

Марковский М.Ф., канд. техн. наук, директор, РУП «Институт БелНИИС»
Бурсов Н.Г., научный сотрудник, РУП «Институт БелНИИС», г. Минск
Копылов Ю.Б., заведующий лабораторией, РУП «Институт БелНИИС»,
г. Минск
Давидовский Д.А., инженер-конструктор 2 кат., РУП «Институт БелНИИС»,
г. Минск

ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ МОНОЛИТНЫХ КОНУСОВ СИЛОСОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ЦЕМЕНТА

TECHNOLOGY OF ERECTING CAST-IN-SITU SILOS CONES INTENDED FOR CEMENT STORAGE

Аннотация

В работе освещены вопросы разработки опалубочных технологий возведения монолитных конструкций сложной формы в виде конуса. Предложены технологии поярусного устройства рабочих настилов и возведения опорного кольца конуса в односторонней опалубке. Отражены технологические аспекты устройства наклонной опалубки стены и определения бокового давления смеси на опалубку. Изложен подход к разработке опалубки и технологии бетонирования верхней части конуса.

ADSTRACT

The paper shows the issues of developing the formwork technologies of erecting cast-in-situ structures of irregular cone shape. The technologies of work decks tiered arrangement and erecting the cone bearing ring with one-sided form are suggested. Technological aspects of wall inclined form arrangement and lateral form pressure of mixture assessment are reflected. The method of developing the form as well as technology of concreting the cone head is described.

ВВЕДЕНИЕ

Возведение монолитных конструкций сложных форм требует особых технологических подходов к самой опалубке и обеспечению ее формоустойчивости в пространстве. В работе освещены опалубочные технологии возведения конусных частей силосов для хранения цемента, отражены подходы к оптимизации опорных систем опалубки и системы выверки опалубки в пространстве. Практический опыт возведения таких конструкций подтверждает их технологичность. Опалубочные технологии открывают новые возможности и перспективы при возведении монолитных конструкций инженерных сооружений.

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МОНОЛИТНЫХ КОНУСОВ

Монолитный силос для хранения цемента выполнен в форме цилиндра диаметром 18 000 м. На отметке 15 000 м по высоте расположен железобетонный конус со специальными отверстиями для подачи цемента (рис. 1). В этом же уровне на отметке 16.300 расположены

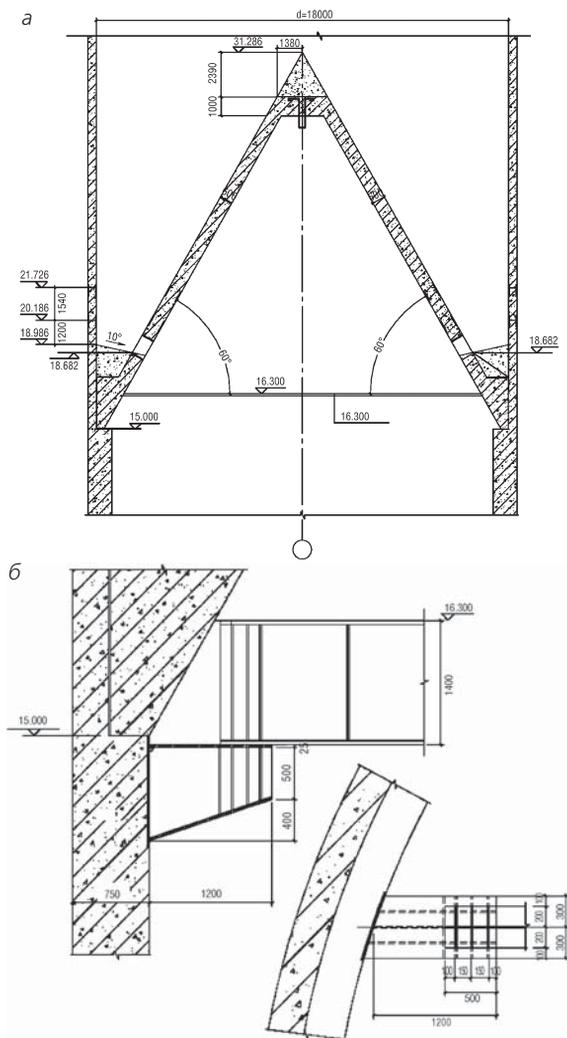


Рисунок 1. Схема монолитного конуса силосов
(а – разрез; б – план металлической площадки на отметке +16.300)

