

Работа выполнена в Винницком политехническом институте.

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор Друкований М.Ф.

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор Заимко В.Г.

кандидат технических наук,
доцент Ильченко Н.Г.

Ведущая организация - Днепропетровский филиал научно-
исследовательского института
строительного производства
(НИИСП).

Защита состоится " 1 " ИЮЛЯ 1988 г. в 14⁰⁰ час.
на заседании специализированного Совета К 068.32.02 в
Днепропетровском инженерно-строительном институте по адресу:
320631, г. Днепропетровск-92, ул. Чернышевского, 24-а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Статьи (в двух экземплярах, заверенные печатью) просим
направлять по адресу: 320631, г. Днепропетровск-92, ул. Чер-
нышевского, 24-а.

Автореферат разслан " " _____ 1988 г.

Ученый секретарь
специализированного Совета
кандидат технических наук

М.В. Миколик

- I -

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. На XXVII съезде КПСС в "Основных направ-
лениях экономического и социального развития на 1986-1990 годы и
на период до 2000 года" отмечалось, что необходимо обеспечить ши-
рокое внедрение в народное хозяйство принципиально новых технологий,
позволяющих многократно повысить производительность труда, поднять
эффективность использования ресурсов и снизить энерго и материалоем-
кость производства. Совершенствование технологии производства
сборного железобетона является важным резервом экономии ресурсов,
а одной из первоочередных задач научно-технического прогресса в
этой области является ускорение исследования и внедрения силовых
способов формирования, которые, как отмечалось на IX Всесоюзной кон-
ференции по бетону и железобетону (г.Ташкент 1983 г.) в последние
годы получили большое развитие. Технология силового формирования же-
лезобетонных изделий позволяет максимально механизировать технологи-
ческие процессы, улучшить физико-механические свойства бетона, обе-
спечить благоприятные условия труда.

Одним из методов силового формирования железобетонных изделий
является прессование бетонных смесей. Однако трудности, связанные
с обеспечением высоких давлений, уникальность и малая эффективность
применяемого оборудования, сдерживают повсеместное применение мето-
да прессования в практику заводского изготовления железобетонных
изделий. Эффективность прессования существенно повышается с приме-
нением повторного или многократного приложения прессующего давления.
В связи с этим, весьма актуальным является поиск и исследование ра-
циональных режимов пульсирующего прессования, а также разработка
эффективного оборудования для формирования железобетонных изделий,
позволяющих снизить требуемое прессующее давление при достижении
высоких физико-механических свойств бетона.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы явля-
ется исследование влияния режимов пульсирующего прессования и
структурных характеристик бетонной смеси на физико-механические
свойства пресс-бетона, разработка и промышленная апробация обо-
рудования с системой управления процессом формирования бетонных и же-
лезобетонных изделий.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить сле-
дующие частные задачи:

- раскрыть сущность и обосновать эффективность применения пульсирного прессования бетонных изделий, определить рациональные параметры режима прессования;
 - исследовать влияние расхода цемента и водосодержания бетонной смеси на прочность и морозостойкость пресс-бетона, определить рациональное соотношение мелкого и крупного заполнителей; разработать рекомендации по назначению состава бетонной смеси;
 - разработать конструкцию и изготовить опытно-промышленный образец установки пульсирного прессования, а также систему обеспечения автоматического режима пульсации;
 - в условиях опытно-промышленного производства отработать технологические режимы формирования мелкобетонных изделий методом пульсирного прессования и определить технико-экономическую эффективность от внедрения результатов исследований.
- Целевые задачи работы:**
- предложить математический метод расчета способа формирования мелкобетонных изделий методом пульсирного прессования бетонных смесей (л.с. № 906792);
 - определены рекомендации по подбору состава бетонной смеси с учетом оптимальной подвижности смеси, эффективного использования расхода цемента, рационального соотношения масс мелкого и крупного заполнителей;
 - получена теоретическая зависимость для определения прочности пресс-бетона на сжатие, упругого пульсирного прессования;
 - найдены рациональные параметры режима пульсирного прессования (длина, частота, амплитуда и продолжительность) для уплотнения мелкобетонных бетонных смесей;
 - разработана методика контроля продолжительности прессования бетонной смеси по изменению ее электродвижущей силы;
 - разработаны эффективная конструкция установки (пат. заяв. по заявке № 307840/29-33) для реализации предлагаемого метода и отработаны технологические режимы изготовления бетонных изделий пульсирным прессованием.
- Практическое значение работы.** Разработанный метод, результаты его исследований, рекомендации по подбору состава бетонной смеси и оптимальное устройство установки пульсирного прессования могут быть использованы для освоения технологических линий по производству мелкобетонных изделий.

