

зданий, разрушенных под действием стихийных бедствий. Интерстроймех-2009 : Междунар. науч.-техн. конф., 15 – 17 сент. 2009 г. – Бишкек, Кыргызский гос. ун-т строит., трансп. и архитект., 2009. – С. 151 – 159.

7. **Шатов С. В.** Організаційно-технологічні рішення розбирання завалів декількох зруйнованих будівель або споруд / Вісник Придніпр. держ. акад. буд. та архітект. – Д. : ПДАБА, 2011. – № 1 – 2. – С. 8 – 14.

8. **Шатов С. В.** Визначення параметрів уламків зруйнованих споруд та елементів будівель, які реконструюються / Вісник Придніпр. держ. акад. буд. та архітект. – Д. : ПДАБА, 2011. – № 3. – С. 8 – 14.

9. **Чумак С. П.** Основы разработки технологии и управления процессами аварийно-спасательных работ при разрушениях зданий и сооружений // Пробл. безопасности при чрезвычайных ситуациях. – М. : ВИНТИ, 2008. – Вып. 4. – С. 55 – 62.

УДК 666.97.035

### УПЛОТНЕНИЕ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВНУТРЕННЕГО ВАКУУМА ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*И. А. Соколов, д. т. н., проф., А. Н. Березюк, к. т. н., проф.,  
А. Р. Аббасова, магистрант*

**Ключевые слова:** опалубка, бетонная смесь, вакуумтрубки, фильтры, вакуумирование, вакуумбетон, прочность

**Постановка проблемы.** При строительстве зданий и сооружений из монолитного бетона широко применяют инвентарную переставную или скользящую опалубку. Одним из способов интенсификации производства работ при использовании указанного оборудования может стать вакуумная обработка бетонной смеси, но применение вакуумщитов для этих целей требует принципиальной переделки конструкции широко распространенной опалубки. На наш взгляд, эту задачу можно решить без изменения конструкции технологического оборудования путем использования вакуумтрубок и других приспособлений для внутреннего вакуумирования бетонной смеси. Однако известные вакуумтрубки характеризуются сложностью эксплуатации, относительно продолжительным периодом вакуумирования уплотняемой бетонной смеси.

**Анализ публикаций.** В настоящее время имеется достаточно большое количество конструктивных решений вакуумтрубок, которые могут быть использованы для вакуумной обработки бетонных смесей в переставной опалубке [3; 4].

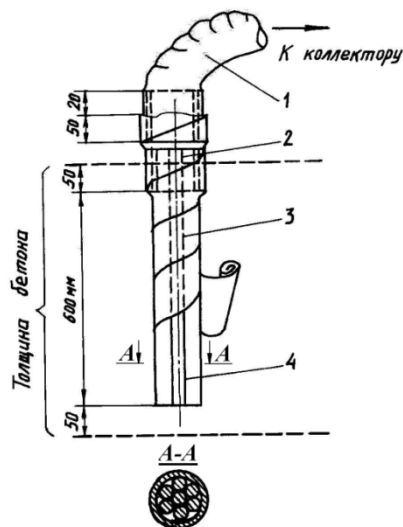


Рис. 1. Проволочная вакуумтрубка: 1 – резиновый патрубок для подключения к коллектору вакуумсистемы; 2 – металлическая муфта; 3 – фильтр из ткани; 4 – пучок проволоки диаметром 4...6 мм

Для вакуумирования монолитных ригелей, балок и прогонов О. А. Гершбергом и

А. Е. Итиным предложена проволочная вакуумтрубка диаметром 25...27 мм с длиной рабочей части до 60 см (рис. 1). Собранный пучок проволоки устанавливается в металлическую муфту с резиновым патрубком и плотно обтягивается лентой из фильтрационной ткани. По окончании вакуумной обработки муфта снимается, из пучка проволок выдергиваются 2...4 средних прутка, после чего извлекается весь пучок. Такая вакуумтрубка характеризуется сложностью в эксплуатации.

В. Н. Руменцевым для вакуумирования стен и других малоармированных конструкций предложена коническая вакуумтрубка, изготавливаемая из перфорированного листа оцинкованной кровельной стали (рис. 2). Внутри вакуумтрубки размещается всасывающая труба. При имеющихся положительных достоинствах такие вакуумтрубки имеют существенные недостатки – сложность конструкции, потребность в значительных затратах энергии для удаления воды против действия гравитационных сил.