стальные балки и площадки для обслуживания силосов. Конструкции силосов запроектированы китайскими специалистами. Рассматривая монолитные конструкции с позиций технологии возведения, необходимо отметить следующее:

- цилиндрическая часть силосов возводится в скользящей опалубке; технология скользящей опалубки не позволяет совместить в единый технологический поток возведение конусной части и ствола силоса;

- монолитный конус расположен на высоте, что требует разработки специальной опорной системы опалубки;

- стальная площадка, расположенная на высоте в опорной зоне конуса, может быть использована в качестве основания для опалубки;

- для пространственной ориентации опалубки и монолитных конструкций необходимо создать систему точной выверки;

- вопросы обеспечения безопасных условий производства работ на высоте требуют особого внимания;

- геометрические формы конструкций конуса существенно сужают фронт работ по складированию арматуры, оборудования и инструмента на рабочих горизонтах;

- высокие требования к качеству лицевых поверхностей бетона обязывают применять опалубки с высококачественной палубой.

ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ОПОРНОГО КОЛЬЦА МОНОЛИТНОГО КОНУСА

Специалистами РУП «Институт БелНИИС» накоплен опыт разработки опалубочных технологий возведения сложных по форме конструкций [1],[2]. Опорное кольцо конуса имеет наклонную грань по вертикали и криволинейное очертание в плане. Для любой наклонной поверхности конструкций на первый план выходит проблема обеспечения формоустойчивости опалубки при бетонировании от воздействия вертикальных и горизонтальных усилий на опорную систему и саму опалубку, которые необходимо отводить на ранее возведенные железобетонные конструкции. Учитывая, что возведение самого силоса производят в скользящей опалубке отдельным технологическим потоком, опорное кольцо следует возводить по технологии односторонней опалубки [2]. Производство работ на высоте требует, в первую очередь, надежного технологического настила, на котором выполняют все монтажные работы по опалубке и арматуре. Для рассматриваемого объекта специалистами института предложена технологическая схема устройства временного опорного настила по стальным балкам на от-

метках +7,500 и +11,700, имеющимся в проектном решении силоса (рис. 2).

Применяя разборные опалубочные башни, устраивают временный настил на рабочем горизонте на отметке +14,250. Деревянный настил из досок устраивают по опалубочным двутавровым балкам. Балки устанавливают в оголовки опорных башен. Альтернативный вариант устройства временного настила по опорным лесам, выставляемым на всю высоту до рабочего горизонта, требует применения дорогостоящей оснастки импортного производства.

