

ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗВЕДЕНИЯ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ОПАЛУБОЧНЫХ СИСТЕМАХ

Марковский М.Ф., к.т.н., директор РУП "Институт БелНИИС"

АННОТАЦИЯ

В работе освещены вопросы технологии возведения монолитных конструкций в опалубочных системах. Изложены технологические особенности возведения наружных стен с оконными проемообразователями, опалубочная технология возведения наклонных перекрытий и стен. Рассмотрены теоретические вопросы формоустойчивости бетонной смеси. Отражены подходы к технологии возведения монолитных каркасных зданий и монолитных конструкций сложной формы.

ВВЕДЕНИЕ

Строительство зданий и сооружений из монолитного железобетона в Республике Беларусь охватывает все новые области и направления, и становится признаком современного строительства. Технология доказала свою конкурентоспособность, мобильность, эффективность и успешно реализуется при круглогодичном производстве работ. Монолитный бетон позволяет смело реализовывать архитектурные замыслы. Строительство уникальных объектов, промышленных комплексов, гидротехнических сооружений, высотных зданий немыслимо без монолитных конструкций.

Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, понимая важность и перспективность нового вида строительства, уделяло и продолжает уделять большое внимание технологии монолитного бетона. По заданию министерства РУП "Институт БелНИИС" в рамках научно-исследовательских программ создал конкурентоспособные опалубочные технологии интенсивного возведения каркасных и бескаркасных монолитных зданий, сборно-монолитных зданий, подземных сооружений, сооружений со сложными по форме конструкциями, всепогодные технологии бетонирования с применением модифицированных бетонов и другие работы, обеспечивающие высокие темпы строительства и качество монолитных конструкций. Весьма востребованы эти технологии при выездной модели строительства. По мере расширения области применения монолитного бетона практика ставит перед специалистами РУП "Институт БелНИИС" всё новые задачи. С каждым днём эти задачи усложняются. Разрабатываются новые опалубочные технологии, современные бетоны и технологии их бетонирования. Строительство сложных и уникальных объектов с повсеместным применением монолитного железобетона относится к высшей категории сложности, носит индивидуальный характер и требует неординарных подходов к конструированию и технологии их возведения. Поиск оптимальных конструктивно-технологических решений выходит в область научных исследований по многим взаимосвязанным направлениям.

1. Технология возведения монолитных стен с проемообразователями

Современный монолитный бетон должен обладать высоким качеством конструкций и особенно лицевых поверхностей. Стена с дверными, оконными или другими технологическими проемами является обязательным элементом практически любого здания из монолитного бетона. Накопленный отечественный опыт строительства таких зданий показывает, что дефектность стен с проемами одна из самых высоких. Под оконными или другими технологическими проемами образуются незаполненные бетоном полости, карманы. Кроме этого, ввиду недоступности для вибратора, зона бетонной стены под проемообразователями остается недоуплотненной.

К другим дефектам стен можно отнести перекося оконных и дверных проемообразователей во время бетонирования, чрезмерные прогибы формообразующих элементов, значительный разброс геометрических параметров проемов в сравнении с проектными размерами. Отсутствие герметичности и плотного прилегания опалубки проемообразователей к стеновой опалубке приводит к утечке цементного раствора из уложенного бетона, что вызывает ноздреватую структуру бетона в зоне угловых граней проема.

При бетонировании стены на проемообразователь действуют значительные сдвигающие силы от распорного давления бетонной смеси, которые могут вызывать сдвиг и несимметричное смещение проемообразователя в плоскости стены (рис. 1). На начальной стадии бетонирования при односторонней загрузке в опалубку бетонной смеси на проемообразователь действует гидростатическое боковое давление бетонной смеси (σ_y),

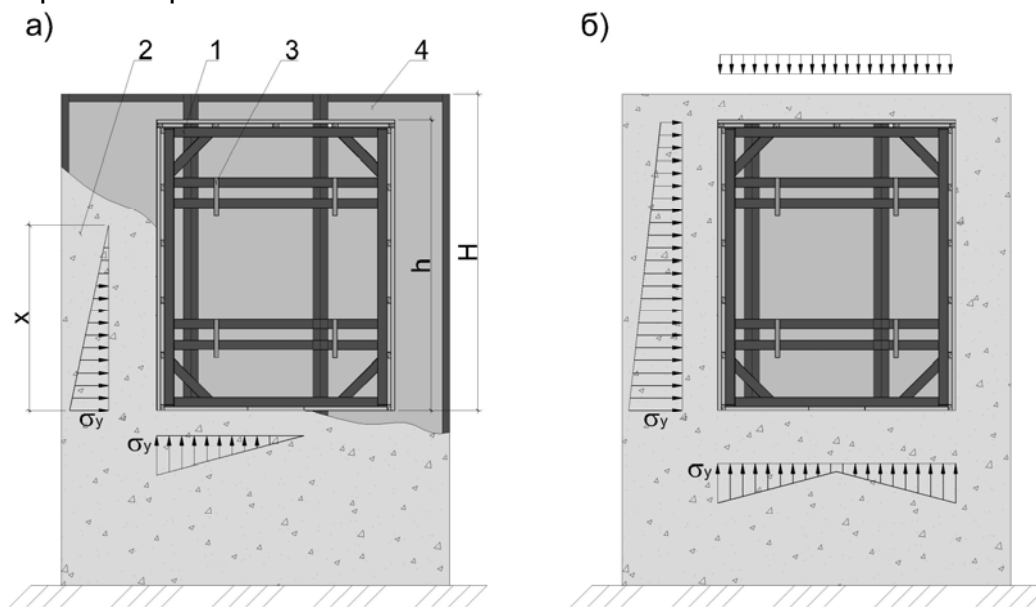
$$\sigma_y = \gamma_{см} \cdot x, \tag{1}$$

где $\gamma_{см}$ – средняя плотность бетонной смеси;
 x – высота бетонирования.