- Реализация работы.** Результаты исследований использованы при создании опытно-промышленной установки пульсирного прессования и системы обеспечения автоматического режима формирования изделий методом пульсирного прессования для изготовления тротуарных плит и других мелкобетонных изделий на комбинате ЖБИИ "Винницобиробетонстройтрест". Разработанные пресс-формы используются для формирования бетонных образцов-кандидатов в лаборатории "Винницобиробетонстройтрест" и на Гимназическом заводе "Сонжаконкрет" при выборе состава смеси и контроля прочности. Годовой экономической эффект от внедрения результатов работы в производстве составил 79,3 тыс. рублей.
- Авторы работы:** Диссертационная работа подготовлена в ИОМ ГАУК ВУЗ, на научно-техническом семинаре кафедры "Строительные материалы" ДИИТ, на совместном заседании кафедры "Строительные материалы" и "Технология бетона и вяжущих" ДИИТ. Материалы диссертации докладывались также на областном научно-техническом семинаре (г.Винница, 1991-1993 гг.).
- Автор защищает:**
- результаты экспериментально и опытно-промышленных исследований по разработке способа формирования мелкобетонных изделий пульсирным прессованием;
 - результаты исследований по влиянию структурных характеристик бетонной смеси на физико-механические свойства пресс-бетона и рекомендации по расчету состава бетонной смеси с учетом структурно-механических характеристик и рационального соотношения масс мелкого и крупного заполнителей;
 - математическую зависимость режима пульсирного прессования и прочности пресс-бетона на сжатие;
 - метод контроля продолжительности прессования по динамике изменения электродвижущей силы бетонной смеси;
 - применительно к устройству установки пульсирного прессования с системой управления процессом формирования мелкобетонных изделий;
 - технологические особенности и режимы опытно-промышленного производства бетонных изделий методом пульсирного прессования.
- Диссертант.** Основные материалы диссертации опубликованы в 12 научных статьях и технических докладах, 3 отчетах по научно-исследовательской работе, разработкой способ прессования и устройстве для его реализации (заявки) 3 авторскими свидетельствами на изобретение.
- Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, приложений, списка использованной литературы,

включающего 145 наименований и приложения; изложена на 128 страницах машинописного текста, содержит 17 таблиц и 28 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность представленной работы, сформулированы цель и основные задачи исследований, изложена научная новизна, практическая ценность работы и ее реализации.

В первой главе на основании результатов анализа научно-технической литературы описаны технические особенности современных методов уплотнения бетонных смесей. Показано, что широкое распространение на практике получили вибрационные методы формирования железобетонных изделий благодаря работам И.Н.Ахвердова, А.А.Афанасьева, Ю.М.Евженова, В.В.Гусева, А.Е.Десова, В.Г.Завинко, В.В.Михайлова, Г.Я.Муннося, П.В.Прасенко, П.А.Рабиндера, И.Ф.Гуденко, В.Н.Шмигальского, Р.Девиса, Р.Лермита, П.Ребьо, В.Сторка и многих других.

Вибрация достаточно эффективно применяется в сочетании с другими методами воздействия на бетонную смесь. На этой основе разработаны: вибропрессование, вибровакуумирование, вибронатягивательный метод раздельного бетонирования и другие методы уплотнения бетонной смеси. Интересным и принципиально новым является импульсный метод уплотнения А.А.Афанасьева, заключающийся в передаче кратковременных импульсов непосредственно на бетонную смесь без вовлечения в колебательный процесс формы.

Развитие вибрационного формирования железобетонных изделий происходит в направлении применения низкочастотного уплотнения бетонной смеси и сочетания вибрации с силовыми методами воздействия на бетонную смесь. Вибрационные способы формирования железобетонных изделий достаточно просто реализуются, универсальны по номенклатуре выпускаемых изделий. Вместе с тем им присущи и недостатки, основными из которых являются: неадекватность вибрационного оборудования и оснастки, вредное воздействие шума и вибрации на обслуживающий персонал. В связи с этим все более широкое распространение получают силовые методы формирования, позволяющие частично устранить недостатки вибрационных способов уплотнения.

Среди силовых способов наиболее распространенным является центробежный способ формирования железобетонных изделий, технологические основы которого разработаны в работах И.Н.Ахвердова, В.В.Михайлова, А.П.Попова, В.Г.Осипова, В.Я.Штермана и других ученых.

Локализация отрицательных последствий вибрационного способа формирования достигается применением литых бетонных смесей, пластифицированных химическими добавками.

Ряд силовых методов формирования изделий основаны на применении прессованной бетонной смеси. В частности, роликовое прессование, реализуемое с помощью системы роликов, закрепленных на стабилизирующей балке, совершающей возвратно-поступательное движение (Гипростромаш, ВИЛБ, ВИБИСТРОМ и др.). Способ позволяет формировать изделия из мелкозернистых сверхжестких смесей. При этом прочность свежеотформованного бетона достигает 0,7-0,8 МПа, морозостойкость изделий до 900 циклов. В способах "пресс-осмос-бетон" (ЦНИИЖбилица) и "пресс-вакуум-бетон" (ИСМ Госстроя БССР) прессование бетонных смесей применяется в сочетании с электросососом и вакуумированием. Предложено также применять метод трехкратного прессования бетонных смесей, разработанный под руководством К.Э.Гордеева и А.И.Счастливого. Из зарубежных способов наиболее распространение получили технологические системы английской фирмы "Гуу-Кон" и метод "Пресс-В" (ПНР).

Указанные и другие эффективные способы формирования железобетонных изделий, основанные на использовании эффекта прессования бетонных смесей требуют дальнейшего совершенствования и развития с целью повышения их эффективности и надежности технологического оборудования. Это позволило выдвинуть рабочую гипотезу, что пульсирующее прессование в сочетании с оптимальными структурными характеристиками бетонной смеси существенно повышает физико-механические свойства пресс-бетона, снижает требуемую величину прессующего давления, улучшает условия отжигания жидкой и газовой фаз.