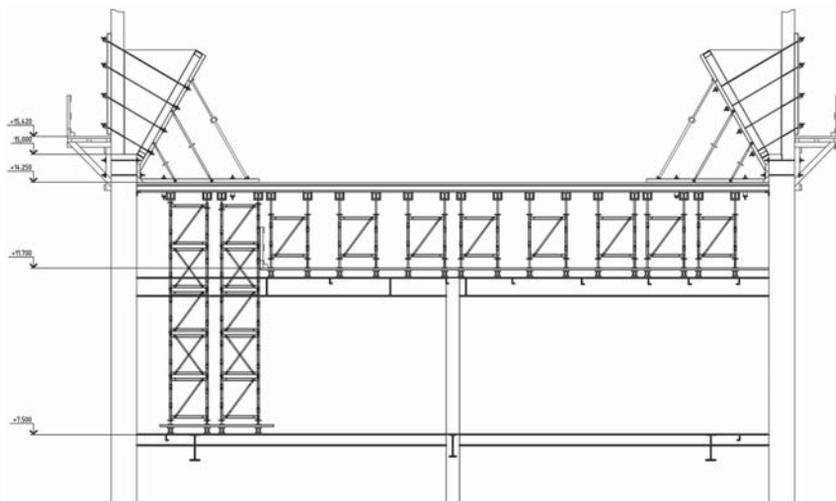


Рисунок 2. Схема устройства технологического настила на отм. +14,250

На наклонную одностороннюю опалубку опорного кольца воздействует в горизонтальном направлении боковое давление бетонной смеси, и в вертикальном направлении — собственный вес бетонной смеси и арматуры (рис. 3). Вертикальные и горизонтальные усилия на опалубку следует отводить к опорному настилу или ранее возведенным железобетонным стенам силоса. В предлагаемой опалубочной технологии использован метод крепления наклонной опалубки к стенам силоса и технологии установки и монтажа опалубки на телескопические подкосы, опираемые на временный настил. Распределение давления бетонной смеси на высоте (σ_z) для высокоподвижных смесей принимает форму, близкую к гидростатическому давлению (рис. 4):

$$\sigma_z = \gamma_{см} \times H, \quad (1)$$

где $\gamma_{см}$ — средняя плотность бетонной смеси;
 H — высота бетонирования.

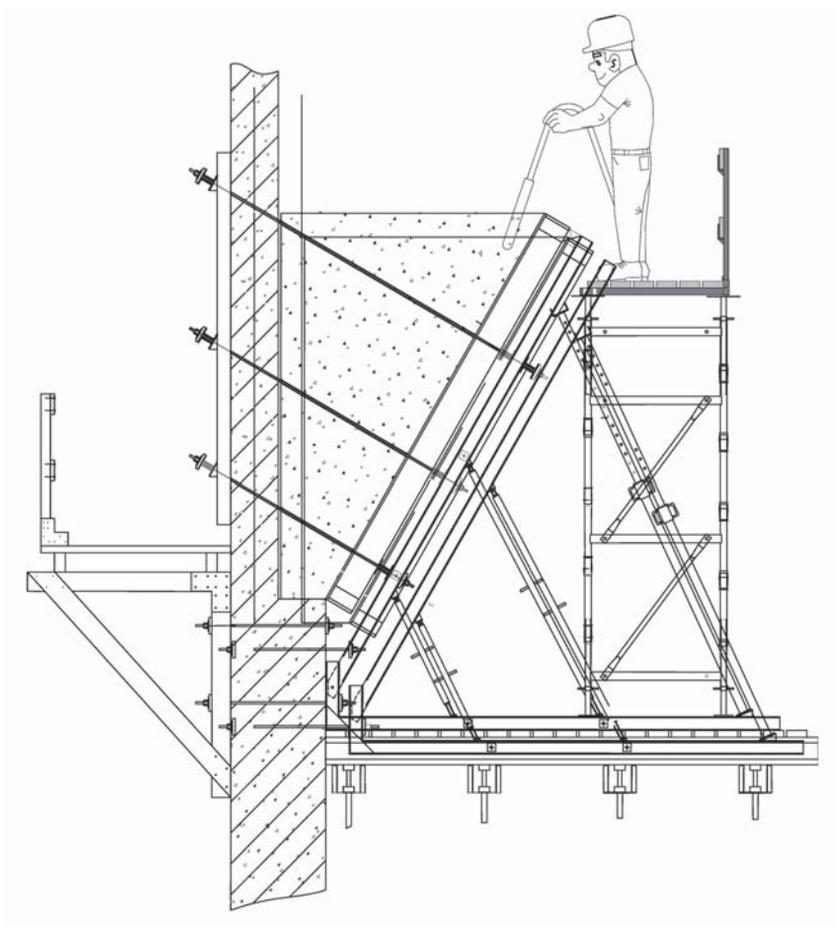


Рисунок 3. Схема устройства односторонней опалубки

Вертикальная нагрузка на опалубки ($\sigma_в$) характеризует собственный вес бетонной смеси и арматуры, расположенный вертикально над наклонной опалубкой в зоне ABC,

$$\sigma_в = \gamma_б \times H, \quad (2)$$

где $\gamma_б$ — средняя плотность бетонной смеси с арматурой.