Рассматривая наихудший вариант односторонней загрузки проемообразователя бетонной смесью, боковая нагрузка на проемообразователь (P_{Γ}) составит

$$P_{\Gamma} = \frac{1}{2} \cdot \gamma_{см} \cdot h \cdot a, \tag{2}$$

где a – толщина стены;
 h – высота проемообразователя.



1 – проемообразователь; 2 – бетонная смесь;
 3 – анкерное крепление; 4 – щитовая опалубка

Рисунок 1 – Схема нагрузок на оконный проемообразователь:
 а, б – схема сил, действующих на стадии бетонирования
 и по окончании бетонирования соответственно

Фиксацию проемообразователя следует производить анкерными захватами. Силы трения проемообразователя об опалубку должны препятствовать его смещению при одностороннем бетонировании.

Минимальный момент затягивания гаек анкеров (M), обеспечивающий неизменяемое положение проемообразователя при бетонировании составляет [1],

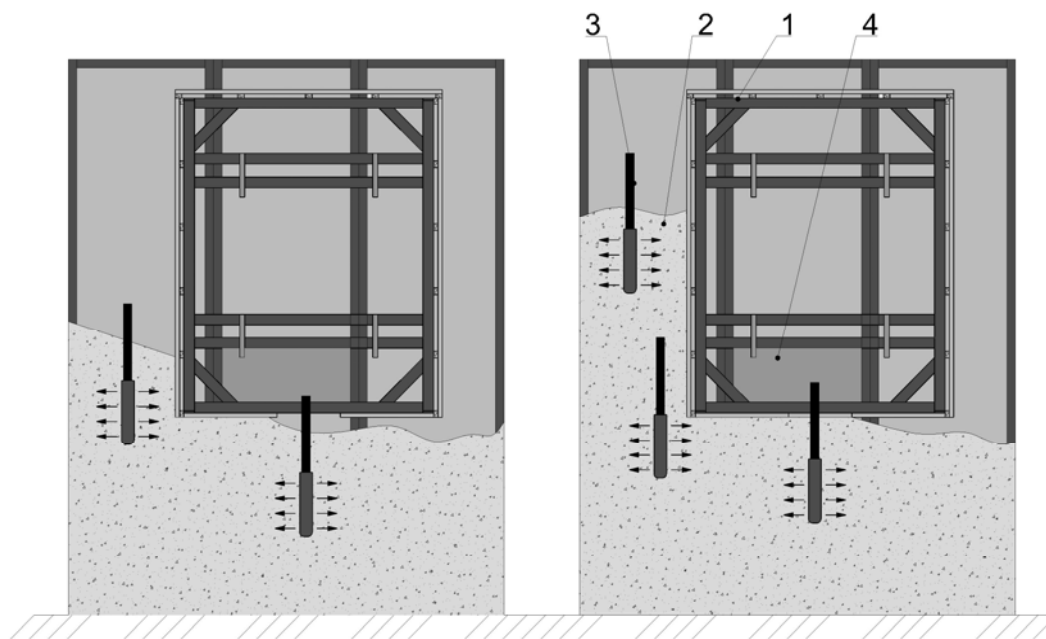
$$M = \frac{1}{200} \cdot \frac{\gamma_{см} \cdot h \cdot a}{n \cdot f_1} \leq 80 \text{ Н}\cdot\text{м}, \tag{3}$$

который из условия эргономики не должен превышать величину 80 Н·м,
 где n – количество анкеров в ряду;
 f_1 – коэффициент трения фанеры по фанере.

Контроль натяжения гаек анкеров в производственных условиях следует производить динамометрическим ключом.

При бетонировании стены на проемообразователь также действует выталкивающая сила, которая может вызвать вертикальное смещение опалубки. Как правило, анкерное крепление с затягиванием гайки обеспечивает жесткую фиксацию проемообразователя в этом направлении. Сам проемообразователь рассчитывают на формоизменение при действии на него максимальных нагрузок в завершающей стадии (см. рис. 1б). Допускаемый относительный прогиб формообразующих элементов не должен превышать $1/500$ пролета.

Рассмотрим процесс заполнения и уплотнения бетонной смеси под проемообразователем (рис. 2). Течение бетонной смеси под проемообразователем происходит только за счет сил гидростатического напора бетонной смеси сбоку от него. Для обеспечения большего гидростатического напора бетонной смеси предлагается одновременное вибрирование несколькими вибраторами по высоте, при котором бетонная смесь в зоне действия вибратора приобретает свойства тяжелой жидкости.

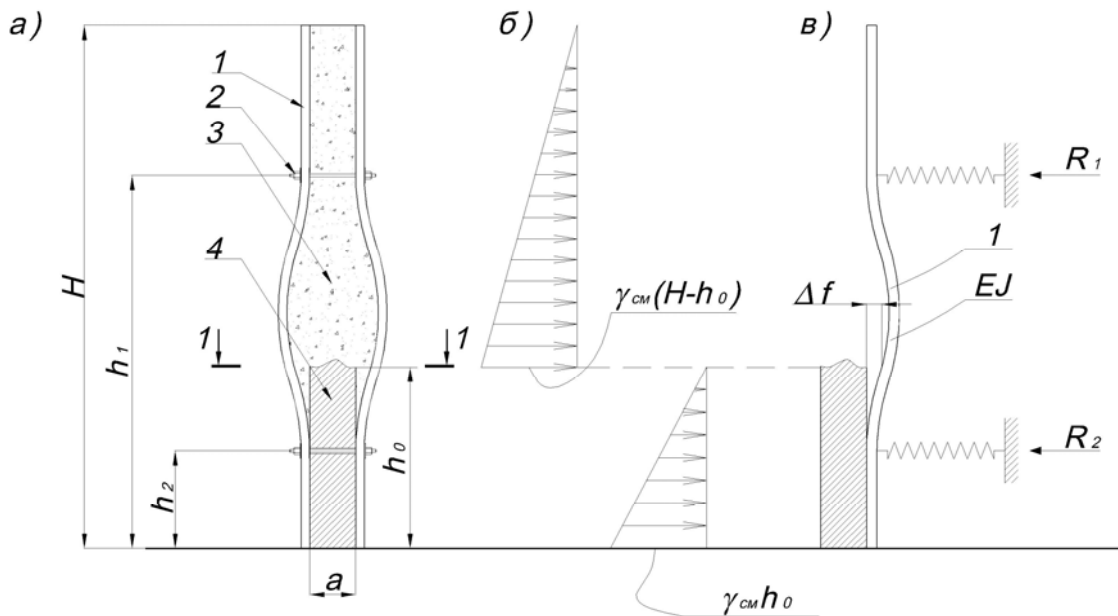


1 – проемообразователь; 2 – бетонная смесь;
3 – вибратор; 4 – технологический люк