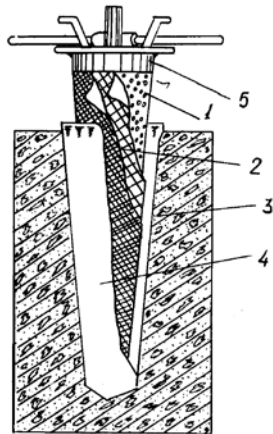


Рис. 2. Вакуумтрубка для вакуумирования малоармированных конструкций: 1 – коническая перфорированная трубка из листовой стали; 2 – сетка с ячейками 10 × 10 мм; 3 – то же, с ячейками 4 × 4 мм; 4 – фильтр; 5 – металлическая обойма с патрубком для подключения к вакуумсистеме

Заслуживает внимания вакуумтрубка разового использования (чехословацкий патент № 113516) (рис. 3). Такая вакуумтрубка состоит из стальной проволочной спирали-каркаса и фильтровального рукава, изготовленного из тонкой парусиновой ткани. Рукав надевается на спираль непосредственно перед вакуумированием. Эти вакуумтрубки просты в эксплуатации, но требуют значительного расхода металла.

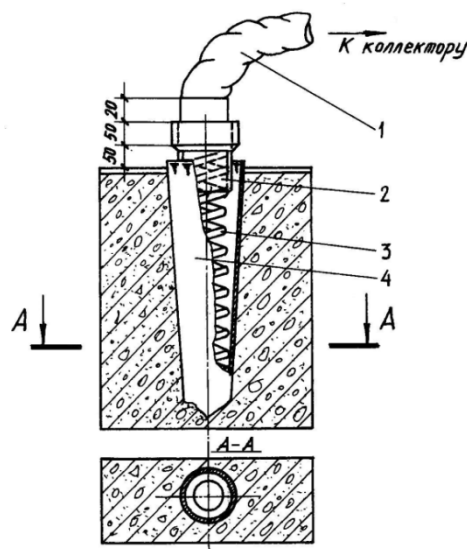


Рис. 3. Вакуумтрубка разового использования: 1 – резиновый всасывающий шланг; 2 – металлический патрубок; 3 – стальная проволочная спираль; 4 – фильтровальный рукав

Широкое распространение получили цилиндрические вакуумтрубки с гибким сетчатым чехлом, используемые для образования гнезд анкерных болтов в бетонных и железобетонных фундаментах (рис. 4). На перфорированную трубу надет чехол из металлической сетки, которая располагается так, чтобы направление проволочных нитей было под углом  $45^\circ$  к продольной оси вакуумтрубки. Такое расположение проволочных нитей придает свойство чехлу легко изменять свою геометрическую форму при сжимающих и растягивающих усилиях, что обеспечивает ее легкий сьем [1; 2].

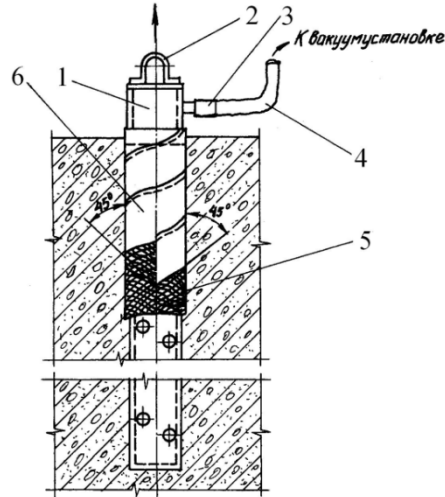


Рис. 4. Вакуумтрубка с гибким сетчатым чехлом: 1 – металлическая труба; 2 – петля для извлечения вакуумтрубки; 3 – патрубок; 4 – соединительный всасывающий шланг; 5 – гибкий сетчатый шланг; 6 – лента из фильтровальной ткани

А. Е. Десовым [5] предложена прессвакуумтрубка (прессвакуумвкладыш), отличающаяся от других вакуумтрубок тем, что при ее помощи можно производить, одновременно с вакуумированием бетонной смеси, также некоторое дополнительное уплотнение прессованием, за счет создания повышенного давления внутри вакуумтрубки (рис. 5).

