

УДК 66.97:532.135(069)

Геннадий Филиппович КУРОЧКИН,  
Министр архитектуры  
и строительства  
Республики Беларусь

Михаил Филиппович  
МАРКОВСКИЙ,  
кандидат технических наук,  
директор УП "Институт БелНИИС"

TECHNOLOGY  
OF ERECTING  
CAST-IN-SITU  
CONSTRUCTIONS  
OF THE NATIONAL  
LIBRARY  
OF THE REPUBLIC  
OF BELARUS

# ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ БИБЛИОТЕКИ БЕЛАРУСИ

*Рассмотрены вопросы технологии возведения монолитных конструкций Национальной библиотеки Беларуси. Освещены вопросы научного сопровождения по технологии установки опалубочных систем, производству бетонных работ в летних и зимних условиях, отражены аспекты ранней распалубки конструкций с применением страховочных элементов опалубки. Приведены результаты разработки наиболее эффективных технологий, отличающихся новизной и оригинальностью.*

*The technological problems in erecting the cast-in-situ constructions of the National Library of the Republic of Belarus have been considered. The problems of scientific support on the technology of formwork system erection and execution of concrete works during summer and winter period are discussed, the aspects of early form removal using the safety elements of the formwork are presented. The results of the development of the most effective technologies featuring novelty and originality are given.*

## ВВЕДЕНИЕ

В Республике Беларусь за последние годы сделаны заметные, порой весьма ощутимые, шаги в области монолитного бетона. Повсеместное применение монолитного железобетона в современном строительстве каркасных и бескаркасных жилых зданий стало реальностью и показывает высокую технологическую эффективность при круглогодичном ведении работ. Можно констатировать, что психологический барьер у проектировщиков и строителей по отношению к монолитному бетону, его качеству и особенно зимнему бетонированию практически преодолен. В немалой степени этому способствовали выполняемые в институте БелНИИС по заданию Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь в рамках научно-технических программ научно-исследовательские и внедренческие работы по созданию отечественных конкурентоспособных опалубочных систем, опалубочных технологий интенсивного строительства различных зданий, всепогодных технологий монолитного бетона с применением современных модифицированных бетонов, энергосберегающих технологий бетонирования, обеспечивающих высокое качество и заданные темпы строительства. Строители получили конкурентоспособные технологии строительства из монолитного бетона, обеспечивающие темпы строительства до двух, трех, а в ряде случаев и до четырех этажей жилых зданий в месяц. В институте накоплен значительный опыт разработки и внедрения опалубочных технологий возведения монолитных конструкций на стройках Беларуси и России, включая и г. Москву [1, 2]. К таким объектам следует отнести уникальное здание Кафедрального Собора Христа Спасителя в г. Калининграде [3].

Не случайно в последнее время взоры архитекторов и проектировщиков обращены к конструкциям

из монолитного железобетона, позволяющего реализовать смелые замыслы возведения объектов со сложными архитектурными формами. Ярким примером тому является здание Национальной библиотеки Беларуси, где конструктивное воплощение архитектурных идей выполнено полностью из монолитного железобетонного каркаса. В этом объекте сошлись идеи архитекторов, конструкторов и технологов. И от того, насколько они органично совмещались или входили в противоречие между собой зависел конечный результат — построить здание библиотеки качественно и в сжатые директивные сроки. Проектирование и строительство столь уникального и сложного объекта настолько многогранно, что к его опыту и особенностям на страницах авторитетных научных изданий будут обращаться не раз и архитекторы, и конструкторы, и технологи, и многие другие специалисты, задействованные в реализации столь масштабного объекта. В статье продолжается цикл публикаций, касающихся только разработки и реализации новых концептуальных технологий строительства монолитных конструкций рассматриваемого объекта, опалубочных технологий и технологии бетонирования модифицированными бетонами. Мы надеемся, что как положительный опыт строительства, так и неизбежные в таких случаях поиски оптимальных решений и отдельные недочеты окажут неоценимую помощь в организационно-техническом плане при реализации в будущем аналогичных уникальных объектов в нашей стране. Весьма поучителен и опыт научного сопровождения строительства, который впервые реализован под руководством Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь. Прикладная строительная наука сказала веское слово и на опыте возведения этого объекта подтвердила тот факт, что в нынешних условиях наука является производительной силой.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ВОЗВЕДЕНИЯ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В зарубежной практике к строительству сложных и уникальных объектов из монолитного бетона привлекаются, как правило, ведущие фирмы, занимающиеся технологиями строительства с применением современных опалубочных систем [4]. При этом практикуются два принципиально различных подхода к выбору технологии. Суть первого подхода состоит в том, что во главу угла принимается архитектурная идея, и задача технологов-опалубщиков заключается в реализации этой идеи, независимо от ее стоимости. Стоимость проекта и сроки его исполнения уходят на второй план. В этом случае имеет место применение "архитектурного" бетона с его высокими издержками. Как правило, этот подход применяют для ярко выраженных архитектурных объектов с лицевым "архитектурным" бетоном. Второй подход, более прагматичный в выборе технологии возведения монолитных конструкций, базируется на учете технологичности конструкций, от которой зависит не только стоимость, но и сроки возведения, и качество самих конструкций [5]. Здесь главенствующая роль принадлежит опалубочным технологиям.