Рисунок 2 – Схемы бетонирования в зоне оконных проемообразователей

С целью контроля полного заполнения бетонной смесью полости под проемообразователем и доступа для вибратора, предлагается способ вибрирования, используя технологические люки в щитах опалубки и проемообразователях. После окончания бетонирования бетонная смесь в технологическом отверстии проемообразователя срезается и удаляется для обеспечения возможности распалубки.

Укладка бетонной смеси в опалубку бетононасосными установками характеризуется повышенным боковым давлением бетонной смеси на опалубку, характер распределения которого по высоте опалубки близок к гидростатическому давлению. При этом к опалубочной системе предъявляются требования повышенной несущей способности и жесткости опалубки, ее герметичности и возможности контрольной выверки опалубки при бетонировании. Укладка бетонной смеси в опалубку при наличии горизонтального рабочего шва приводит к образованию дефектности лицевой поверхности бетонной стены (рис. 3). Такие случаи имеют место на практике при вынужденном устройстве горизонтального шва.



1 – щит опалубки; 2 – тяж; 3 – бетонная смесь; 4 – затвердевший бетон

Рисунок 3 – Схема дефектообразования лицевой поверхности бетонной стены:
 а – схема укладки бетонной смеси; б – эпюры бокового давления;
 в – расчетная схема щита

Расчетная схема опалубки представляет балку с жесткостью EJ , соответствующей жесткости щитовой опалубки, а тяжи заменяются упругими опорами с деформативными показателями, соответствующими применяемым тяжам. При начальной укладке нижнего слоя бетонной смеси высотой h_0 возникают определенные деформации в опалубке и тяжах [2]. Сечение 1-1 в опалубке, наиболее опасное с точки зрения образования дефектности (наплыв, уступ) при бетонировании. В состоянии укладки всего нижнего слоя h_0 нижний тяж и сама опалубка получают деформацию соответственно f_2^0, f_n^0 .

Величину деформации щита опалубки f_n^0 в сечении 1-1 следует определять известными способами по схеме загрузки балки жесткостью EJ треугольной распределенной нагрузкой.

При возобновлении бетонирования стены с горизонтальным рабочим швом боковое давление бетонной смеси верхнего слоя приводит к дополнительной деформации как от нижнего, так и от верхнего слоя, а также самого щита. При этом нижний затвердевший слой бетона уже не оказывает дополнительного воздействия на опалубку и тяжи.

Аналогично предыдущему случаю определяют и деформацию опалубки f_n в сечении 1-1 от действия бокового давления бетонной смеси верхнего слоя. Суммарная деформация опалубки в рассматриваемом сечении составит

$$f = (f_2 - f_1) \left(1 + \frac{h_0}{h_1 + h_2} \right) + f_n, \quad (4)$$

где f_1, f_2 – деформации тяжей.

Разность деформации опалубки в сечении 1-1 от действия бокового давления бетонной смеси при укладке нижнего и верхнего слоев и дает дефектность лицевой поверхности монолитной конструкции в виде уступов или наплывов на поверхности

$$\Delta f = f - f_0. \quad (5)$$

В зависимости от допускаемой величины перепадов на поверхности бетонных конструкций можно установить технологические параметры устройства горизонтальных рабочих швов для конкретных видов опалубки. Как видим, жесткостные параметры

опалубки должны относиться к паспортным данным самой опалубки наравне с несущей способностью.

2. Распределение бокового давления бетонной смеси на наклонную опалубку стены

В практике строительства часто имеют случаи применения опалубки с наклонными стенками или одной наклонной стенкой. В существующих отечественных и зарубежных нормативных документах отсутствуют формулы по расчету бокового давления бетонной смеси на опалубку с наклонной стенкой. Поэтому такое исследование весьма актуально.

В действующих отечественных и зарубежных нормах по расчету бокового давления бетонной смеси пространственное расположение опалубки не учитывается. В немецких нормах DIN 18218 [3] строго оговаривается, что методика расчета справедлива для вертикальных опалубок с отклонением по вертикали не более ± 5 градусов.

Монолитные конструкции с наклонными стенами характерны для сложных архитектурных объектов, включая уникальные сооружения. При этом необходимо знать не только распределение давления бетонной смеси на наклонную опалубку, но и усилия на поддерживающие опалубку устройства и несущие леса.

В настоящей статье мы ограничиваемся рассмотрением 2-х сторонней наклонной опалубки с параллельными противоположными стенками.

Формирование расчетной модели базируется на реологическом подходе, использованном при исследовании распределения бокового бетонной смеси на вертикальную опалубку. Очевидно, что боковое давление бетонной смеси на опалубку зависит не только от реологических параметров самой смеси, геометрических параметров опалубки, но и от наклона самой опалубки.