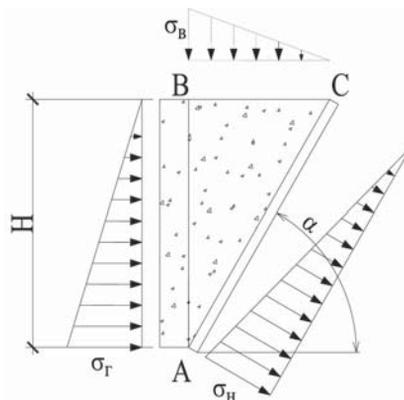


Рисунок 4. Схема нагрузок на наклонную опалубку

Нормально распределенная нагрузка на наклонную опалубку (σ_H) рассчитывается по формуле:

$$\sigma_H = (\gamma_{cm} \times \sin^2 \alpha + \gamma_o \times \cos^2 \alpha) H, \quad (3)$$

где α — угол наклона опалубки к горизонтальной плоскости.

Нагрузку на наклонную опалубку должны воспринять тязи и отвести к ранее забетонированным железобетонным стенам. Шаг расстановки тязей по высоте и в плане определяют расчетом в зависимости от допускаемой нагрузки на тязь и величины давления (σ_H).

В рассматриваемой технологии использовано 4 тязя по высоте наклонной опалубки. Для снижения нагрузки на опалубку и тязи рекомендуется применять послойную укладку смеси с технологическими перерывами. Длительность технологических перерывов не должна превышать период начала схватывания смеси, что обеспечивает монолитность и однородность всего бетона в опалубке.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВОЗВЕДЕНИЯ НАКЛОННЫХ СТЕН КОНУСА

Как отмечалось выше, при возведении сложных по форме наклонных конструкций обеспечение их пространственной формоустойчивости является одной из важнейших задач при разработке опалубочных технологий. При этом необходимо определить давление бетонной смеси на наклонную опалубку, усилия на поддерживающие опалубку подкосы и нагрузки на опорные леса и временные настилы. С технологической точки зрения возможны два варианта возведения стен:

— поярусно (с созданием ярусной опорной системы и промежуточных площадок);

— объемно (с установкой внутренней опалубки сразу на всю высоту конуса и поярусным наращиванием по высоте наружной опалубки по мере бетонирования).

Технология поярусного возведения наклонных стен включает наращивание опорной системы и рабочего настила (рис. 5), а также монтаж опалубки на каждом горизонте. Перемещение рабочих по высоте осуществляется по лестницам, связывающим рабочие площадки каждого яруса. Опорная система лесов выполнена из опорных башен, в оголовки которых укладывают двутавровые балки, по которым устраивают рабочий настил из досок. При поярусном монтаже опорные башни необходимо центрировать друг над другом для передачи нагрузки на нижележащие конструкции лесов.

Схема наклонной опалубки приведена на рис. 6. Щиты опалубки носят индивидуальный характер. Для каждого яруса определены радиусы кривизны щитов и геометрические параметры самих щитов. Фор-