Первый подход, как правило, характерен при разработке технологии строительства для объекта, имеющего готовую проектную документацию. Наилучших результатов достигают при проектировании монолитных конструкций и параллельно при разработке технологий их возведения. Примером тому может служить опыт австрийской фирмы при строительстве Белорусского металлургического завода в г Жлобине.

27-этажный каркас здания высотного книгохранилища Национальной библиотеки совместно с лестнично-лифтовым блоком является самым сложным с точки зрения технологии возведения. Следует отметить такие конструктивные элементы: криволинейные в плане стены; расширяющийся сверху каркас здания; сужающийся каркас; переменная высота этажей в нижней части; сталежелезобетонные конструкции; ядро жесткости сложной формы и т. п. Примаыкающий к высотному книгохранилищу стилобат также изобилует сложными формами конструкций. Установленные директивные сроки возведения объекта вместе с отделкой — 32 месяца при нормативном сроке в 71 месяц — требовали применения скоростных технологий строительства монолитных конструкций и непрерывного ведения бетонных работ.

Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь поручило специалистам института БелНИИС вести научное сопровождение строительства библиотеки, целью которого являлась разработка и внедрение новых технологий возведения монолитных конструкций, обеспечивающих завершение строительства всего комплекса в заданные сжатые директивные сроки (научные руководители: канд. техн. наук Марковский М.Ф., д-р техн. наук, проф. Блещик Н.П.). В нашей стране практически впервые было поручено строительной науке вести научное сопровождение строительства столь сложного объекта. Опыт привлечения коллектива ученых и специалистов для решения сложных инженерно-технологических задач себя полностью оправдывает и нам представляется целесообразным в дальнейшем в нормативные документы и рекомендации внедрять термин "научное сопровождение" при возведении высотных, уникальных и других объектов.

Российский опыт научно-технического сопровождения высотного и уникального домостроения в Москве [6] в основном ограничивается пассивной ролью на стадии строительства, такой как выборочный входной контроль за строительными материалами, контроль за уплотнением грунтов, геотехнический мониторинг; контроль качества работ,

оказание помощи в разработке проектов производства работ, проведение обследования технического состояния возведенных конструкций, проведение испытания строительных конструкций, изоляционных материалов и других работ. Научное сопровождение строительства по аналогии с российским опытом наделяется не только пассивной, что тоже немаловажно, но и активной ролью. Институту было поручено разработать следующие мероприятия:

- выработка концептуального подхода к выбору технологии производства работ с учетом заданных сроков строительства и опыта строительных организаций;

- выбор, обоснованность и разработка опалубочных технологий возведения монолитных конструкций высотного книгохранилища и стилобата;

- определение всепогодных технологий монолитного бетона с применением модифицированных бетонных смесей, в том числе литых и самоуплотняющихся;

- разработка уникальных технологий возведения расширяющихся монолитных конструкций, не имеющих аналогов в мире;

- расчет и прогноз осадок высотного книгохранилища на стадии возведения и загрузки его проектными нагрузками;

- выполнение акустических расчетов актового и переговорных залов;

- научно-техническая оценка по применению новых отделочных материалов, наливных и теплых полов и т. д.

Как видим, круг вопросов, требующих решения в рамках научного сопровождения, весьма широк.

Важной частью проектирования высотных сооружений сложной формы и их комплексов является технологическая схема возведения здания, позволяющая определить оптимальные поточные решения, последовательность и методы строительства монолитного каркаса. Для обеспечения высоких темпов строительства следует применять наиболее эффективные:

- опалубочные системы, машины и механизмы для подачи и укладки бетонных смесей;

- средства технологического обеспечения работ;

- способы для интенсивного набора бетоном распалубочной прочности;

- методы для обеспечения качества и безопасности работ.