Принимаем предпосылки и допущения аналогичные тем, которые были использованы в работе [2]. Дифференциальное уравнение равновесия элементарного слоя бетонной смеси толщиной dx (рис. 4) запишем в виде

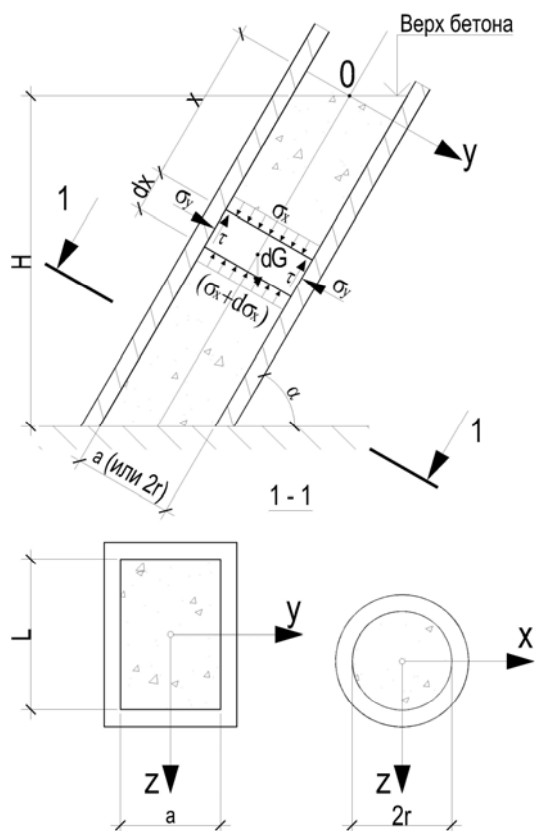


Рисунок 4 – Расчетная схема для определения давления бетонной смеси на наклонную опалубку

$$\frac{d\sigma_x}{dx} = \gamma_{cm} \cdot \sin \alpha - \tau \cdot \frac{P}{S} \quad (6)$$

где σ_x – вертикальное давление;

γ_{cm} – средняя плотность бетонной смеси;

τ – напряжение сдвига;

P – периметр опалубки;

S – площадь горизонтального сечения опалубки;

α – угол наклона опалубки.

Общее решение дифференциального уравнения при граничных условиях имеет вид

$$\sigma_y = \xi_o \cdot \left(\gamma_{cm} - \frac{\tau_{o.n.c}}{\sin \alpha} \cdot \frac{P}{S} \right) \cdot H \quad (7)$$

где ξ_o – коэффициент бокового давления бетонной смеси;

$\tau_{o.n.c}$ – предельное напряжение сдвига бетонной смеси в пристенном слое в начальный период укладки;

H – высота уложенного слоя бетона.

Определение бокового давления бетонной смеси для опалубки стены производят формуле (8)

$$\sigma_y = \xi_o \cdot \left(\gamma_{cm} - \frac{2 \cdot \tau_{o.n.c}}{a \cdot \sin \alpha} \right) \cdot H \quad (8)$$

В сравнении с вертикальным расположением опалубки боковое давление бетонной смеси на наклонную опалубку снижается.

Далее рассмотрим влияние скорости укладки смеси на распределение бокового давления бетонной смеси в наклонной опалубке. Принимаем скорость укладки смеси V_x по оси опалубки x . Дифференциальное уравнение равновесия элементарного слоя смеси в опалубке, полученное по аналогии с работой [4], принимает вид

$$d\sigma_y = \xi(t) \cdot \left[\gamma_{cm} \cdot \sin \alpha - \left(\tau_{o.n.c} + \frac{\alpha_t \cdot t}{t_E} \right) \frac{P}{S} \right] V_x \cdot dt \quad (9)$$

где $\xi(t) = \frac{d\sigma_y}{d\sigma_x}$.

Давление определяем с учетом изменения во времени коэффициента бокового давления бетонной смеси и реологических параметров пристенного слоя. Параметр влияния времени t включаем в эту модель из условия, что коэффициент бокового давления достигает за период времени t_E нуля. Коэффициент бокового давления бетонной смеси принимаем по публикации [5]

$$\xi(t) = \xi_o \cdot \left(1 - \frac{t}{t_E} \right) \quad (10)$$

где ξ_o – начальный коэффициент бокового давления бетонной смеси при $t=0$.

При постоянной скорости укладки бетонной смеси (V) по высоте опалубки можно записать

$$dx = V \cdot dt \quad (11)$$

В начальный период твердения до начала схватывания цемента поведение высокоподвижных бетонных смесей в пристенном слое аппроксимируем законом Бингама

$$\tau = \tau_{o.n.c}(t) = \tau_{o.n.c} + \alpha_t \frac{t}{t_E} \quad (12)$$

где $\tau_{o.n.c}(t)$ – предельное напряжение сдвига бетонной смеси в пристенном слое в период твердения t ;

α_t – эмпирический коэффициент, учитывающий рост параметра $\tau_{o.n.c}$ во времени.

После интегрирования уравнения (9) при граничных условиях получаем

$$\sigma_y = \xi_o \cdot V_x \cdot \left[\left(t - \frac{t^2}{2 \cdot t_E} \right) \cdot \left(\gamma_{cm} \cdot \sin \alpha - \frac{P}{S} \cdot \tau_{o.n.c} \right) - \alpha_t \cdot \frac{P}{S} \cdot \left(\frac{t^2}{2 \cdot t_E} - \frac{t^3}{3 \cdot t_E^2} \right) \right] \quad (13)$$

Максимальное значение бокового давления устанавливается при $t=t_E$

$$\sigma_y^{max} = \xi_{\sigma} \cdot V_x \cdot \left(\gamma_{см} \cdot \sin \alpha - \frac{P}{S} \cdot \tau_{o.n.c} \right) \cdot \left[\frac{t_E}{2} - \frac{\alpha_t \cdot t_E}{6 \cdot \left(\gamma_{см} \cdot \frac{S}{P} \cdot \sin \alpha - \tau_{o.n.c} \right)} \right]. \quad (14)$$

