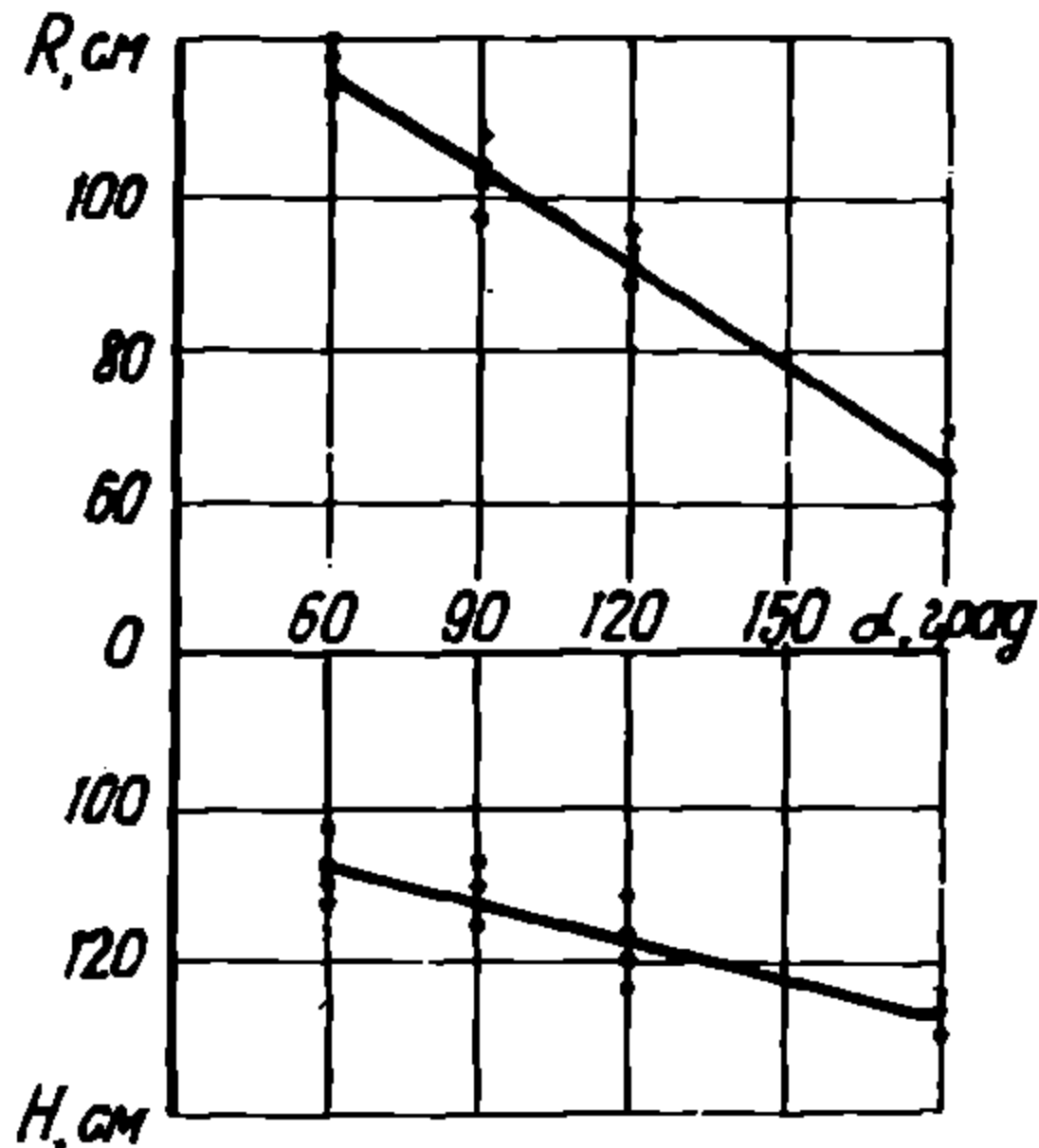


Рис.2. Зависимость размеров зоны достаточного уплотнения (радиуса и толщины) от угла заострения дна трамбовки