Вторая глава посвящена описанию сущности метода пульсирующего прессования бетонных смесей, аппаратуры и методики экспериментальных исследований.

Сущность предложенного автором метода пульсирующего прессования заключается в воздействии на бетонную смесь прессуемым давлением, которое сначала поднимает до заданной величины в течение нескольких секунд, а затем осуществляет пульсирующее его изменение по зависимости:

$$P(t) = \frac{P_{max} + P_{min}}{2} + \frac{A_r}{2} \sin \omega t; \quad (1)$$

где $P(t)$ - прессующее давление в момент времени t , с;
 P_{max}, P_{min} - максимальное и минимальное прессующие давления, (МПа);
 $\omega = 2\pi f$
 A_p - амплитуда пульсации прессующего давления, (МПа);
 f - частота пульсации прессующего давления, (Гц).
 Обоснована сущность и граничные значения параметров частоты:

Изменение пульсирующего прессующего давления во времени.

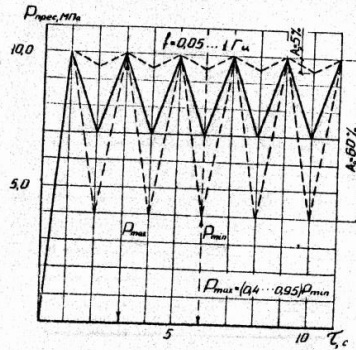


Рис.1.

$f = 0,05...1$ Гц и величины амплитуды $A_p = 5...60\%$ от максимального первоначального давления. График изменения пульсирующего давления во времени представлен на рис.1.

Пульсирующее прессование в сравнении с ранее известными способами прессования позволяет уменьшить влияние (между смесью и формой) трение и добиться наиболее полной упаковки зерен заполнителя. При этом совмещаются операции равномерного распределения

бетонной смеси в форме и ее принудительного силового уплотнения, сохраняется возможность тиксотропного рожжения и коагуляционного уплотнения цементного теста. Механизм повышения эффективности уплотнения по исследуемому методу заключается в ослаблении сил упругого контакта заклинившихся зерен заполнителя в каждый отдельный момент пульсации и обеспечения возможности проскальзывания заполнителя один по другому. За счет развития процесса упругого последования происходит перекомпоновка зерен заполнителя и более плотная упаковка всех зернистых составляющих смеси. При этом нет возможности обратного разуплотнения бетонной смеси, так как она находится постоянно под давлением. Пульсирующее давление, обеспечивает некоторое тиксотропное рожжение смеси, вытесняет газовую и жидкую фазу, способствует заполнению цементным тестом межзерновых прослоек и микропор.

Экспериментальные исследования осуществлялись в два этапа. На первом этапе оценивалось влияние структурно-механических характеристик бетонной смеси (соотношение мелкого и крупного заполнителей, расхода цемента и В/Ц) на прочностные характеристики и морозостойкость пресс-бетона. На втором этапе определялись рациональные значения параметров режима пульсирующего прессования: частоты (f , Гц) и амплитуды пульсации (A_p , %), прессующего давления (P_{max} , МПа) и продолжительности прессования (t , с). При этом, параметры частоты и амплитуды оказались определяющими, что послужило основой для их первоочередного исследования. При выполнении экспериментов использовались цементы двух видов: Каменец-Подольского цементного завода активностью 40,0 МПа и Амурского цементного комбината активностью 50,0 МПа; щебень гранитный Стржавского карьера фр.3...20 мм и Гиванского карьера фр.5...20 мм; песок "Днепропетровский" с $M_k = 1,3$, отсев гранитный с $M_k = 3,5$ и смесь "Днепропетровский" + отсев гранитный в соотношении 1:1 с $M_k = 2,5$.

Лабораторные исследования проводили на образцах-цилиндрах диаметром и высотой 100 мм. Морозостойкость бетона определяли усовершенствованным расчетно-экспериментальным методом по "компенсационному" фактору (ГОСТ 10060-76).

Для реализации режима пульсирующего прессования разработан комплекс оборудования, включающий: источник давления; устройство, задающее пульсирующий режим прессования; узел прессования, воплощенный в виде установки пульсирующего прессования и напорные рукава. Разработана и изготовлена конструкция пресс-формы, позволяющая

прессовать образцы-цилиндры как с двухсторонним приложением давления, так и с односторонним. Пресс-форма состоит из составных полуцилиндров, двух сжимаемых колец, сопряженных и полуцилиндрами по коническим поверхностям самоторможения и двух пуансонов. Позволяет обеспечить требуемую точность размеров образцов, уменьшить трудоемкость формования и найти применение на заводах ЖБИ при заводском подборе составов смеси и контроле прочности.

Для исследований также использовали прибор "Нормер" (ГОСТ 10660-70), лабораторную виброплощадку тип 435 А, прибор ультразвуковой УК-101, пресс марки Р 125, ПСУ-10 и ПЛТ-5, модернизированный прибор "Вебе".

Тесты главы посвящена оценке влияния структурно-механических характеристики бетонной смеси на прочность и морозостойкость пресс-бетона.