Средняя скорость укладки смеси V_x определяется вдоль оси x опалубки, то есть

$$V_x = \frac{x}{t}. \quad (15)$$

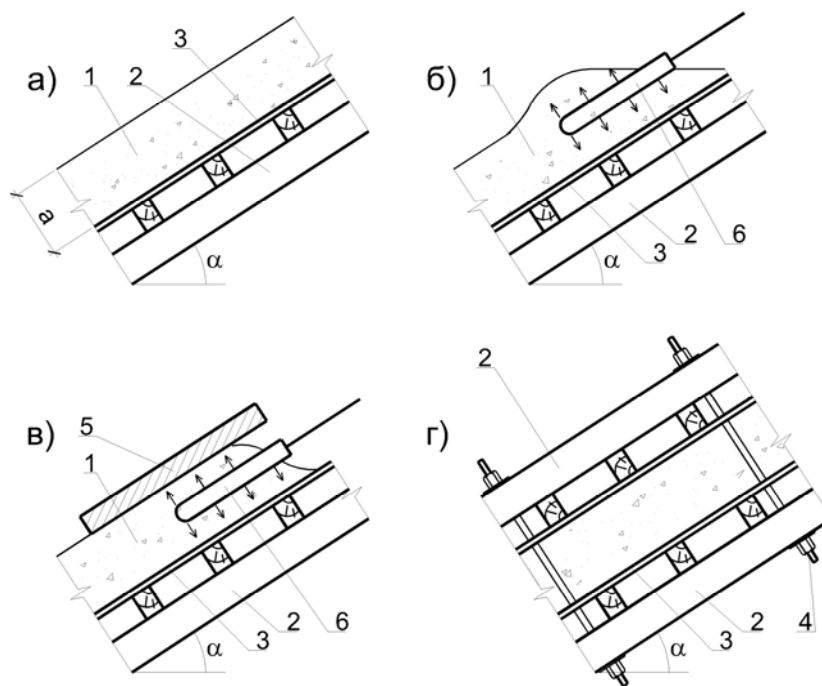
Пересчет на вертикальную скорость укладки V , привычную для вертикальной опалубки следует производить по формуле (16)

$$V_x = \frac{V}{\sin \alpha}. \quad (16)$$

3. Технология возведения наклонных перекрытий

В последнее время наблюдаются тенденции к возведению сложных монолитных конструкций с наклонными и криволинейными поверхностями. Обеспечение качества бетонирования таких конструкций с применением современных опалубочных систем является важной технологической задачей.

Наклонная плита перекрытия в зависимости от угла наклона может бетонироваться тремя способами (рис. 5).



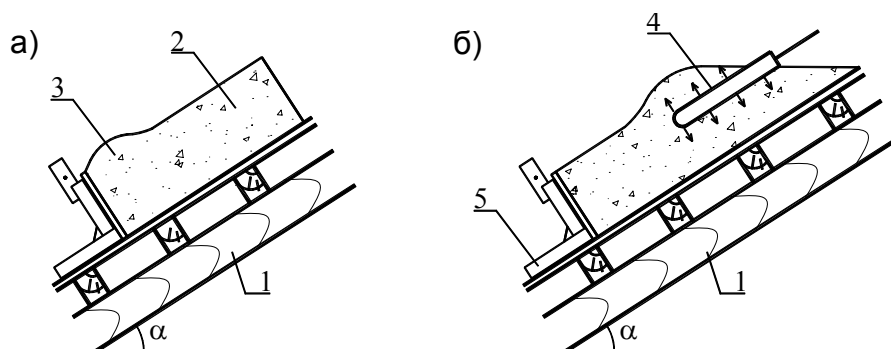
1 – бетонная смесь; 2 – опалубка; 3 – палуба; 4 – тяг; 5 – плита-пригруз; 6 – вибратор

Рисунок 5 – Способы бетонирования наклонной плиты:
а, б – в односторонней опалубке; в – с использованием плиты-пригруза;
г – в двухсторонней опалубке

При бетонировании в односторонней опалубке угол ее наклона определяют из условия сохранения бетонной смесью требуемой геометрической формы. При использовании вибратора, в зоне вибрирования смесь разжижается, и возникают дефекты в виде наплывов. В таких случаях в зоне вибрирования рекомендуется прикладывать плиту-пригруз (см. рис. 5в). При невозможности обеспечения неизменяемости формы бетонлируемого перекрытия устраивают двухстороннюю опалубку (см. рис. 5г).

При бетонировании в односторонней опалубке могут возникнуть дефекты в виде потери бетонной смесью геометрической формы.

Выпучивание бетонного массива в зоне бортовой опалубки или рабочего шва может происходить за счет потери устойчивости бетонной смеси (рис. 6а). При использовании вибратора, в зоне вибрирования смесь разжижается, и что также может привести к дефектам в виде наплывов смеси (рис. 6б).



1 – опалубка; 2 – бетонная смесь; 3 – зона выпучивания;
4 – вибратор; 5 – бортовая опалубка

Рисунок 6 – Виды потери формоустойчивости бетонной смеси:
а – выпучивание бетонного массива в зоне бортовой опалубки;
б – наплыв в зоне вибрирования

Ранее нами исследованы вопросы бетонирования на наклонной опалубке без бортовой опалубки из условия возможного проскальзывания всего бетонного массива [6]. Предельный угол наклона опалубки α , определенный из условия возможного проскальзывания бетонного массива, составляет

$$\alpha > \arcsin \frac{\frac{\tau_{о.п.с}}{\gamma_{см} \cdot a} + \mu \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\tau_{о.п.с}}{\gamma_{см} \cdot a}\right)^2} + \mu^2}{1 + \mu^2} . \quad (17)$$

где a – толщина слоя бетонной смеси;

μ – коэффициент внешнего трения бетонной смеси с опалубкой.