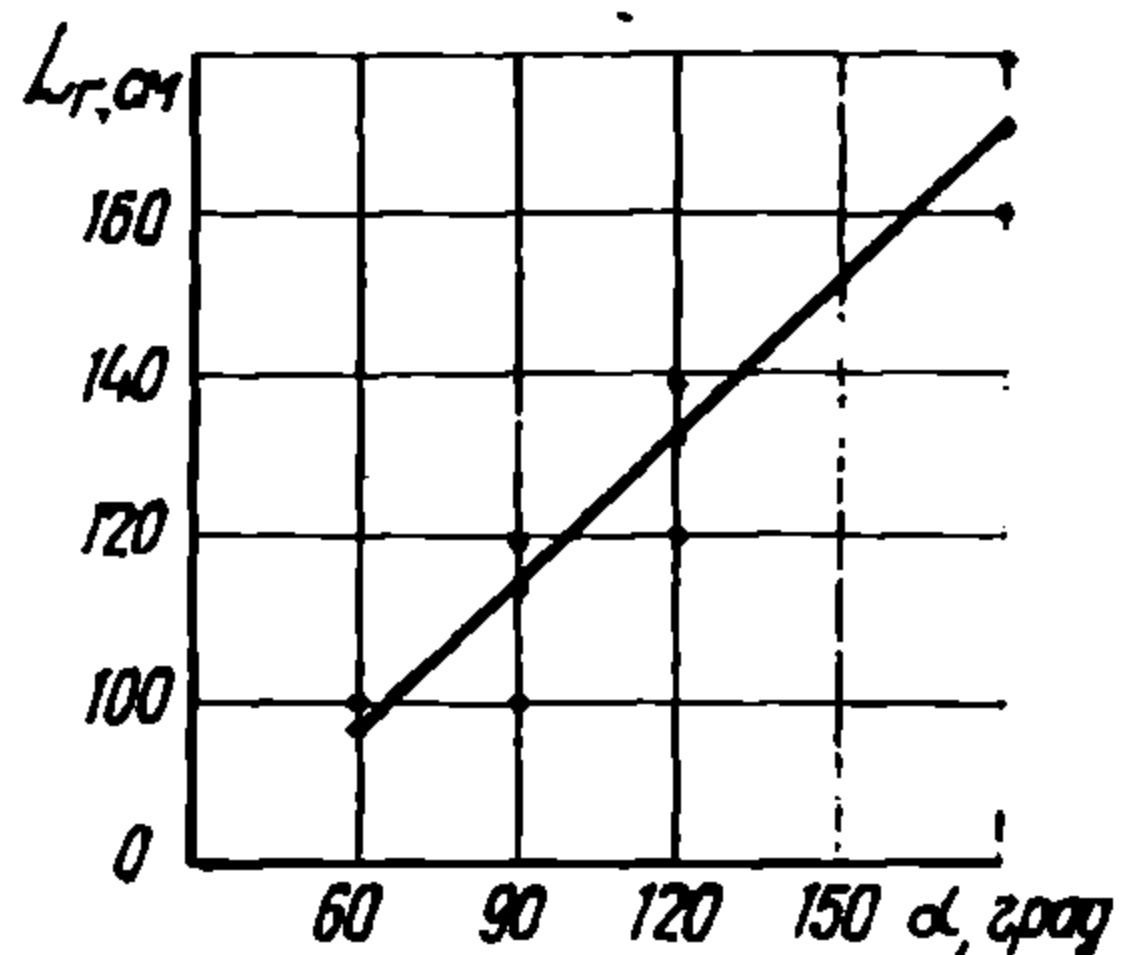


Рис.3. Зависимость минимально допустимых расстояний между котлованами от угла заострения дна трамбовки

точных деформаций, зависящий от пластических свойств грунта и размеров угла заострения дна трамбовки.

Прямолинейный участок зависимости понижения дна котлована от числа ударов трамбовки можно аппроксимировать выражением:

$$h_k'' = K_n q_{ст} (1 + R \lg n) + a_n, \text{ см} \quad (2)$$

где h_k'' — общая глубина котлована при n ударе, см; a — величина отказа, см.

На основе анализа полученных зависимостей определены рациональные значения угла заострения дна трамбовки, обеспечивающие минимальную энергоемкость процесса (число ударов трамбовки) для данных грунтовых условий. Установлено, что наименьшая энергоемкость процесса достигается при оптимальной влажности грунта, которая меньше на 0,01–0,03 влажности на границе раскатывания.

Для вытрамбовывания мелкозаглубленных котлованов в исследуемых грунтовых условиях, рациональным углом заострения дна трамбовки является угол $\alpha = 60^\circ$. Применение трамбовки с таким углом обеспечивает не только наименьшую энергоемкость процесса, но и повышает качество котлованов и максимальное уплотнение стенок котлованов даже, если влажность грунта не является оптимальной.

Как следует из полученных зависимостей $n = f(\alpha)$, изменение угла заострения дна существенно влияет на число ударов трамбовки (n) для образования котлованов заданной глубины (h_k). Поэтому, в формулу для определения числа ударов вводится коэффициент (K_α), учитывающий влияние угла заострения на требуемое число ударов трамбовки:

$$n = \frac{h_k}{\sum \Delta K_\alpha} \quad (3)$$

где h_k — глубина котлована; Δ — средняя величина понижения дна котлована за один удар трамбовки (трамбовок с плоским основанием, площадью: $F < 1 \text{ м}^2$ $\Delta = 10$ см; $F = 1-2 \text{ м}^2$ $\Delta = 8$ см; $F > 2 \text{ м}^2$ $\Delta = 6$ см; трамбовок с заостренным нижним концом $\Delta = 15$ см); \sum — коэффициент, учитывающий состояние грунта по влажности

и принимаемый равным 1,0 при вытрамбовывании котлованов в грунтах с влажностью близкой к оптимальной, а при пониженной влажности более чем на 0,03–0,05 от оптимальной, равен 0,7; $K\alpha$ – коэффициент, учитывающий величину угла заострения нижней части трамбовки и принимаемый равным 0,7 для угла заострения $\alpha = 120^\circ$, 0,8 для $\alpha = 90^\circ$ и 1,0 для $\alpha = 60^\circ$.