При постановке активного многофакторного эксперимента получено регрессионное уравнение, позволяющее оценить характер и степень влияния объемного содержания цементного теста, идущего на раздвижку зерен заполнителя ($M_{г.л.в}$), отношения массы песка к массе щебня (n) и модуля крупности песка (M_n) на прочность пресс-бетона в 28-ми суточном возрасте:

$$R_{сж}^{28} = 145,2 M_{г.л.в} - 23,7 n - 2,2 M_n + 477; \quad (2)$$

Из уравнения (2) следует, что с повышением отношения масс песка к щебню, прочность пресс-бетона повышается, а с увеличением коэффициента $M_{г.л.в}$, прямым следствием которого является повышение расхода цемента, прочность бетона увеличивается. При этом степень влияния этих факторов примерно одинакова. Влиянием модуля крупности песка в пределах 1,5...3,5 на прочность пресс-бетона можно пренебречь. Отношение n является наиболее универсальным и управляемым фактором, позволяющим повышать прочностные характеристики пресс-бетона, поскольку не требует материальных затрат и особых технологических приемов. Результаты исследований, при варьировании фактора n в пределах 0,3...0,8 с целью определения его рационального значения, приведены на рис.2, из которого также видно, что в пределах исследуемой области с уменьшением отношения масс песка к щебню прочность пресс-бетона повышается. Однако, одновременно увеличивается и расход дефицитного материала - цемента. В связи с этим для определения

рационального значения n , нами использован показатель отношения расхода цемента на m^3 бетонной смеси к получаемой прочности бетона ($C/R_{сж}$). Кривая зависимости $C/R_{сж} = V/n$ (см. рис.2) состоит из двух участков: прямолинейного и криволинейного. Точка сопряжения участков по видимому указывает на рациональное значение $n = 0,45$. Для условий г.Винницы в качестве мелкого заполнителя используется

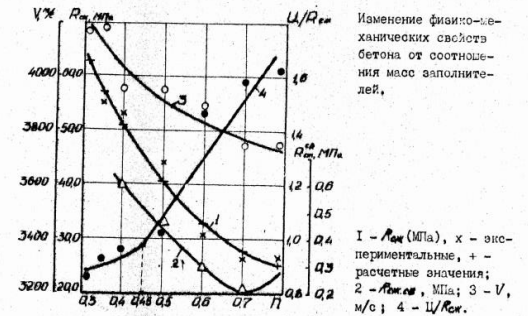


Рис.2.

привозной песок "Днепровский" в различном соотношении с отсевом гранитным. Крупный же заполнитель имеется в достаточном количестве в местных карьерах. На основании результатов исследований, анализа литературных источников, а также с учетом технико-экономических данных рекомендовано назначать составы бетонной смеси со значением n , определяемым по формуле (3), по которой мелкого заполнителя должно быть достаточно для заполнения пустотности и раздвижки зерен крупного заполнителя в виброуплотненном состоянии.

$$n = \frac{V_{к.р} \cdot \rho_{в.м}}{\rho_{в.п}} \cdot K; \quad (3)$$

где $\rho_{в.м.}$, $\rho_{в.к.}$ - плотность в виброуплотненном состоянии соответственно мелкого и крупного заполнителей, кг/м³;
 $\omega_{кр.}$ - пустотность крупного заполнителя в виброуплотненном состоянии;
 K - коэффициент раздвижки зерен и заполнения пустот в крупном заполнителе мелким.

Определенное по формуле (3) рациональное значение μ для данных рис. 2 хорошо согласуется с графически найденным его значением по точке сопряжения прямолинейного и криволинейного участков графика зависимости $\mu/R_{сж} = \varphi(\mu)$

Для оценки влияния расхода цемента и водосодержания смеси на прочностные характеристики и морозостойкость пресс-бетона выполнены экспериментальные исследования, в которых варьировали значением коэффициента $m_{г.л.в}$ и водоцементного отношения осуществлялось на следующих уровнях: $m_{г.л.в} = 0,06; 0,075; 0,1; (B-B_{погд})/Ц = 0,36; 0,375; 0,4; 0,425$. Для сравнения в данной серии опытов производили формование вибрированием образцов-кубов $100 \times 100 \times 100$ (мм). В результате исследований выявлено, что максимальная морозостойкость пресс-бетона достигается в составах, у которых получено наименьшее остаточное водоцементное отношение. При этом морозостойкость пресс-бетона в 4...5 раза превышает аналогичный показатель бетона уплотненного вибрацией.

Анализ результатов исследований позволяет установить, что наиболее рациональны к уплотнению пульсирующим прессованием бетонные смеси с подвижностью по ОК = 1...5 см. Указанная подвижность при значениях коэффициента $m_{г.л.в} = 0,06...0,075$ обеспечивается $(B-B_{погд})/Ц$ в пределах 0,375...0,40. В этом случае, $B/Ц_{ост}$ приобретает наименьшее значение и достигается наивысшая прочность. Исследованиями также выявлено, что при рациональных режимах прессования остаточное водоцементное отношение зависит от его истинного значения и коэффициента $m_{г.л.в}$ при этом функция $B/Ц_{ост} = \varphi((B-B_{погд})/Ц; m_{г.л.в})$ имеет криволинейную зависимость высшего порядка.

Оценку влияния расхода цемента на прочностные характеристики пресс-бетона производили по коэффициенту эффективности использования расхода цемента $K_{э.ц}$. Результаты вычисления значений коэффициента $K_{э.ц}$ по данным прочности прессованного и виброуплотненного бетонов на сжатие с учетом переводного коэффициента на масштабный фактор приведены в таблице 1.