При применении высокоподвижных и литых смесей коэффициент трения имеет небольшое значение, и им можно пренебречь, тогда формула (17) принимает вид

$$\alpha > \arcsin \left[\frac{\tau_{о.п.с}}{\gamma_{см} \cdot a} \right] . \quad (18)$$

Предельное напряжение сдвига бетонной смеси в пристенном слое можно рассчитывать по эмпирической формуле С. Моринаги [7] в зависимости от подвижности самой смеси

$$\tau_{о.п.с} = 100 \cdot (3 - 0.1 \cdot OK) , \text{ Па} . \quad (19)$$

где OK – подвижность смеси, см.

Коэффициент трения для гладкой опалубки принимаем по данным исследований Шпехта [8] (табл. 1).

Таблица 1

Консистенция бетонной смеси по [8]	Коэффициент трения	
	Без учета вибрации	С учетом вибрации
Жесткая	0,3	0,19
Пластичная	0,3	0,15
Мягкая	0,17	0

Анализ полученных зависимостей показывает, что предельный угол наклона опалубки колеблется от 13 до 25° при толщине бетонного слоя от 100 до 300 мм.

Согласно нормативным документам Великобритании [9] для любых смесей двухсторонняя опалубка применяется при углах $\alpha > 15^\circ$.

Рассмотрены вопросы потери устойчивости бетонной смеси в зоне рабочего шва или бортовой опалубки. Дифференциальное уравнение равновесия элементарного объема бетонной смеси на наклонной поверхности (рис. 7) имеет вид

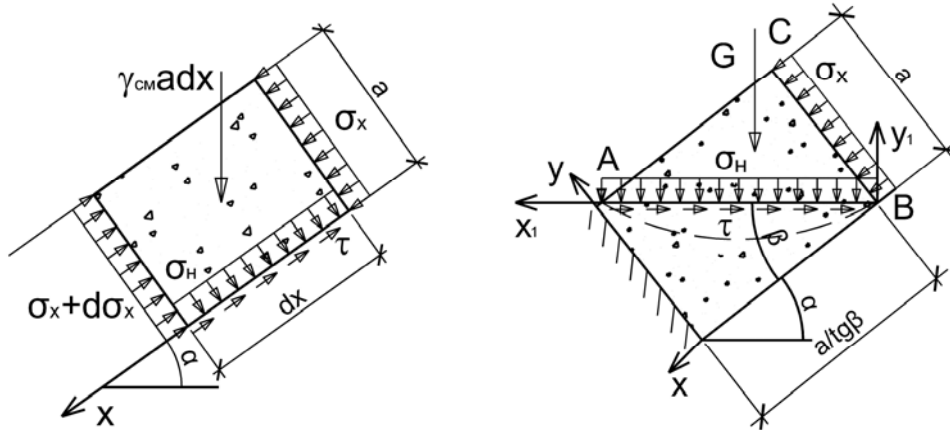


Рисунок 7 – Расчетная схема по определению сдвига бетонной смеси в зоне бортовой опалубки

$$\frac{d\sigma_x}{dx} + K \cdot \sigma_x + Z = 0, \quad (20)$$

где

$$Z = \frac{\tau_{o.п.с} + \mu \cdot \gamma_{см} \cdot a \cdot \cos \alpha}{a} - \gamma_{см} \cdot \sin \alpha, \quad (21)$$

$$K = \frac{\mu}{a \cdot \xi}. \quad (22)$$

Интегрируя уравнение (20) при граничных условиях $x=0, \sigma_x=0$, получаем выражение для расчета величины давления бетонной смеси σ_x в любой точке наклонной опалубки

$$\sigma_x = K \cdot (e^{-Z \cdot x} - 1). \quad (23)$$

Максимальную длину бетонирования наклонного перекрытия из условия обеспечения формоустойчивости бетонной смеси в зоне бортовой опалубки, определяют по следующей формуле:

$$x = -\ln(\sigma_x / Z + 1) / K, \quad (24)$$

$$\sigma_x = \frac{2 \cdot \tau_{o.см} \cdot a - \gamma_{см} \cdot a^2 \cdot [\cos \beta \cdot \sin(\alpha - \beta) - \mu \cdot \cos(\alpha - \beta)]}{2 \cdot a \cdot \sin \beta \cdot (\cos \beta - \mu \cdot \sin \beta)}, \quad (25)$$

где $\tau_{o.см}$ – предельное напряжение бетонной смеси в объеме.

Использование плиты-пригруза позволяет расширить область применения односторонней опалубки при возведении наклонных плит. Плита-пригруз в процессе бетонирования перемещается вверх и предотвращает потерю равновесия бетонной смеси в зонах вибрирования и в зонах рабочего шва. При бетонировании наклонной плиты с использованием плиты-пригруза могут возникать следующие виды потери формоустойчивости бетонной смеси: выпучивание бетонного массива за пределами плиты-пригруза и всплытие плиты-пригруза из-за недостаточного веса самой плиты (рис. 8)

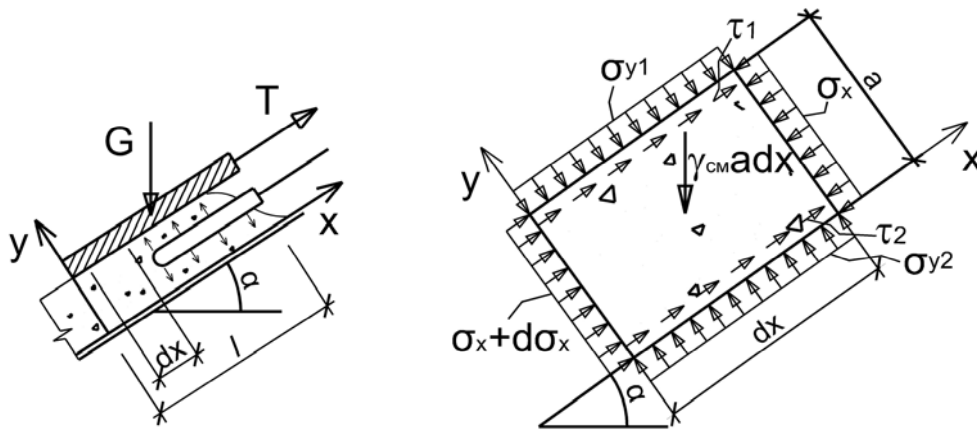


Рисунок 8 – Равновесие элементарного объема бетонной смеси, находящейся под плитой-пригрузом