Численные значения коэффициента – $K\alpha$ установлены в результате отношения средних величин понижения дна котлованов (без учета высоты днища), полученных (см. рис. I) при вытрамбовывании котлованов с $\alpha = 90$ и 120° к средней величине понижения при вытрамбовывании трамбовкой с $\alpha = 60^\circ$ в исследуемых грунтовых условиях.

Уточненная формула позволяет определить наиболее рациональный режим вытрамбовывания котлованов заданной глубины трамбовками с различными углами заострения днища.

Изучение влияния угла заострения днища трамбовки на формирование уплотненной зоны проводилось в раннее вытрамбованных котлованах на всех опытных площадках. Котлованы отрывались вдоль оси на глубину 3,5 м от поверхности, шириной 1,0 м и длиной на 1,5 м, превышающие размеры котлованов в каждую сторону. В полученных шурфах-траншеях отбирались пробы грунтов через каждые 25 см в стороны от дна и боковых стенок котлованов с целью определения плотности сухого грунта (ρ_d) по ГОСТ 5182–78.

По результатам определения ρ_d , для каждой группы котлованов, в зависимости от угла заострения дна, устанавливались зоны достаточного уплотнения грунта, их форма и размеры. За критерий установления границ этих зон принималась плотность $\rho_d = 1,55 \text{ т/м}^3$, при которой грунт утрачивает свои просадочные свойства. Полученные данные ρ_d позволили установить, что по мере удаления от поверхности дна и стенок котлована, распределение плотности сухого грунта носит затухающий характер, достигая минимума на некотором расстоянии от поверхности. Наибольшая плотность ($\rho_d = 1,75\text{--}1,80 \text{ т/м}^3$) была достигнута в суглинках (площадки № 1 и 2) и особенно при вытрамбовывании в грунтах с естественной плотностью сухого грунта $\rho_d = 1,38 \text{ т/м}^3$ (площадка №2).

Результаты опытных работ позволили установить также максимальные размеры зон достаточного уплотнения (радиуса и толщины), которые можно получить применяя сменные днища трамбовки с различными углами заострения. Максимальная толщина зоны достаточного уплотнения — $H=1,4 B_{\text{ср}}$ (где $B_{\text{ср}}=0,9$ м — размер трамбовки в среднем сечении) достигалась при вытрамбовывании котлованов трамбовкой, оборудованной плоским днищем, а минимальная — $H=1,2 B_{\text{ср}}$ (с учетом высоты днища) — трамбовкой с $\alpha=60^\circ$. Радиус зоны достаточного уплотнения при вытрамбовывании котлованов трамбовкой с плоским днищем был равен — $R=0,75 B_{\text{ср}}$, а при вытрамбовывании трамбовкой с днищем $\alpha=120, 90$ и 60° , соответственно $R=1,0 B_{\text{ср}}$, $R=1,15 B_{\text{ср}}$ и $R=1,3 B_{\text{ср}}$.

Полученные данные характеризуют зависимости радиуса и толщины зоны достаточного уплотнения от угла заострения днища трамбовки, которые приведены на рис. 2. Эти зависимости носят линейный характер — выражаются уравнениями регрессии:

$$\begin{aligned} R &= 143,81 - 0,435\alpha, \text{ см} \\ H &= 100,53 + 0,142\alpha, \text{ см} \end{aligned} \quad (5)$$

Согласно определенных границ, зона достаточного уплотнения по форме близка к усеченному эллипсоиду вращения, причем размеры полуосей изменяются в зависимости от величины угла заострения днища трамбовки. Наиболее рациональной зоной для восприятия горизонтальных нагрузок, возникающих в фундаментах сельскохозяйственных зданий рамной конструкции, является зона, образованная трамбовкой с днищем, имеющим угол при вершине 60° .

Измерения горизонтальных (H_r) и вертикальных (H_v) перемещений поверхности грунта осуществлялись по металлическим штырям, забитым в грунт через каждые 20 см на расстоянии до 2 м от грани котлованов по их осям, при фиксированной глубине котлованов — 1,5 м (без высоты днищ). По результатам этих измерений строились эпюры, характеризующие развитие этих перемещений около котлованов, вытрамбованных трамбовкой, оборудованной днищами различными углами заострения. Максимальная величина горизонтальных перемещений наблюдалась непосредственно у стенки котлована, а вертикальных на некотором расстоянии от нее. Чем меньше

угол заострения основания котлована, тем больше это расстояние. Так, около котлованов с плоским дном, рассматриваемое расстояние составляло – 20 см, а около котлованов с $\alpha = 60^\circ$ – 40 см:

Исследование размеров горизонтальных и вертикальных перемещений зоны выпора грунта показали, что эпюры этих перемещений носят затухающий характер и распространяются в зависимости от угла заострения днища трамбовки на расстоянии: горизонтальные – $1,1-2,0 \text{ В}_{\text{ср}}$, вертикальные – $0,9-1,3 \text{ В}_{\text{ср}}$. Величина перемещений уменьшается с уменьшением угла заострения днища трамбовки. Наибольшие горизонтальные и вертикальные перемещения наблюдались у котлованов, вытрамбованных трамбовкой с плоским днищем – $H_r = 23 \text{ см}$ и $H_v = 12 \text{ см}$. Наименьшие – у котлованов с $\alpha = 60^\circ$ – $H_r = 10 \text{ см}$ и $H_v = 8 \text{ см}$. С уменьшением естественной плотности сложения грунта (изменение опытной площадки) интенсивность перемещений H_r и H_v уменьшается. По мере увеличения горизонтальных перемещений возрастают и вертикальные. Соотношения между ними составляют:

$$\frac{H_r}{H_v} \quad 1,2-1,9.$$

Исходя из величин горизонтальных перемещений (так как они больше вертикальных), определены минимально допустимые расстояния между отдельными котлованами, которые зависят от угла заострения днища трамбовки, рис.3. Эта зависимость носит линейный характер и выражается уравнением регрессии:

$$L_r = 55,56 + 0,64\alpha, \text{ см} \quad (6)$$

Как показали проведенные исследования, наименьшее допустимое расстояние в свету между котлованами можно получить при вытрамбовывании котлованов трамбовкой, оборудованной днищем с $\alpha = 60^\circ$. Такое расстояние для данных грунтовых условий равно $1,0 \text{ м}$ или $1,1 \text{ В}_{\text{ср}}$ трамбовки. Полученная в ходе проведения опытов зависимость – $L_r = f(\alpha)$ позволяет с большей точностью определять минимально допустимые расстояния между котлованами при разработке проектов устройства фундаментов.

Экспериментальные работы по определению влияния удельного импульса удара на эффективность процесса вытрамбовывания котлованов проводились на всех трех опытных площадках. Установлено,

что удельный импульс удара, при постоянном удельном статическом давлении, находится в прямой зависимости от скорости удара, а соответственно от высоты сбрасывания трамбовки и определяется по формуле:

$$i = q_{ст} \sqrt{\frac{2(H + 0,5R_k)}{g}}, \text{ МПа}\cdot\text{с} \quad (7)$$

где g - ускорение силы тяжести, м/с^2 .

За основной критерий эффективности процесса принималась сменная производительность вытрамбовывания котлованов, которая определяется по формуле:

$$P_{см} = K_B \frac{T_{см}}{t_n + t_y + n \frac{H + 0,5R_k}{30V_c}}, \text{ котл./смену} \quad (8)$$

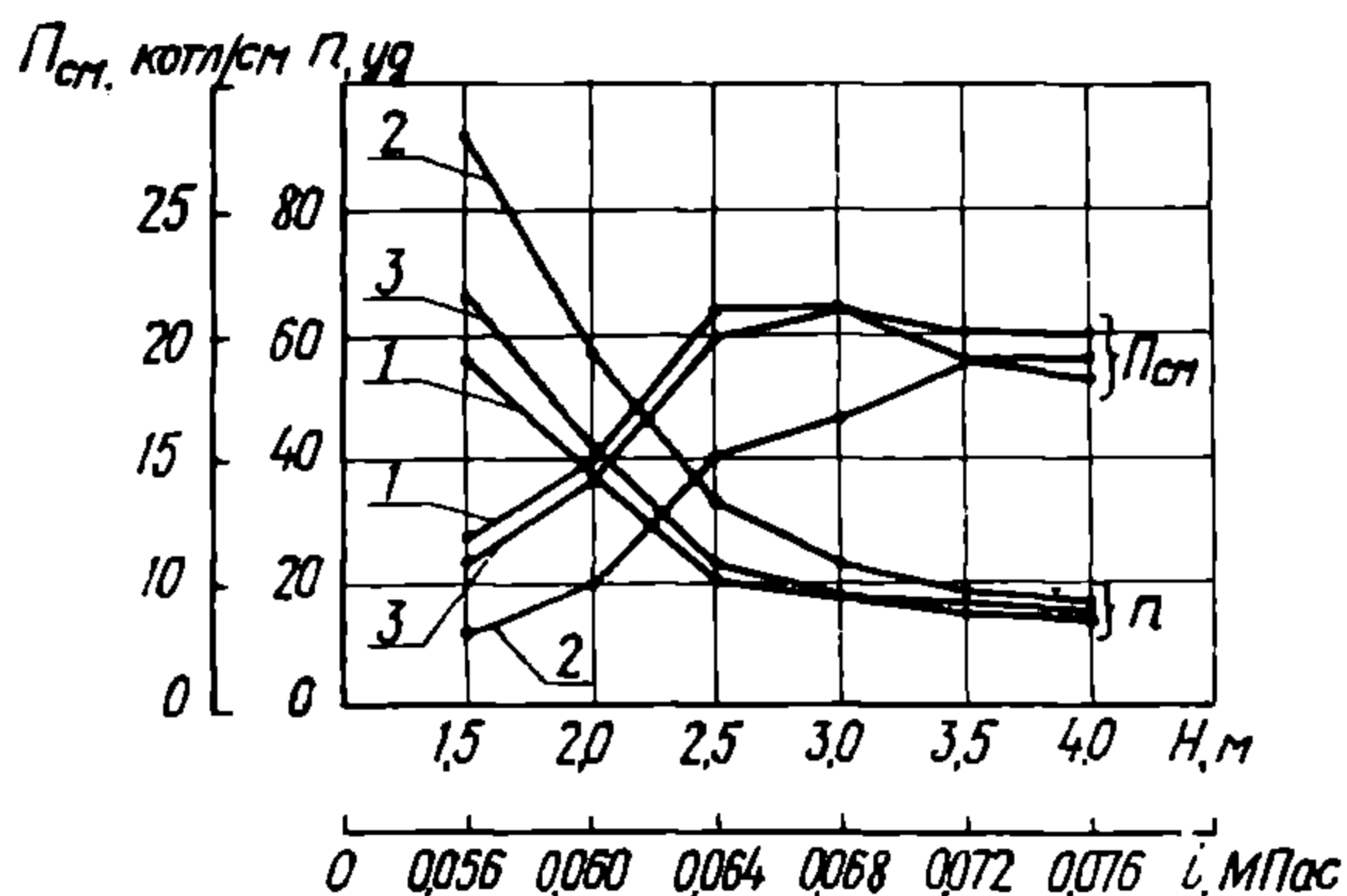
где K_B - коэффициент использования машины по времени; $T_{см}$ - продолжительность смены, мин; t_n - время передвижения машины, мин; t_y - время установки машины, мин; V_c - средняя скорость передвижения силового каната машины, м/с .