Таблица 1.
Значения коэффициента $K_{э.ц}$

$m_{г.л.в}$	0,06	0,075	0,10
$K_{э.ц}$ прессованного бетона	1,52	1,55	1,46
$K_{э.ц}$ вибрированного бетона	1,12	1,06	1,02

Из таблицы 1 видно, что эффективность использования цемента для пресс-бетона возрастает при $m_{г.л.в}$ до 0,075. Дальнейшее увеличение расхода цемента путем повышения $m_{г.л.в}$ до 0,1, не приводит к росту $K_{э.ц}$. По эффективности использования цемента пресс-бетон отличается от вибрированного, у которого с повышением $m_{г.л.в}$ от 0,06 до 0,1 - значение $K_{э.ц}$ падает. В результате установлено, что прочность пресс-бетона повышается с увеличением объемного содержания цементного теста и соответственно расхода цемента. Однако, с учетом эффективного использования цемента для достижения заданных физико-механических свойств бетона, коэффициент объемного содержания цементного теста, идущего на раздвижку и смазку зерен заполнителя ($m_{г.л.в}$), должен находиться в пределах 0,06...0,075.

Используя основы теории прессования, разработанные Н.П.Вещицким, и данные результатов испытаний, выведена эмпирическая модель прочности пресс-бетона пульсирующего прессования:

$$R_{сж} = K_{1.л} \cdot K_{2.л} \cdot K_{3.л} \cdot R_0; \quad (4)$$

где

$$K_{1.л} = 0,43 + 1,77 (B - B_{погд}) / Ц; \quad (5)$$

$$K_{2.л} = 1,05 + 1,1 \cdot m_{г.л.в}; \quad (6)$$

$$K_{3.л} = 1,36 - K_{1.ц} \cdot R_0; \quad (7)$$

$R_{сж}$ - прочность на сжатие пресс-бетона; R_0 - прочность при сжатии стандартно уплотненного бетона, определяемая по известным формулам.

Модель наиболее полно учитывает влияние на прочность бетона структурно-механических характеристик бетонной смеси и активности цемента.

С учетом выводов по результатам исследований, разработаны рекомендации по назначению составов смеси пресс-бетона, основанные на совместном решении уравнений прочности бетона (4) и подвижности смеси (Рекомендации ИСНА Госстроя СССР, 1984 г.). Методика подбора состава смеси, наряду с факторами В/Ц и $R_{ц}$, учитывает также структурно-механические характеристики и рациональное отношение масс заполнителя (3), при условии полного заполнения цементным тестом межзерновой пустотности заполнителей с некоторой их раздвигкой.

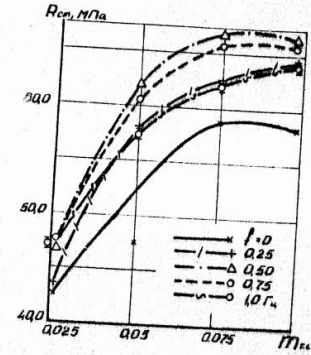
В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований по определению рациональных параметров режима пульсирующего прессования бетонных смесей.

Исследования по определению рационального значения частоты пульсации производили на бетонных смесях шести составов с расходом цемента 365...499 кг/м³ и водосодержанием равном 165...185 л/м³, при значениях прессующего давления $P_{max} = 1,0; 2,5$ МПа, времени уплотнения $T = 1,0$ мин, амплитуде пульсации $A_p = 30\%$ от максимального прессующего давления. Варьирование частоты пульсации осуществляли на четырех уровнях $f = 0,25; 0,5; 0,75; 1,0$ Гц. Проводилось также сравнение эффективности пульсирующего прессования со статическим, для которого $f = 0$. Эффективность частоты пульсации оценивалась по прочности бетона при осевом сжатии ($R_{ож}$), плотности бетона (ρ_b) и скорости ультразвука (V_{ul}) по импульсному ультразвуковому методу.

В результате исследований установлено, что прочность бетона при сжатии, его плотность и скорость ультразвука существенно повышаются при пульсирующем режиме прессования в сравнении со статическим прессованием. При этом отмечен экстремум прочности бетона при $f = 0,5$ Гц. Так, в сравнении со статическим прессованием прочность бетона при сжатии увеличивается в 1,14...1,44 раза, при этом эффективность пульсирующего режима уплотнения повышается при более низких давлениях и на более жестких смесях. Отсутствие роста прочности бетона на частотах более 0,5 Гц по видимому связано с локализацией процесса упругого последования и затруднения перекомпоновки зерен заполнителя.

Зависимость прочности пресс-бетона на сжатие от частоты пуль-

сации и коэффициента объемного содержания цементного теста, идущего на раздвигку зерен заполнителя ($M_{цт}$), показана на рис.3. Экспериментальными исследованиями установлено, что при различных величинах прессующего давления, значениях расхода цементного теста и водоцементного отношения - рациональное значение частоты пульсации остается постоянным и равным 0,5 Гц.

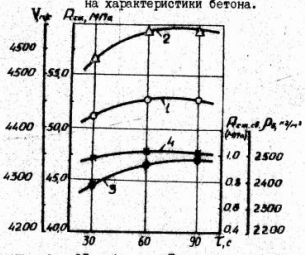


Зависимость прочности пресс-бетона от частоты пульсации и расхода цементного теста, идущего на раздвигку зерен заполнителя, при $P_{max} = 2,5$ МПа.