Величину давления пригруза p , обеспечивающую формоустойчивость бетонной смеси, определяют по следующей формуле [10]:

$$p = \frac{k \cdot [2 \cdot \tau_{o.n.c} + \gamma_{cm} \cdot a \cdot (\mu \cdot \cos \alpha - \sin \alpha)] \cdot (e^{Z(l-x)} - 1)}{[\xi \cdot a - 2 \cdot k \cdot \mu \cdot (e^{Z(l-x)} - 1)] \cdot \cos \alpha}, \quad (26)$$

где k – коэффициент запаса;

$$\xi = \frac{\sigma_x}{\sigma_y}. \quad (27)$$

Таким образом, можно сделать вывод, что область применения плиты-пригруза при бетонировании наклонного перекрытия зависит от угла наклона опалубки, длины захватки, толщины перекрытия и реологических параметров бетонной смеси.

4. Опалубочная технология возведения каркасных зданий

Основу разработанной нами интенсивной технологии строительства составляют сами опалубки, а также разработанные технологические основы и принципы опалубки различных типов конструкций и зданий, каскадная технология, технологические параметры бетонирования, технологии раскладки опалубки и т.п. Речь идет о достижении темпов возведения зданий в 3-4 этажа в месяц.

Лучшими показателями технологичности обладают каркасные системы с монолитными перекрытиями. Для этих типов зданий разработаны несколько вариантов опалубочной технологии. Темпы и сроки строительства таких зданий определяются интенсивностью возведения монолитных перекрытий. При выборе технологической захватки необходимо учитывать возможность устройства технологических швов в перекрытии, равномерную разбивку на захватки по диафрагмам жесткости, лифтовым шахтам и колоннам [11].

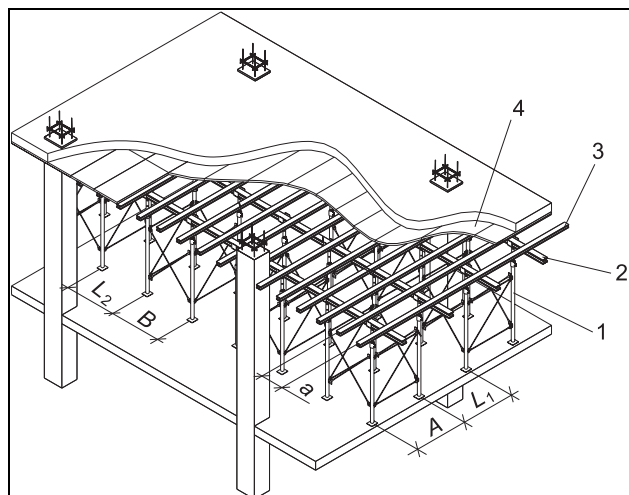
Возведение монолитных перекрытий каркасного здания осуществляется с помощью следующих опалубочных систем [12]:

- опалубка перекрытий на основе телескопических стоек;
- опалубка перекрытий на основе опорных башен;
- опалубка-стол.

Пример расчета параметров опалубки перекрытия на основе опорных башен приведен в таблице 2.

Сборно-монолитные каркасные здания выполняют из несущего железобетонного каркаса, включающего плоский диск перекрытия на основе многопустотных плит перекрытия, несущих и связевых монолитных ригелей, а также колонн, диафрагм жесткости и конструкций лестнично-лифтового блока. Наружные и внутренние стены и перегородки выполняют поэтажно опертыми. Колонны, диафрагмы жесткости, стены лестнично-лифтового блока, лестничные марши и площадки выполняют в сборном или монолитном исполнении.

Таблица 2 – Расчет параметров опалубки перекрытия на основе опорных башен



- 1 – опорная башня $A \times B$ (1500×1500);
- 2 – несущая двутавровая балка 200 мм;
- 3 – распределительная двутавровая балка 160 мм;
- 4 – водостойкая фанера $d = 21$ мм

Толщина перекрытия δ , мм	Суммарная нормативная нагрузка p , кН/м ²	Шаг распределительных балок a , мм	Опорная башня $A \times B$, мм	Шаг башен в направлении несущих балок L_1 , мм	Шаг башен в направлении распределительных балок L_2 , мм	Расчетная нагрузка на стойку N_d , кН
100	4,5	650	1500×1500	2150	2400	16
120	5	650		2100	2350	17,3
140	5,5	600		2050	2250	18,3
160	6	600		2000	2200	19,4
180	6,5	550		2000	2150	20,8
200	7,1	550		1950	2100	22
220	7,6	550		1900	2050	22,9
240	8,1	550		1850	2000	23,7
250	8,4	500		1900	1950	24,6
300	9,7	500		1800	1500	24
350	11,3	500		1750	1000	23
400	12,8	450		Использование не рекомендуется		
450	14,4	450				
500	16	450				

Предложенная Институтом БелНИИС технология, успешно реализованная при строительстве десятков жилых и общественных зданий в Республике Беларусь и Российской Федерации (рисунок 9), отличается высокой технологической гибкостью, универсальностью и надежностью. Концепция опалубочной технологии включает: применение опорных башен из телескопических стоек с повышенной несущей способностью, устанавливаемых дискретно под несущие и связевые ригели и опираемые на нижележащий диск перекрытия; применение технологии ранней распалубки со страховочными стойками; использование наружных стен в качестве опалубки связевых ригелей; система рабочих площадок и т.д. На основании накопленного опыта нами разработан ТКП [13].