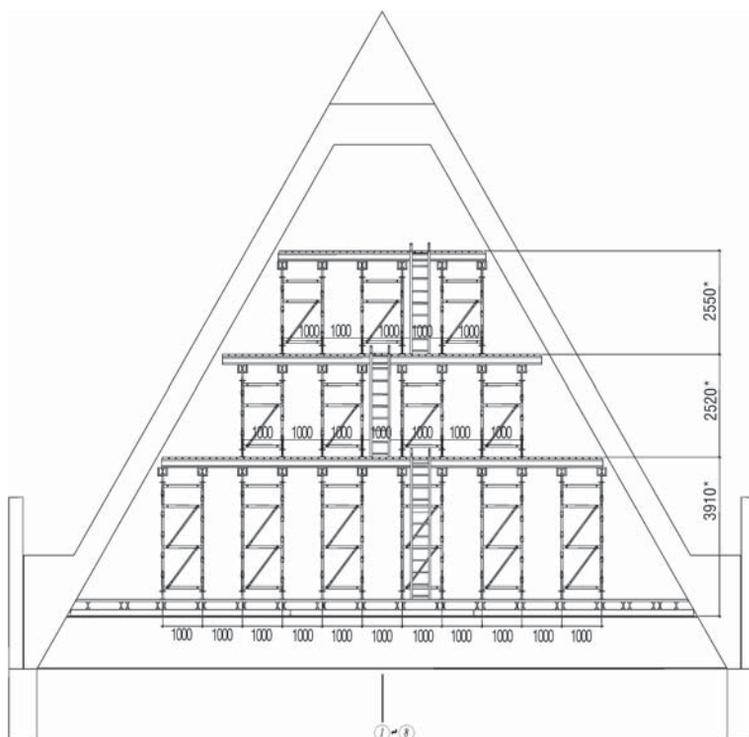


Рисунок 5. Схема устройства опорной системы

ма щита имеет трапециидальное очертание. Геометрическая неизменяемость опалубки при бетонировании обеспечивается расстановкой тяжей по высоте опалубки и системой регулируемых подкосов.

Щиты устанавливают в проектное положение монтажным краном. Для обеспечения распалубки конструкций предусмотрены деревянные вставки. Соединение щитов между собой производят винтовыми замками. Внутренние и наружные щиты опалубки необходимо располагать друг напротив друга. На внутренние и наружные щиты опалуб-

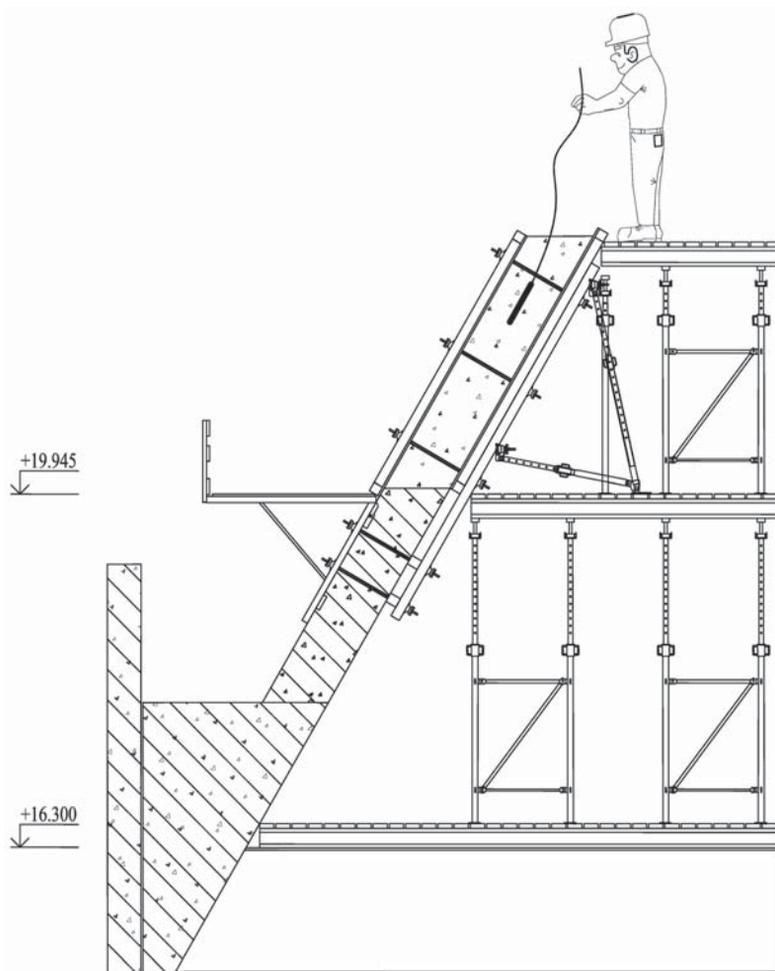


Рисунок 6. Схема бетонирования в наклонной опалубке

ки действует боковое давление бетонной смеси. При одновременном бетонировании на всю высоту опалубки боковое давление бетонной смеси (σ_y) определяют по формуле (4) [2]:

$$\sigma_y = \xi_0 \left(\gamma_{см} - \frac{2 \times \tau_{о.п.с.}}{a \times \sin \alpha} \right), \quad (4)$$

ось y направлена по оси опалубки;

ξ_0 — коэффициент бокового давления бетонной смеси;

$\gamma_{см}$ — средняя плотность бетонной смеси;

$\tau_{о.п.с.}$ — предельное напряжение сдвига бетонной смеси в пристенном слое;

a — толщина бетонируемой стены;

α — угол наклона опалубки к горизонтальной плоскости.

При известной скорости укладки смеси по оси опалубки (V_x) максимальное боковое давление на опалубку следует определять по уточненной формуле для рассматриваемой технологии [2]:

$$\sigma_y^{\max} = \xi_0 \times V_x \left(\gamma_{см} \times \sin \frac{2 \times \tau_{о.п.с.}}{a} \right) \left[\frac{t_E}{2} - \frac{\alpha_t \times t_E}{6 \left(\frac{\gamma_{см} \times a \times \sin \alpha}{2} - \tau_{о.п.с.} \right)} \right], \quad (5)$$

где t_E — период времени, при котором боковое давление достигает значения нуля;

α_t — коэффициент, учитывающий рост параметра $\tau_{о.п.с.}$ во времени.

ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ОСТРОКОНЕЧНОЙ ЧАСТИ МОНОЛИТНОГО КОНУСА

Требования к лицевой поверхности монолитного конуса диктуются эксплуатационными параметрами цементных силосов и заключаются в том, что не допускается образование «застойных» зон при выгрузке цемента из силосов. В данном случае рабочая лицевая поверхность образуется верхней частью конуса.

Остроконечная часть монолитного конуса полностью относится к рабочей лицевой поверхности самого силоса и должна быть отлита из бетонной смеси на завершающей стадии возведения всего конуса.

Применение традиционных технологий бетонирования в опалубке в проектном положении весьма затруднительно. Предложена технология, предполагающая бетонирование отдельно остроконечной части конуса в перевернутом положении и последующий ее монтаж в про-

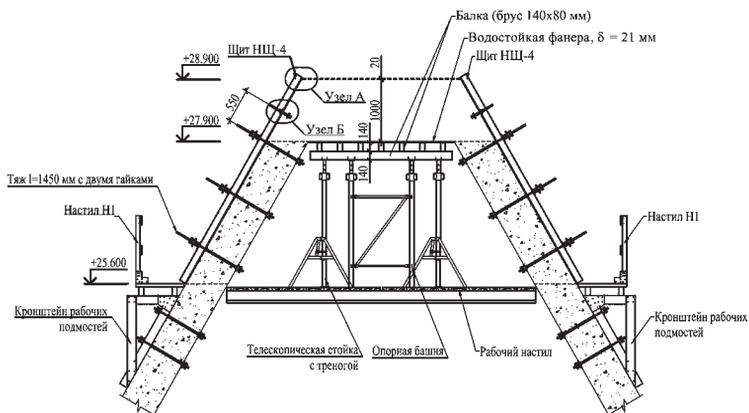


Рисунок 7. Технологическая схема возведения перекрытия на отм. +27,900 (а – монтаж несъемной опалубки; б – бетонирование с отм. +28,920 до отм. +30,489; в – бетонирование верха конуса; г – подача верха конуса к месту монтажа; д – монтаж верха конуса)

ектное положение. Технология бетонирования принципиально изложена на рисунках 7 и 8. Дополнительно разработаны узлы крепления верхней части конуса к ранее возведенным железобетонным конструкциями, способы заделки швов для обеспечения качества лицевых поверхностей бетона.