Рис.3.

На втором этапе исследований варьирование амплитуды пульсации производили на четырех уровнях $A_p = 20; 30; 40; 60\%$ от максимального давления при $P_{max} = 1,0; 2,5; 4,0; 6,0$ МПа, $T = 1,0$ мин, $f = 0,5$ Гц. По результатам исследований установлено, что наивысшие прочностные характеристики бетона достигаются при величине амплитуды 30...40% от максимального давления. Исходя из условий технической реализации пульсирующего метода рациональной принята амплитуда $A_p = 30\%$ от максимального давления.

Влияние продолжительности пульсирующего прессования на характеристики бетона.



1 - $P_{сж}$, МПа; 2 - V , м/с; 3 - $P_{сж}$, МПа; 4 - $\rho_{с}$, кг/м³.
Рис. 4.

Изменение э.д.с. бетонной смеси в зависимости от продолжительности прессования.



Рис. 5.

Исследования с целью определения рационального времени пульсирующего прессования показали (рис. 4), что хотя наилучшие показатели физико-механических свойств бетона получены при $t = 1,0$ мин, однако, исходя из технико-экономических соображений в качестве рационального принято время равное 0,5 мин. Оперативный контроль продолжительности прессования бетонной смеси производился неразрушающим методом. Впервые для этой цели предложено использовать динамику развития электродвижущей силы (э.д.с.) на электродах, размещенных в бетонной смеси (рис. 5). Суть возникновения и изменения э.д.с. здесь обуславливается кинетикой фильтрации отжимаемой воды в открытой системе в процессе прессования. В начале концентрации воды и потенциал образующих ионов у электродов увеличивается, что вызывает резкое возрастание э.д.с. С течением времени вода отжимается, через 30...40 с интенсивно ее отжатие в основном замедляется. Кривая э.д.с. здесь меняет крутизну падения, что может характеризовать момент окончания прессования и соответствует 35 с от начала уплотнения. Это значение удовлетворительно согласуется с ранее найденным рациональным временем прессования $t = 30$ с. Следовательно, предложенный электрофизический метод контроля продолжительности уплотнения, может служить одним из методов оперативного контроля процесса прессования бетонных смесей.

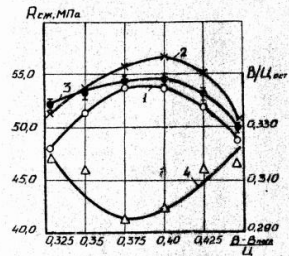
На основании постановочных опытов было замечено, что величина прессующего давления, необходимая для укладки и уплотнения смеси пульсирующим прессованием, является функцией водоцементного отношения и расхода цементного теста, идущего на раздвижку зерен заполнителя, то есть $P_{max} = f[(B-V_{пол})/Ц; m_{т.г.в}]$.

В связи с этим исследование по определению рациональной величины прессующего давления проводилось на бетонных смесях с $(B-V_{пол})/Ц$ в пределах 0,325...0,45 и $m_{т.г.в} = 0,052...0,109$ на шести уровнях, при этом расход цемента во всех составных оставался постоянным.

Из анализа результатов испытаний (рис. 6) следует, что увеличение прессующего давления с 1,0 МПа до 2,5 МПа несколько повышает прочность бетона. Дальнейшее увеличение давления до 4,0 и 6,0 МПа не приводит к повышению прочности бетона на сжатие, наоборот, она даже несколько снижается. Понижение прочности бетона при давлениях 4,0 и 6,0 МПа связано с разрушением зерен крупного заполнителя, которое наступает по методу пульсирующего прессования уже при указанных значениях. В результате по плоскости разрушения зерна лишь чече-

точно смазывается цементным тестом, что является причиной снижения прочности бетона. Высказанное подтвердилось при визуальном осмотре свежеотформованных разрушенных образцов и при измерении скорости прохождения ультразвука в зрелом бетоне.

Следовательно, по методу пульсирующего прессования рациональнее является прессующее давление 2,5 МПа. В отдельных случаях можно принимать и меньшее значение давлений. При этом, активное давление, определяемое в любой точке прессуемого изделия по формуле (8), должно быть не менее 1,0 МПа:



Изменение прочности бетона и остаточного водоцементного отношения от истинного водоцементного отношения.

1 - $P_{max} = 1,0$ МПа;
 2 - 2,5 МПа;
 3 - 4,0 МПа;
 4 - $B/Ц_{ост} = \psi [(B - B_{погл}) / Ц]$.

Рис. 6.

$$\sigma_a = \frac{c [C_{акт}^{пол} (K_{акт} + M_{акт}) C_{пол} \sqrt{3} - \rho_{см} g]}{c (K_{акт} + M_{акт}) \xi} \left[e^{-c(K_{акт} + M)} \xi h - 1 \right] + \left(\frac{P_{max} + P_{min}}{2} + \frac{A_r}{2} \sin 2\pi \varphi \right) e^{-c(K_{акт} + M)} \xi h; \quad (8)$$

где σ_a - активное нормальное давление; g - ускорения силы тяжести; $\rho_{см}$ - плотность бетонной смеси; ξ - коэффициент бокового давления; $K_{акт}, M_{акт}$ - параметры линейности для смеси бетонной смеси по стержням форм и в объеме, соответственно; $C_{акт}, C_{пол}$ - начальное предельное напряжение сдвига соответственно при сдвиге по стержням форм

и в объеме; $M_{акт}, M_{об}$ - коэффициент внешнего трения для сочетаний смесь-отенка форм и смесь-смесь; C - отношение периметра формы к ее площади.