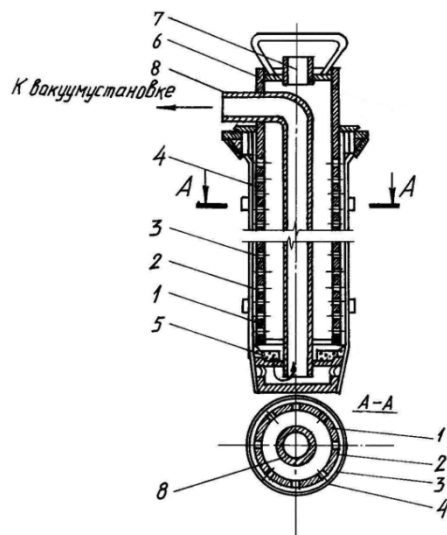


Рис. 5. Прессвакуумтрубка А. Е. Десова: 1 – перфорированная газовая труба; 2 – листовая резина (чехол); 3 – проволочная сетка; 4 – фильтрационный чехол; 5, 6 – заглушки; 7 – ниппель; 8 – внутренняя труба

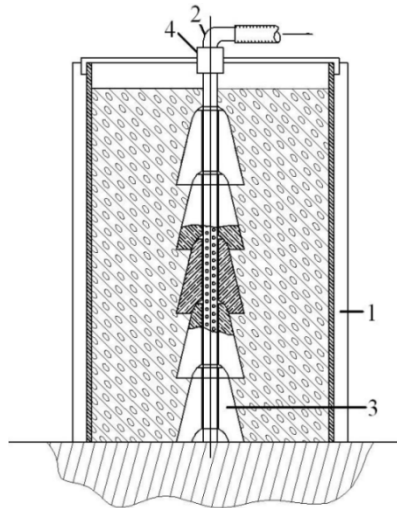
Однако, как показали исследования, эффект от дополнительного прессования при вакуумировании незначительный, поэтому усложнение конструкции вакуумтрубки не совсем оправдано.

Из приведенного анализа следует, что относительная сложность вакуумного оборудования и встречающиеся трудности в процессе его эксплуатации сдерживают применение

вакуумирования при возведении конструкций их монолитного бетона.

**Цель работы.** Разработать и исследовать новое вакуумное оборудование для возведения конструкций из монолитного бетона, которое характеризовалось простотой эксплуатации, высокой надежностью и способствовало снижению продолжительности вакуумирования.

**Основной материал.** Авторами учтены особенности существующих вакуумтрубок и предложено новое вакуумное оборудование для уплотнения бетонных смесей под действием внутреннего вакуума. Предложен способ вакуумной обработки бетонных смесей, позволяющий значительно упростить конструкцию вакуумного оборудования, процесс вакуумирования совместить с другими технологическими операциями, а такую сложную операцию как уход за вакуумным оборудованием и промывка фильтров – полностью исключить из технологии. Одно из конструктивных решений приведено на рисунке 6.



*Рис. 6. Устройство для сооружения конструкций из монолитного бетона: 1 – щиты опалубки, 2 – перфорированная вакуумтрубка, 3 – фильтр, изготовленный из пористого материала в виде отдельных объемных элементов конусоподобной формы, 4 – фиксатор вакуумтрубки*

На вакуумтрубке фильтр изготовлен из пористого материала в виде отдельных объемных элементов конусоподобной формы. Такие объемные элементы изготавливают путем прессования на широко распространенных станках-автоматах большой производительности из цементно-песчаной, цементно-зольной, цементно-шлаковой смесей состава 1 : 8. Поэтому они имеют очень низкую себестоимость, что предоставляет возможность их разового использования.

Вначале на перфорированную вакуумтрубку устанавливают фильтр, который собирают из отдельных объемных элементов. После этого вакуумтрубку с фильтром устанавливают между щитами опалубки, закрепляют при помощи фиксатора. Затем укладывают подвижную бетонную смесь, после этого вакуумтрубку подключают к вакуумсистеме и включают в работу вакуумнасос. В результате этого создается пониженное давление (вакуум) в вакуумтрубке и в фильтре. Под действием пониженного давления (вакуума) водовоздушная смесь из бетонной смеси удаляется через фильтр в вакуумтрубку, а из нее – в вакуумсистему и водосборник.