Опытные котлованы вытрамбовывались при естественной влажности грунтов трамбовкой, оборудованной днищем с углом заострения 60° , на глубину 1,5 м. Для каждой серии опытов, высота сбрасывания трамбовки варьировалась в пределах: 4,0; 3,5; 3,0; 2,5; 2,0 и 1,5 м, что соответствовало, согласно формулы 7 средним удельным импульсам: 0,076; 0,072; 0,068; 0,064; 0,060 и 0,056 МПа-с. Верхний предел сбрасывания определен конструкцией установки УВК-1, нижний - по предварительным опытам.

В процессе вытрамбовывания определялись среднее число ударов трамбовки от каждой серии котлованов и согласно формулы 8 сменная производительность. По полученным данным построены графики зависимости числа ударов трамбовки и сменной производительности от высоты сбрасывания, а соответственно и от удельного импульса удара, приведенные на рис.4.

Проведенные исследования показали, что для наиболее эффективного процесса, вытрамбовывание котлованов в различных грунтовых условиях, целесообразно выполнять при определенной высо-

Рис.4. Зависимость числа ударов трамбовки и сменной производительности от высоты сбрасывания и удельного импульса удара



те сбрасывания. Так, наибольшая сменная производительность и хорошее состояние стенок котлованов достигалось при незначительном увеличении числа ударов трамбовки и высоте сбрасывания: $H=2,5-3,0$ м ($i=0,064-0,068$ МПа·с) в суглинках с $\rho_d=1,31$ т/м³ (площадка № 1); $H=3,5$ м ($i=0,072$ МПа·с) в суглинках с $\rho_d=1,38$ т/м³ (площадка № 2) и $H=3,0$ м ($i=0,068$ МПа·с) в супесях с $\rho_d=1,30$ т/м³ (площадка № 3).

С целью определения эффективности работы устройства для снижения усилий извлечения трамбовки из котлована, была проведена серия опытов с измерением требуемых усилий для извлечения трамбовки с подпружиненным дном при естественной и оптимальной влажностях на площадке № 1. Определение этих усилий осуществлялось при включенном устройстве, когда существует возможность поступления воздуха и устранения вакуума в полости котлована через зазор между дном и корпусом трамбовки, и без него, когда дно плотно прижато к корпусу трамбовки и поступление воздуха в полость котлована исключается.

Оснащение трамбовки устройством для снижения усилий извлечения в виде подпружиненного дна уменьшает усилие извлечения трамбовки до 20% и улучшает качество стенок котлованов за счет того, что извлечение трамбовки осуществляется в два этапа с поочередным преодолением сил трения и сцепления на боковых поверхностях корпуса и дна, а также устранения вакуума.

На основании исследований процесса вытрамбовывания котлованов разработана технология их образования с применением установки УБК-І, предусматривающая комплексную механизацию работ при использовании минимального количества строительных машин. Технологическая последовательность выполнения операций по вытрамбовыванию котлованов представлена на рис.5.