При прессовании изделий с развитой боковой (периметральной) поверхностью происходит значительная десимпация давления по высоте и возможны случаи, когда активное давление на некотором расстоянии от поверхности приложения окажется меньшим 1,0 МПа. Тогда необходимо применять двухстороннее прессование, результаты сравнительных испытаний которого приведены в табл. 2. При использовании формулы (8) для определения активного давления в этом случае следует учитывать, что давление с обеих сторон изменяется по зависимости (8) лишь до половины толщины изделий.

Таблица 2.
 Результаты испытаний одностороннего и двухстороннего режимов прессования.

Вид приложения давления	$R_{сж}$ (МПа)	$R_{акт}$ (МПа)	$P_{ср}$ (кг/м ²)	$U_{ср}$ (м/с)	$M_{ср}$ (цикл.)	$B/Ц_{ост}$	$B/Ц_{нач}$
Двухстороннее	56,4	4,0	2507	4788	более 500	0,28	
Одностороннее	48,5	3,6	2478	4414	375	0,301	0,367

В пятой главе представлены результаты опытно-промышленной проверки и данные по их технико-экономической эффективности. Опытно-промышленная проверка и отработка технологических режимов формирования изделий пульсирующим прессованием производилась на разработанной и изготовленной установке пульсирующего прессования (УПП), которая включает: лотус, узел прессования, механизм подъема узла и сменный стол. Основным конструктивным элементом УПП является плоская эластичная диафрагма узла прессования, герметически зажатая по периметру и образующая камеру рабочего давления. Установка позволяет формировать дорожные плиты размером в плане до 750 x 750 (мм), бордюрные камни и другие мелкоштучные изделия, использовалась также для прессования образцов-цилиндров при лабораторных исследованиях.

При обработке технологических режимов изготовления бетонных изделий проверены и подтверждены выводы лабораторных исследований по режиму прессования и составам бетонных смесей. Так, для изготовления

тротуарных плит были опробованы бетонные смеси с расходом цемента 409...469 кг/м³ и подвижностью по О.К. от 0 до 14 см. Установлено, что для формирования изделий пульсирющим прессованием при рациональных параметрах режима необходимо применять бетонные смеси с подвижностью по О.К. в пределах 3,0...8,0 см, а наилучшее качество лицевой поверхности плит получается при О.К. = 5 см. Полностью подтвердились рекомендации, относящиеся к расходу цемента, то есть цементного теста должно быть достаточно для заполнения пустот смеси заполнителей с коэффициентом $M_{т.т.р} = 0,06...0,075$. В этом случае на цемент с активностью 40 МПа при расходе 400...420 кг/м³ смеси достигается прочность бетона плит свыше 60,0 МПа, это более чем в 1,5 раза выше прочности бетона виброуплотненных плит, что позволяет снизить до 20% расхода цемента, сократить продолжительность тепловой обработки или вовсе устранить ее, повысить долговечность изделий. В связи с потребностью производства производилась также отработка технологических режимов промышленного изготовления бетонных вкладшей для заделки пустот торцов плит ПТК и подкладок по обеспечению проектной толщины защитного слоя арматуры. Применяемый рациональный режим пульсирующего прессования позволил осуществлять немедленную распалубку этих изделий. Результаты опытно-промышленных работ позволили сделать вывод о целесообразности более широкого распространения способа формирования бетонных изделий с использованием метода пульсирующего прессования.

Внедрение технологии прессования бетонных вкладшей и подкладок в производство позволило получить годовой экономический эффект 12,5 тыс.рублей. Рекомендации по подбору составов бетонной смеси с учетом рационального соотношения масс заполнителей внедрены на комбинате ЖБИИ "Винницаобарестройтреста", что позволило снизить около 10% расхода цемента. Разработанные пресс-формы используются на заводах ЖБИ при подборе составов бетонной смеси и контроля прочности, и позволяют уменьшить трудоемкость формирования в 2,5 раза.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.

1. Разработан способ формирования железобетонных изделий путем воздействия на бетонную смесь прессующим давлением, изменяющимся во времени с определенной частотой и величиной амплитуды и под названием название метода пульсирующего прессования. Обоснована суд-

ность и границы исследуемых параметров режима пульсации.

2. На основании экспериментальных исследований и анализа литературных источников определена зависимость для установления рационального соотношения масс мелкого и крупного заполнителей, согласно которой расход мелкого заполнителя принимается достаточным для заполнения пустотности и раздвижки зерен крупного заполнителя в виброуплотненном состоянии.

3. Экспериментально установлено, что с учетом эффективного использования цемента в достижении заданных физико-механических свойств бетона, объемное содержание цементного теста, идущего на раздвижку зерен заполнителя, должно находиться в пределах 6,0...7,5%, а для уплотнения пульсирующим прессованием наиболее рациональны бетонные смеси с подвижностью 1...5 см осадки конуса.

4. Выведен математическая модель прочности пресс-бетона, уплотняемого пульсирующим прессованием бетонной смеси, и разработаны рекомендации по подбору состава смеси, основанные на совместном решении уравнений прочности и подвижности, с учетом структурно-механических характеристики и рационального соотношения масс мелкого и крупного заполнителей.