За счет пониженного давления (вакуума) в вакуумтрубке, фильтре и, соответственно, в уплотняемой бетонной смеси и действия атмосферного давления на ее открытую поверхность достигается интенсивное удаление водовоздушной смеси и качественное уплотнение бетона. В результате этого получают бетон с повышенными физико-механическими свойствами. Кроме этого, существенно сокращается продолжительность вакуумирования за счет значительно большей площади активной поверхности вакуумирования у предложенного фильтра в сравнении с обычными широко распространенными фильтрами.

По окончании процесса вакуумирования вакуумтрубку отключают от вакуумсистемы, освобождают от фиксатора и извлекают из отформованной конструкции, при этом фильтр остается в самой конструкции. Так как фильтр расположен в нейтральной зоне, он не ослабляет конструкцию, а предоставляет возможность исключить из технологического процесса такую

трудоемкую операцию как уход за фильтром (чистка от загрязнений, промывка водой), что значительно упрощает технологию вакуумирования.

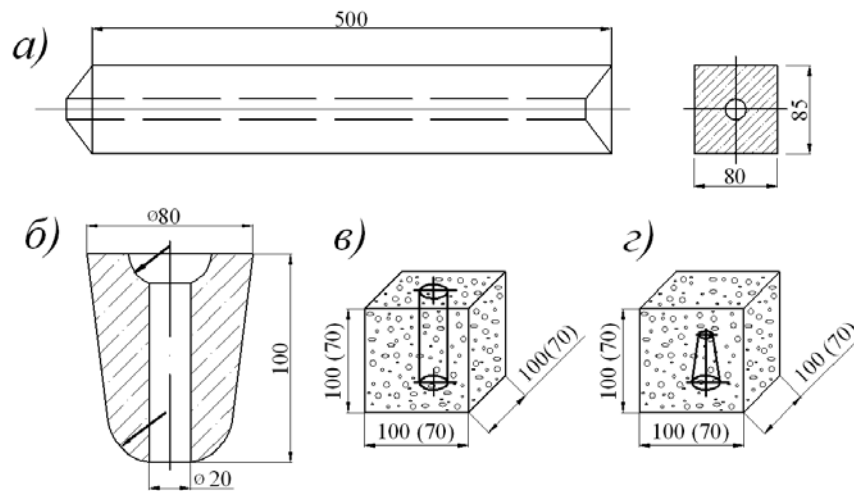


Рис. 7. Форма и основные размеры элементов объемных фильтров: а – объемный фильтр прямоугольного сечения; б – объемный фильтр, имеющий сечение усеченного конуса; в – фильтр в виде куба со сквозным отверстием; г – то же в виде куба с отверстием на высоту соединительной трубки

На рисунке 7 показаны различные конструктивные решения элементов объемных фильтров. Вид фильтра и его конструкция определяются видом формируемой конструкции (колонны, стены, перекрытия, балки, ригели и др.)

Ниже приведены результаты исследований предложенных фильтров при вакуумной обработке бетонных смесей.

Оценка предложенного способа вакуумирования и традиционных способов выполнена путем формирования образцов-кубов с размером ребра 20 см. Объемные фильтры в виде усеченного конуса с диаметром основания 8 см и высотой 8 см, были изготовлены методом прессования на специальной установке из полусухой (жесткой) цементно-песчаной смеси состава 1 : 8.

Использовали бетонную смесь с соотношением составляющих:

Ц : П : Щ : В = 1 : 2,2 : 3,8 : 0,61 (ОК = 3...4 см,  $\rho_0 = 2442 \text{ кг/м}^3$ , Ц = 321 кг/м<sup>3</sup>), портландцемент М400, гранитный щебень фракции 10...20 мм, песок днепровский с  $M_k = 1,2$ .

Образцы формировали в одинаковых условиях. Продолжительность вакуумирования определялась по прекращению извлечения воды затворения.