Разработанные технологии обеспечили возведение монолитных железобетонных силосов с конусными конструкциями на строительстве новых технологических линий на цементных заводах.

Выводы

1. Возведение монолитных конструкций сложных форм требует разработки нетрадиционных опалубочных технологий, обеспечивающих пространственную формоустойчивость. Предложена опалубочная технология поярусного возведения монолитного конуса на высоте.

2. Устройство временных несущих площадок является эффективным технологическим решением, обеспечивающим доступ в рабочие зоны, безопасность условий труда и возможность установки опалубки в проектное положение.

3. Разработана технология возведения опорного кольца в односторонней наклонной опалубке.

4. Предложена комбинированная технология возведения монолитной остроконечной части конуса.

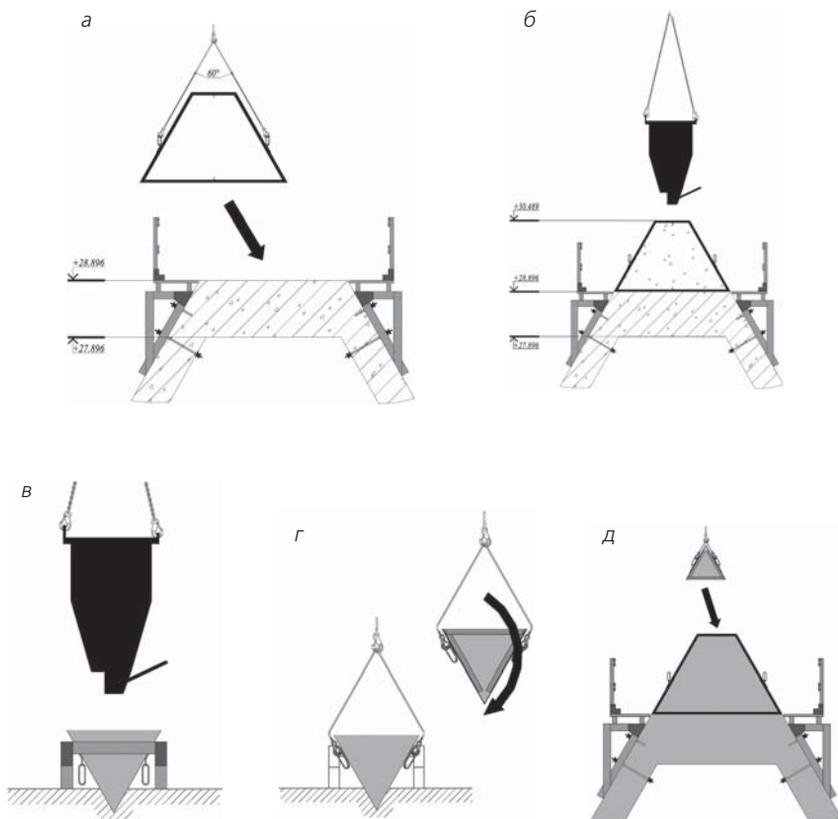


Рисунок 8. Этапы возведения верхней части монолитного конуса

Список цитированных источников

1. *Марковский, М.Ф.* Научное сопровождение и новые опалубочные технологии зданий / Марковский М.Ф. [и др.] // *Строительная наука и техника*. — 2007. — № 5(14). — С. 11—23.
2. *Марковский, М.Ф.* Технология возведения монолитных конструкций уникальных сооружений в Республике Беларусь с применением современных опалубочных систем / Марковский М.Ф. [и др.] // *Проблемы современного бетона и железобетона: сб. тр. В 2 ч. Ч. 2. Технология бетона / Ин-т БелНИИС; редкол.: М.Ф.Марковский (гл. ред.) [и др.]*. — Минск, 2009. — С. 278—299.

Получено 03.12.12 г.