5. По результатам исследования физико-механических свойств пресс-бетона установлено, что рациональными параметрами режима пульсирующего прессования являются: максимальное прессующее давление 2,5 МПа, частота 0,5 Гц, амплитуда пульсации 30% от максимального давления и время прессования 30 с.

6. Исследованиями выявлено, что прочность пресс-бетона при сжатии по сравнению с прочностью бетона полученного статическим прессованием, увеличивается в 1,14...1,44 раза. В указанных пределах относительный прирост прочности бетона повышается с уменьшением прессующего давления и подвижности бетонной смеси.

7. Выявлены недостатки и проверен на образцах-цилиндрах метод контроля продолжительности прессования, основанный на измерении электродвижущей силы (э.д.с.) с помощью электродов, размещенных в прессуемой бетонной смеси.

8. Экспериментально проверена и подтверждена эффективность двухстороннего прессования в сравнении с односторонним, и частности прочность на сжатие исследуемых образцов увеличивается на 16,5%, достигается более равномерное распределение плотности бетона по высоте, повышается морозостойкость. Для изготовления образцов-цилиндров разработана конструкция пресс-формы с возможностью двух-

стороннего приложения прессуемого давления, позволяющая сократить в 2,5 раза трудоемкость работ при заводском подборе состава бетона и контроля прочности.

9. Разработана и изготовлена опытно-промышленная установка пульсирующего прессования с системой управления процессом формования изделий для реализации предложенного метода. Отработаны технологические режимы производства тротуарных плит и других мелкоштучных изделий.

10. Внедрение метода пульсирующего прессования при изготовлении тротуарных плит по сравнению с существующей технологией позволяет снизить себестоимость 1 м² изделий на 4,9 руб. Разработанные диссертации внедрены на комбинате ЖБИИ "Винницобремстройтреста" и на Гивванском заводе "Спецжелезобетон". Общий годовой экономический эффект от внедрения результатов диссертационной работы составляет 79,3 тыс. руб.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Друкованый М.Ф., Дударь И.Н., Загреб В.П. Способ изготовления бетонных изделий. Авт. св. № 986792, опубл. Б.И. № 1, 1983.
2. Друкованый М.Ф., Дударь И.Н., Загреб В.П. Уплотнение бетонных смесей импульсно-прессованием. "Строительные материалы и конструкции", 1981, № 2, с. 32.
3. Загреб В.П. Исследование способа пульсирующего прессования при формовании железобетонных изделий. Тез. докл. областной научно-технической конференции, Винница, 1981, с. 13.
4. Друкованый М.Ф., Сторожук Н.М., Загреб В.П., Мороз А.И. Установка пульсирующего прессования. Информэнерго. Сер.: Стройиндустрия, вып. 6, М., 1982, с. 15-19.
5. Сторожук Н.М., Загреб В.П. Установка пульсирующего прессования и система обеспечения режима пульсирующего прессования. Информэнерго. Сер.: Стройиндустрия, вып. 6, М., 1983, с. 20-22.
6. Друкованый М.Ф., Дударь И.Н., Загреб В.П. Исследование характера изменения электродных потенциалов при тепловой обработке вяжущего. Изв. вузов "Строительство и архитектура", 1983, № 7, с. 71-74.
7. Загреб В.П. Эффективность двухстороннего приложения прессуемого давления. Экспресс-информ. ВНИИЗСМ, сер.: Промышленность сборного железобетона, вып. 11, М., 1985, с. 10-15.
8. Блещик Н.П., Загреб В.П. Технологические режимы изготовления изделий методом пульсирующего прессования бетонных смесей.

В кн., Технология производства железобетонных изделий и композиционных материалов. Минск, 1986, с. 67-77.

9. Загреб В.П., Безвержук С.Н., Серебницкий Е.И. Пресс-форма для изготовления бетонных образцов-цилиндров. Экспресс-информ., Информэнерго, Сер.: Стройиндустрия, вып. 12, М., 1985, с. 1-3.

10. Загреб В.П., Безвержук С.Н., Фадеев В.В., Серебницкий Е.И. Электрофизический метод контроля продолжительности прессования бетонных смесей. Экспресс-информ. ВНИИЗСМ, Сер.: Промышленность сборного железобетона, вып. 3, М., 1986, с. 10-13.

11. Загреб В.П., Безвержук С.Н., Ильин В.И. Результаты сравнения физико-механических характеристик прессованного и вибрированного бетонов различного возраста и условий твердения. Тез. докл. областной научно-технической конференции, Винница, 1986, с. 32-33.

12. Загреб В.П., Безвержук С.Н., Фадеев В.В., Серебницкий Е.И. Стрижка технологических режимов опытно-промышленного производства бетонных изделий методом пульсирующего прессования. Тез. докл. областной научно-технической конференции, Винница, 1986, с. 35-36.

13. Загреб В.П. Метод контроля уплотнения бетонных смесей прессованием. Информэнерго, Сер.: Стройиндустрия, вып. 10, М., 1985, с.

14. Загреб В.П. Способ уплотнения бетонной смеси. Полжлит. решен. по заявке № 40483557/29-33.

15. Загреб В.П., Сторожук Н.М., Серебницкий Е.И., Фадеев В.В. Устройство для формования изделий из бетонных смесей. Полжлит. решен. по заявке № 3976600/29-33.