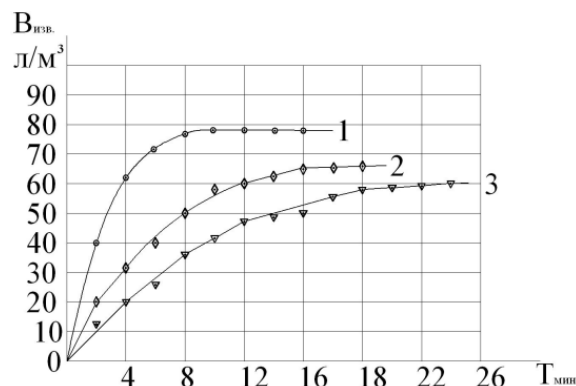


Рис. 8. Количество извлеченной воды при вакуумировании бетонной смеси: 1 – при использовании объемного фильтра; 2 – то же, вакуумтрубки; 3 – то же, вакуумщита

Данные (рис. 8) показывают, что использование объемных фильтров позволяет сократить продолжительность вакуумной обработки в 3...5 раз по сравнению с другими способами. При

этом количество извлеченной воды является наибольшим (76 л/м<sup>3</sup> против 60...65 л/м<sup>3</sup>).

Полная герметизация объемного фильтра, рациональное его расположение в формуемой конструкции и относительно большая поверхность его соприкосновения с уплотняемой смесью позволяют существенно повысить эффективность вакуумной обработки.

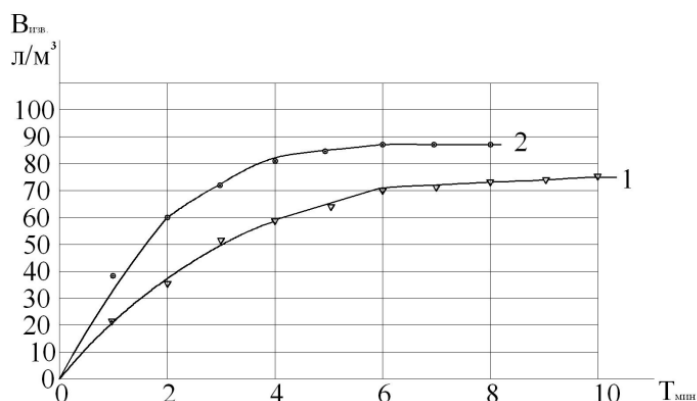


Рис. 9. Количество извлеченной воды в зависимости от размера объемного фильтра конусообразной формы: 1 – при диаметре основания конуса 8 см; 2 – то же, 10 см

При определении фильтрационной способности предложенных фильтров в зависимости от их размеров исследования по вакуумированию бетонных смесей выполнены с использованием фильтров с диаметром основания 8 и 10 см. При формировании образцов 20 × 20 × 20 см в первый период вакуумной обработки соблюдаются известные закономерности – количество извлеченной воды прямо пропорционально фильтрационной поверхности фильтра (рис. 9.) Так, при использовании объемного фильтра с диаметром основания 8 см ( $S_{\phi} = 446 \text{ см}^2$ ) количество извлеченной воды за первую минуту вакуумирования составило 21 л/м<sup>3</sup>, а при использовании фильтра с диаметром основания 10 см ( $S_{\phi} = 865 \text{ см}^2$ ) за это же время количество извлеченной воды составило 39 л/м<sup>3</sup>. С увеличением продолжительности вакуумной обработки эти закономерности не соблюдаются в связи с уменьшением содержания воды в уплотняемой бетонной смеси. Далее можно констатировать, что если количество извлеченной воды за 8 минут вакуумированной обработки составило 63 л/м<sup>3</sup> при использовании фильтра с диаметром основания 8 см, то при фильтре с диаметром основания 10 см это количество воды извлечено за 3 минуты. Данные свидетельствуют о целесообразности увеличении размеров (активной фильтрационной поверхности) объемных фильтров.