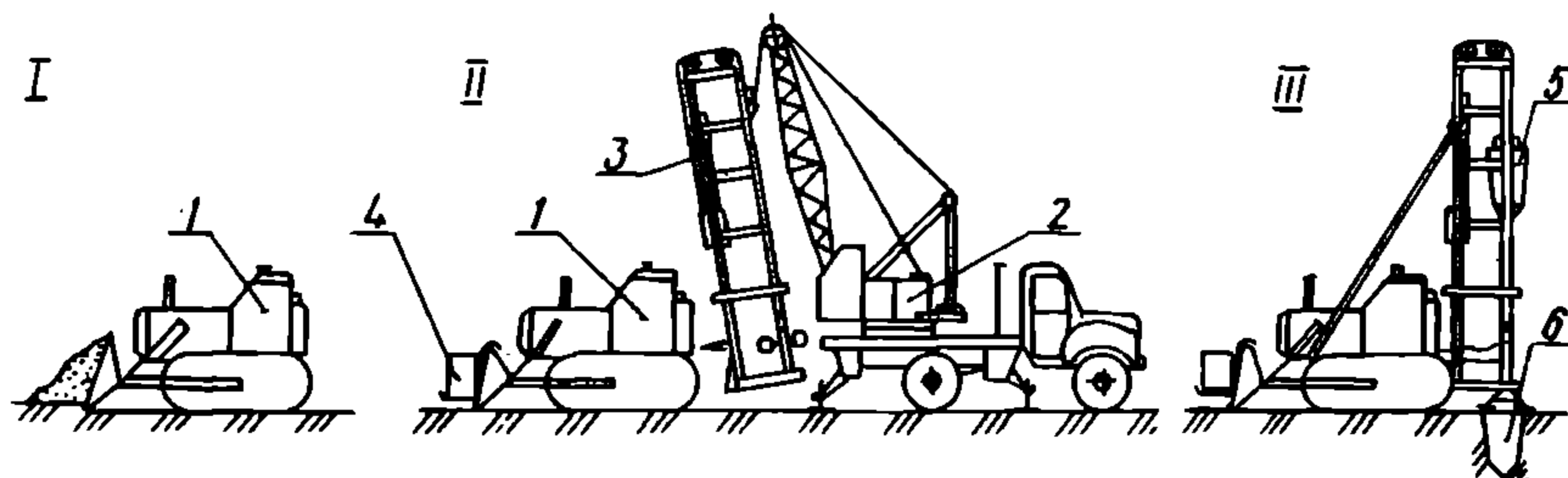


Рис.5. Технологическая последовательность выполнения операций по вытрамбовыванию котлованов установкой УБК-І
 I - планировка площадки; II - монтаж навесного оборудования; III - вытрамбовывание котлована; 1 - бульдозер; 2 - автокран; 3 - навесное оборудование; 4 - противовес; 5 - трамбовка; 6 - котлован

С учетом особенностей конструктивно-планировочного характера и производственного назначения сельскохозяйственных зданий было проведено их обобщение в основные группы и разработаны соответствующие рациональные технологические схемы производства работ по вытрамбовыванию котлованов установкой УБК-І. При разработке схем учитывались также максимальная производительность установки и особенности монтажа конструкций зданий, имеющих температурные швы.

В процессе изучения технологии были определены основные параметры трамбующего оборудования, наиболее полно отвечающие технологическим требованиям процесса вытрамбовывания котлованов под фундаменты сельскохозяйственных зданий. Основные параметры и их численные значения приведены в таблице.

Таблица

Наименование	Численное значение
1. Размеры трамбовки, м:	
поверху	1,0 x 1,0
понизу	0,8 x 0,8
высота	1,5
2. Масса трамбовки, т	5,0
3. Угол наклона боковых граней трамбовки, град	2-4
4. Углы заострения дна трамбовки, град:	
для грунтов с $\rho_d \geq 1,3 \text{ т/м}^3$	60
для грунтов с $\rho_d < 1,3 \text{ т/м}^3$	90 и 120
для насыпных неуплотненных грунтов	180
5. Максимальная высота сбрасывания трамбовки, м	4,0
6. Удельное статическое давление, МПа	0,078
7. Максимальная скорость трамбовки в момент удара, м/с	8,82
8. Максимальный импульс удара, МПа·с	0,076

Значения указанных параметров легли в основу разработки опытного образца установки УВН-1, которая рекомендуется в качестве типового технологического оборудования для вытрамбовывания котлованов под фундаменты сельскохозяйственных зданий глубиной до 1,8 м.

Оптимальным режимом вытрамбовывания является наименее энергоемкий режим, который позволяет обеспечить высокое качество стенок котлована и большую производительность. Средняя энергоемкость процесса (E_{cp}), выраженная такими параметрами, как число ударов трамбовки и высота ее сбрасывания, определяется по формуле:

$$E_{cp} = \frac{\pi M g (H + 0,5 h_k)}{F_{cp} h_k}, \text{ Дж/м}^3 \quad (9)$$

где M – масса трамбовки, кг; H – высота сбрасывания, м; F_{cp} – площадь трамбовки в среднем сечении, м^2 ; h_k – глубина котлована, м.