Наиболее полно эти все требования реализуются в точном строительстве.

На начальном этапе необходимо было концептуально определиться с технологией возведения монолитного каркаса, поскольку проектной организацией рассматривалась так называемая технология строительства "сверху-вниз", суть которой заключалась в следующем:

- возводятся центральное ядро и диафрагма жесткости на всю высоту здания 72,6 м;

- далее возводятся перекрытия с колоннами, начиная с верхних этажей.

При такой технологии возникает сомнение в возможности ее реализации по следующим причинам:

- для возведения монолитных перекрытий потребовалась бы опорная система высотой до 70 м;

- отсутствовала опалубочная технология возведения "висячих вниз" монолитных колонн, ригелей и т. д.;

- неимоверно высокая трудоемкость опалубочных, бетонных и арматурных работ, поскольку ограничена или вообще отсутствует доступность монтажного крана в рабочих зонах под уже возведенными сверху перекрытиями;

- весьма остро вставала проблема обеспечения безопасности ведения работ на высоте;

- возведение монолитного каркаса препятствовало бы производству работ по стилобату в зоне примыкания к высотному книгохранилищу;

— количество и стоимость опалубочных систем значительно возрастало бы, что привело бы к удорожанию работ и т. д.

Минстройархитектуры Республики Беларусь подержало концепцию возведения здания "снизу-вверх", разработанную специалистами института БелНИИС. Концепция базируется на следующих принципах [7]:

1) конструктивное решение каркаса должно обеспечивать возведение здания "снизу-вверх" отработанными опалубочными технологиями, при которых нижележащие возведенные конструкции являются опорами опалубки вышележащих конструкций;

2) особое внимание должно уделяться технологичности проектных конструктивных решений. Технологичность подразумевает геометрические формы конструкций, узлы примыканий, армирование, возможность устройства технологических швов, распалубочную прочность, технологические проемы и т. п.;

3) применение современных опалубочных систем, без которых возведение монолитных конструкций просто невозможно. Объект характеризуется большим разнообразием форм конструкций и требует применения различных опалубочных систем, таких как: опалубка прямолинейных стен; опалубка криволинейных стен с различными радиусами изгиба; опалубка прямоугольных и круглых колонн; опалубка перекрытий с различной высотой опорной системы; опалубка шахт лифтов; опалубка монолитных перекрестных балок; опалубка круглых ядер жесткости и т. п.

Разработанная в начале строительства (2003 г.) концепция технологии возведения монолитных конструкций впоследствии полностью подтвердила свою жизнеспособность при реализации проекта. Следует заметить, что строительство и проектирование велись параллельно. Сделанная в этот период прогнозная оценка возможности в срок завершить строительство, основанная лишь на анализе архитектурно-конструктивных схем монолитного каркаса, оказалась весьма близкой к реальности. В то же время в ходе проектирования каркаса его отдельные конструктивные формы претерпевали изменения в сторону усложнения, что приводило к повышению трудоемкости опалубочных, арматурных и бетонных работ. Но это естественный процесс параллельного проектирования.

**ОПАЛУБОЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗВЕДЕНИЯ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НУЛЕВОГО ЦИКЛА**

Монолитный фундамент сооружения имеет сложную форму в плане и включает саму плиту и два этажа стеновых конструкций с монолитными перекрытиями. Стены имеют контурное криволинейное очертание, присутствуют пересечения и примыкания стен под различными углами и имеет место переменная высота стен. При выборе опалубки и опалубочных технологий необходимо исходить из следующих принципов [8]:

— высокие темпы строительства диктуют применение параллельных потоков с соответствующим количеством опалубки;

— комплекты опалубки должны выбираться с учетом возможности возведения высотного книгохранилища, поскольку этот участок комплекса зданий библиотеки является ведущим и расположен на критическом пути строительства;