Таблица

Плотность и прочность виброуплотненных и вакуумированных бетонов

Способ уплотнения	Плотность бетонов, кг/м <sup>3</sup>	Продолжит. вакуумирования, мин	Кол-во извлеченной воды, л/м <sup>3</sup>	Прочность бетонов (МПа) в возрасте(сутки)	
				1	28
Виброуплотнение (для сравнения)	2 408	–	–	1,7	25,7
Вакуумирование с использованием вакуумцита	2 476	22	61	5,2	34,2
То же с использованием вакуумтрубки с фильтром из ткани	2 462	18	66	4,8	32,9
То же с использованием вакуумтрубки с фильтром из объемных элементов	2 469	8	76	5,4	33,6

Результаты определения плотности и прочности различных видов бетонов приведены в таблице. Как видно из приведенных данных, вакуумирование предоставляет возможность

увеличить прочность бетонов на 30...33 %. Объясняется это высокой степенью уплотнения вакуумированием, что видно из результатов определения плотности. Обращает внимание тот факт, что прочность вакуумбетона в суточном возрасте в три раза больше, чем у виброуплотненного бетона, что предоставляет возможность значительно сократить сроки выдержки монолитных конструкций в опалубке и этим самым снизить стоимость строительства.

**Вывод.** Предложено новое вакуумное оборудование для вакуумирования бетонных смесей при возведении монолитных конструкций в переставной опалубке. Использование на вакуумтрубах объемного фильтра из пористого материала позволило сократить продолжительность вакуумирования в несколько раз, упростить уход за вакуумным оборудованием. Повышение прочности вакуумбетона составило 30 % и более в сравнении с виброуплотненным бетоном.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Вакуумирование бетона в монолитных железобетонных конструкциях : технические указания. – М. :Стройиздат, 1941. – 34 с.
2. Гершберг О. А. Вакуумирование бетона в монолитных конструкциях / О. А. Гершберг. – М. : Стройиздат, 1952. – 60 с.
3. Гершберг О. А. Вакуумбетон / О. А. Гершберг, А. Е. Десов, А. Е. Итин. – М. : Стройиздат, 1940. – 116 с.
4. Гордон С. С. К вопросу вакуумирования бетона каркасных железобетонных сооружений / С. С. Гордон // Строительная промышленность. – 1949. – № 8. – С. 13 – 18.
5. Гордон С. С. Приборы для внутреннего вакуумирования бетона / С. С. Гордон // Механизация строительства. – 1949. – № 10. – С. 16 – 19.

УДК 539.3

### РАСЧЕТ ГОФРИРОВАННЫХ СТЕРЖНЕЙ МЕТОДОМ ОСРЕДНЕНИЯ

*А. А. Дисковский, к. т. н., доц.*

**Ключевые слова:** гофрированный стержень, изгиб, уравнения в проекциях, эффективные коэффициенты упругости

**Постановка проблемы** и её связь с научными и практическими задачами. Гофрированные стержни находят широкое применение в качестве элементов сетчатой арматуры в железобетонных изделиях. К модели гофрированного стержня приходят также при исследовании упругих свойств тканых материалов [1], используемых в армированных стеклопластиках. Традиционное исследование НДС гофрированного стержня требует решения дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами. При большом числе волн гофра численное решение этих уравнений [2] вызывает значительные трудности. В этом случае эффективным оказывается применение асимптотического метода осреднения (гомогенизации) [3].

**Анализ последних исследований и публикаций.** Расчет гофрированных стержней как элементов тканых материалов или сеток проводится главным образом методом конечных элементов [4 – 6]. Однако такой расчет затрудняет анализ параметров при проектировании. Энергетический подход к расчету применялся в работе [7]. Метод гомогенизации развивался в работах [1; 8].

**Цель исследований.** Нахождение точных решений задач изгиба гофрированного стержня. На основе анализа этих решений построение упрощенной схемы расчета НДС с помощью уравнений в проекциях усилий, момента и перемещений на ось, равноотстоящую от вершин гофра и метода гомогенизации. Определение эффективных коэффициентов упругости для растяжения и изгиба.

**Основной материал.** Рассмотрим изгиб гофрированного стержня (рис. 1). Такая задача статически определима. Запишем уравнение равновесия криволинейного стержня [9]:

$$\frac{1}{A} \frac{dN}{d\alpha} + \frac{Q}{R} = P_t; \quad \frac{1}{A} \frac{dQ}{d\alpha} - \frac{N}{R} = P_n; \quad \frac{1}{A} \frac{dM}{d\alpha} - Q = 0, \quad (1)$$