Число ударов трамбовки определяется в зависимости от глубины котлована, состояния грунта по влажности, формы, размеров

днища трамбовки и коэффициента, учитывающего угол заострения днища по формуле 3.

Высота сбрасывания принимается в зависимости от вида грунта, его естественной плотности и глубины котлована с учетом максимальной производительности, определяемой по формуле 8. Так, в просадочных лессовых супесях и суглинках при оптимальной влажности и естественной плотности сухого грунта $\rho_d = 1,30-1,31 \text{ т/м}^3$ и глубине котлована 1,0–1,5 м, вытрамбовывание котлованов трамбовкой с углом заострения днища 60° следует производить с высоты 2,5–3,0 м. При плотности указанных грунтов $\rho_d = 1,31-1,38 \text{ т/м}^3$, увеличении глубины котлованов до 1,8 м, высота сбрасывания увеличивается до 3,5–4,0 м. В соответствии с принятой высотой сбрасывания, по формуле 7 определяется скорость и импульс удара трамбовки.

Для выбора наиболее экономичной технологии вытрамбовывания котлованов в сельском строительстве, на основании результатов опытного строительства и проведенных исследований была разработана экономико-математическая модель процесса. В основу разработанного алгоритма был положен принцип блочности, который применяли в разное время при разработке моделей технологии и организации строительства Беляков Д.И., Беляев М.А., Тянь Р.В. и другие ученые.

Результаты расчета удельных приведенных затрат на ЭВМ позволили определить, что наиболее экономичной технологией в сельскохозяйственном строительстве является предлагаемая технология с применением УЕК-1. Ее целесообразно применять в просадочных суглинках и супесях I типа грунтовых условий по просадочности для устройства столбчатых фундаментов при строительстве новых и реконструкции старых зданий, а также при работе вблизи действующих сооружений и коммуникаций.

Область рационального применения технологии по основному параметру – несущей способности фундаментов, определялась с помощью проведения натурных статических испытаний опытных фундаментов по разработанной методике с использованием специально сконструированной установки. Установлено, что технологию эффективно использовать при устройстве столбчатых фундаментов зданий стоечно-балочной конструкции при сосредоточенных верти-

кальных нагрузках до 800 кН и рамной конструкции при вертикальных нагрузках до 300 кН и горизонтальных до 150 кН.

Для расширения области применения технологии, в частности для устройства фундаментов зданий рамной конструкции с пролетами 21 и 24 м, воспринимающих горизонтальные нагрузки свыше 150 кН, необходимо уплотнять грунт в стенках котлована нормальными приложенными усилиями, что является направлением дальнейших исследований. Предлагаемое оборудование защищено А.с. СССР № 1074940 и 1184902.

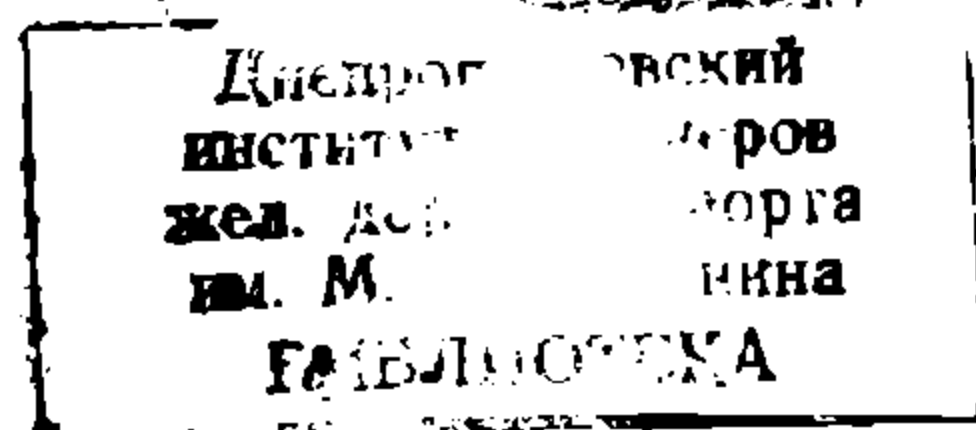
Результаты выполненных исследований технологии вытрамбовывания котлованов с применением установки УВК-1 послужили основой для ее внедрения на строительстве более 200 столбчатых фундаментов четырех сельскохозяйственных зданий стоечно-балочной и рамной конструкции.

5001a По первоначальному проекту, под все здания были предусмотрены фундаменты в виде сборных железобетонных башмаков на бетонной подготовке. На всех объектах, взамен этих фундаментов были приняты фундаменты в вытрамбованных котлованах установкой УВК-1. Фактические величины технологических режимов при этом, отклонялись от расчетных не более чем на 15%. Общий экономический эффект от внедрения составил 27,15 тыс. рублей. В результате внедрения, замена традиционных конструкций фундаментов позволила достичь сокращения сметной стоимости, трудозатрат и расхода материалов в 1,5-2,0 раза, снизить объем земляных работ в 4-10 раз.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Проведенные исследования технологических особенностей вытрамбовывания котлованов под фундаменты сельскохозяйственных зданий в просадочных грунтах I типа по просадочности показали, что этот метод обладает технологической эффективностью и позволяет в указанных грунтовых условиях получить надежное основание под фундаменты зданий стоечно-балочного и рамного каркасов.