Рисунок 9 – Возведение сборно-монолитного перекрытия жилого дома

Для обеспечения единых нормативных требований к инвентарным деревянным опалубочным балкам нами был разработан СТБ [14], устанавливающий технические требования к инвентарным деревянным опалубочным балкам, а также методы их испытания нагружением, оценки прочности и жесткости. Стандарт предъявляет единые требования и критерии оценки к качеству исполнения, несущей способности и жесткости деревянных опалубочных балок, применяющихся на строительных объектах Республики Беларусь.

В развитие нормирования опалубочной техники нами разработан СТБ [15]. Тяжи опалубочные являются ответственными элементами опалубочной системы, воспринимающими боковое давление бетонной смеси и от прочности данного элемента опалубочной системы во многом зависит безопасность производства работ при бетонных работах.

Теория и практика создания опалубочных систем и технологий базируется на создании ровной прямолинейной поверхности бетона. По техническим показателям, считается более рациональным устранить местные углубления в бетоне от опалубки в сравнении с выступающими частями бетона. Если в первом случае местные углубления устраняют шпатлеванием, то во втором – необходимо стесывать или шлифовать выступы бетона, а затем их перетирать и шпатлевать.

Первый вариант явно предпочтителен. В разработанном техническом кодексе установившейся практики [16] нами предложено оценивать качество поверхности монолитного бетона по показателю прямолинейности поверхности, введено четыре класса, дана их количественная оценка, назначение этих классов и другие вопросы [17]. В нормативных документах Германии применяют пять классов ровности поверхности бетона, в США – три класса.

Требования к опалубочным системам, их правилам устройства при возведении монолитных железобетонных конструкций и распалубки устанавливаются по [12].

Разработанные нормативы гармонизированы с общеевропейскими стандартами, их внедрение и соблюдение их обязательных требований способствует повышению качества и безопасности выполнения опалубочных и бетонных работ при монолитном строительстве.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана технология бездефектного бетонирования стен с оконными проемообразователями, обеспечивающая качественное заполнение смесью опалубки и жесткую фиксацию проемообразователя в опалубке. Установлены причины образования наплывов бетона в зоне горизонтального рабочего шва бетонной стены.

2. Разработаны аналитические зависимости для расчета давления на наклонную опалубку стен при безвибрационной укладке высокоподвижных бетонных смесей.
3. Определены технологические параметры укладки бетонной смеси на наклонную опалубку перекрытия, обеспечивающие формоустойчивость смеси.
4. Установлены технологические параметры бетонирования наклонного перекрытия с применением плиты-пригруза.
5. Разработана интенсивная опалубочная технология возведения монолитных и сборно-монолитных каркасных зданий и нормативная документация на технологии и опалубочные системы, обеспечивающие темпы строительства 3-4 этажа в месяц.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Марковский М.Ф. Опалубка и технология возведения монолитных стен с оконными и дверными проеомобразователями//Проблемы технологии производства строительных материалов, изделий и конструкций, строительства зданий строительной отрасли: Материалы VIII Международного Научно-практического Семинара. – Мн.: Стринко, 2001, С. 311-316.
2. Марковский М.Ф. Моделирование и реологические расчеты опалубочных технологий интенсивного возведения монолитных конструкций зданий//Эффективные строительные материалы, конструкции и технологии: Сборник трудов Международной научно-практической конференции./Под ред.Блещика Н.П.-Мн., “Технопринт”, 2000. – С.177-192.
3. DIN 18218. Frischbetondruck auf lotrechte Schalungen. – № 9. – 1980.
4. Марковский М. Ф. Влияние интенсивности бетонирования и внутреннего вибрирования на боковое давление бетонной смеси на опалубку // Сборник трудов XVI международного научно-методического семинара “Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь”/Под общ. ред.П.С.Пойты, В.В.Тура.-Брест:БрГТУ, 2009, С.141-147.
5. Specht M. Der Frischbetondruck nach DIN 18218 – die Grundlagen und die wichtigsten Festlegungen // Bautechnik (58), 1981. - № 8. – S. 253 – 261.
6. Касабуцкий С.М., Марковский М.Ф. К вопросу о бетонировании наклонного перекрытия в опалубке.// Проблемы технологии производства строительных материалов, изделий и конструкций, строительства зданий строительной отрасли: Материалы VIII Международного Научно-практического Семинара. – Мн.: Стринко, 2001, с 288-293.
7. Morinaga S. Pumpability of Concrete and Pumping Pressure in Pipelines // RILEM Seminar: Fresh Concrete, Univ. Leeds. Paper, 1973.
8. Шпехт М. Давление свежей бетонной смеси на наклонную поверхность опалубки// Beton – und Stahlbetonbau (Строительство из бетона и железобетона). 1975. №11.
9. Civil Engineer’s Reference Book/Ed. L. S. Blake.-4th ed.- Oxford: Butterworth-Heinemann, 1989. – 456 p.
10. Марковский М.Ф., Касабуцкий С.М. Формоустойчивость бетонной смеси при бетонировании наклонной монолитной плиты с использованием плиты-пригруза//ПРОБЛЕМЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ, ОРГАНИЗАЦИИ, ЭКОНОМИКИ И УПРАВЛЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: Сборник трудов международной научно-технической конференции. – Мн.: УП “ТЕХНОПРИНТ”, 2002, С.241-245.
11. ТКП 45-5.03-20-2006 Монолитные каркасные здания. Правила возведения
12. ТКП 45-5.03-23-2006 Опалубочные системы. Правила устройства
13. ТКП 45-5.03-215-2010 Сборно-монолитные каркасные здания. Правила возведения
14. СТБ 2131-2010 Балки опалубочные деревянные. Технические условия
15. СТБ 2130-2010 Тяжи опалубочные. Технические условия
16. ТКП 45-5.03-131-2009 Монолитные бетонные и железобетонные конструкции. Правила возведения
17. Марковский М.Ф. Интенсивные опалубочные технологии возведения монолитных каркасных многоэтажных зданий//Строительная наука и техника-2010-№6 (33)-С.4-13.