2. Выявлено влияние угла заострения дна трамбовки на режим вытрамбовывания котлованов, поэтому в формулу определения числа ударов трамбовки введен коэффициент, учитывающий угол



заострения, численные значения которого определены опытным путем. Наименьшая энергоемкость процесса достигается при оптимальной влажности грунта и рациональном угле заострения.

3. Получены линейные зависимости размеров зоны достаточного уплотнения грунта и минимально допустимых расстояний между котлованами от угла заострения днища трамбовки.

4. Определено, что форма зоны достаточного уплотнения грунта представляет собой усеченный эллипсоид вращения, изменяющий размеры полуосей в зависимости от угла заострения днища трамбовки.

5. Экспериментально установлено, что для обеспечения оптимальной зоны достаточного уплотнения грунта в котлованах под фундаменты сельскохозяйственных зданий, рациональным углом заострения днища трамбовки является угол равный 60° .

6. Оборудование трамбовки подпружиненным днищем, предложенной конструкции, устраняет вакуум и обеспечивает преодоление сил трения и сцепления грунта по боковой поверхности корпуса и днища в два этапа, что позволяет уменьшить усилия извлечения ее из котлована на 15-20%.

7. Предложена методика определения рационального режима вытрамбовывания котлованов и параметров трамбующего оборудования, которая легла в основу разработки технологической карты, одобренной Укргростроем, и проектирования опытного образца установки УВК-І. Предложенная конструкция УВК-І защищена авторскими свидетельствами.

8. Разработанная технология вытрамбовывания котлованов внедрена в производственных условиях при опытном строительстве фундаментов четырех сельскохозяйственных зданий стоечно-балочной и рамной конструкций. При этом, экономический эффект составил 27,15 тыс. рублей. Для опытно-промышленного внедрения технологии изготовлено три опытных образца установки УВК-І.

Основные положения диссертации и результаты исследований опубликованы в следующих работах:

І. Технологическая карта на устройство фундаментов в вытрамбованных котлованах с применением установки УВК-І. Киев, НИИСП Госстроя СССР, 1985, -28с (в соавторстве).

2. Выбор рациональных параметров трамбовок для образования котлованов. - В кн: - "Строительное производство". Киев, БудІвельник, 1983, вып.22, с.39-41.

3. Фундаменты в вытрамбованных котлованах. - "Сельское строительство". Киев, БудІвельник, 1983, №12, с.12.

4. Опыт совершенствования фундаментов в вытрамбованных котлованах под сельскохозяйственные здания Украины. - "Основания, фундаменты и механика грунтов". М., Стройиздат, 1984, №6, с.7-9 (в соавторстве).

5. Фундаменты в вытрамбованных котлованах под сельские здания. - "Строительные материалы и конструкции". Киев, БудІвельник, 1985, №3, с.18-19 (в соавторстве).

6. Установка для вытрамбовывания котлованов. - "Сельское строительство". Киев, БудІвельник, 1982, №2, с.14 (в соавторстве).

7. Механизация образования скважин для устройства набивных свай методом выштамповывания. - В кн: - "Комплексная механизация и механовооружение строительства". Киев, НИИСП Госстроя СССР, 1981, с.3-8 (в соавторстве).

8. Снижение материалоемкости при устройстве фундаментов в вытрамбованных котлованах. - В кн: - "Снижение материалоемкости строительства". Киев, НИИСП Госстроя СССР, 1983, с.34-41 (в соавторстве).

9. Фундаменты в вытрамбованных котлованах под сельскохозяйственные здания. - В сб: - "Основания и фундаменты". Киев, БудІвельник, 1985, вып.18, с.5-8 (в соавторстве).

10. Для испытания столбчатых фундаментов. - "Сельское строительство". Киев, БудІвельник, 1985, №8, с.20 (в соавторстве).

11. А.с. СССР №1074940 Трамбовка. Б.И., 1984, №7, с.100 (в соавторстве).

12. А.с. СССР №1081277 Рабочий орган для образования котлованов. Б.И., 1984, №11, с.101 (в соавторстве).

13. А.с. СССР №1141162 Устройство для вытрамбовывания котлованов. Б.И., 1985, №7, с.98 (в соавторстве).

14. А.с. СССР №1184902 Устройство для вытрамбовывания котлованов. Б.И., 1985, №38, с.96 (в соавторстве).

А.И.И.

БФ 22130. Подписано к печати 11.08.86. Формат бумаги 60х84¹/16.
Усл.печ.л. 1,25. Уч.-изд.л. 0,9. Заказ 1939. Тираж 130 экз.

Научно-исследовательский институт строительного производства
Госстроя СССР, 252180, Киев-180, ул. И. Клименко, 5/2.
Фотопечатная лаборатория НИИСП Госстроя СССР,
252180, Киев-180, ул. И. Клименко, 5/2.