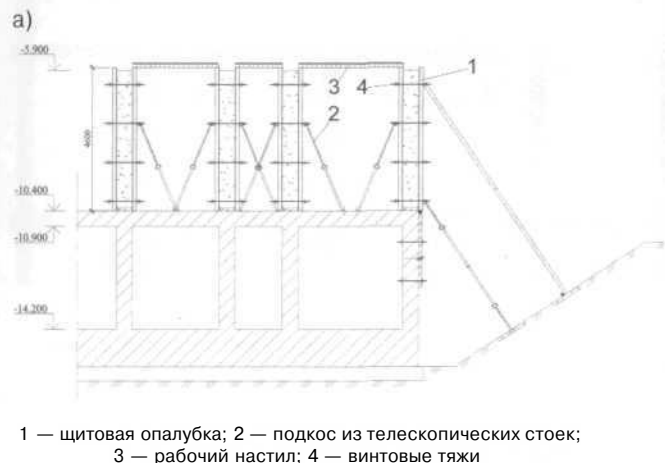
— опалубка должна использоваться на объекте многократно, что обеспечивает ее оборачиваемость и экономическую эффективность применения;

— опалубка должна быть легко перемонтируемой под реальные конструкции объекта;

— опалубочная технология должна обеспечивать качество возводимых конструкций.

Для возведения коробчатого фундамента были предложены и реализованы технологии возведения стен в щитовых опалубках и балочно-стоечная опалубка для перекрытия. Для обеспечения доступа в рабочие зоны предложено устраивать технологические проемы в монолитном перекрытии и стенах фундамента. Минимальные размеры проемов определены из эргономических условий перемещения рабочих и опалубки. Это позволило отказаться от применения "оставляемой" опалубки перекрытия.

Учитывая сложные формы стен и их пересечений, применена индивидуальная дерево-фанерная опалубка с надежным крепежом. Конструкция щита, размещение тяжей и замков определены из расчета распорных давлений бетонной смеси по высоте на опалубку. Выверка и крепление опалубки по высоте щита производились телескопическими стойками (рисунок 1). Изготовление опалубки по документации института БелНИИС выполнено ОАО "Минскпромстрой". Такое решение позволило отказаться от дополнительной комплектации объекта импортной опалубкой специ-



**Рисунок 1. Возведение монолитных стен подвала:**

**а** — возведение 2-го яруса;  
**б** — общий вид опалубки

ально для криволинейного фундамента. Возведение фундаментов в плане выполнено по технологическим захваткам с устройством организованных рабочих швов. Возведение монолитных конструкций легло на плечи строительных организаций г. Минска, таких как ЗАО "Стройтрест № 7", ОАО "Минскпромстрой" и ПКУП "Монолит".

Возведение центрального ядра жесткости и лестнично-лифтового блока было выделено в специализированные потоки. Комплектация и выбор опалубки производились на тендерной основе. Учитывая неизменяемость в плане ядра жесткости и лестнично-лифтового блока, опалубка для них комплектовалась на этапе возведения коробчатого фундамента. Комплект опалубки включал опалубку круглых стен с малым радиусом изгиба и щитовую опалубку. Комплект стеновой опалубки рассчитывался из условия возведения диафрагмы жесткости типового этажа высотного книгохранилища, что обеспечило эффективность и многократную оборачиваемость опалубки на объекте (рисунок 2). Переменные высоты этажей потребовали применения дополнительного комплекта для наращивания щитов по высоте как для прямых, так и для круглых стен.

Сложнее обстояли дела с устройством монолитных перекрытий или перекрестных балок при переменной высоте опирания. Отдельные телескопические стойки не решают проблемы опирания опалубки для таких случаев. Поэтому были применены технологии опалубки монолитных перекрестных балок с использованием опорных башен, обладающих повышенной несущей способностью и устойчивостью при сборке опалубки. Схема опалубки перекрестных балок на отметке минус 3.200 приведена на рисунке 3. По аналогии решены вопросы опалубки монолитной плиты перекрытия на отметке ±0.000 (рисунок 4).

Монолитные конструкции характеризуются повышенным расходом арматуры. Вопросы индустриализации арматурных работ стояли весьма остро. Для монолитных плит перекрытия была применена технология вязки арматуры. Применение сварных каркасов не всегда себя оправдывает и во многих случаях технологически несовместимо с опалубочными работами.

Опыт строительных организаций по технологии монолитного бетона имеет важное значение, которое проявляется на начальном этапе. В рассматриваемый период производительность труда на бетонных работах в ОАО "Минскпромстрой" превышала такой же показатель в других организациях в 1,5—2 раза. Этот период можно кратко охарактеризовать как период освоения технологии бетона с применением индустриальных опалубочных систем, период приобретения навыков.

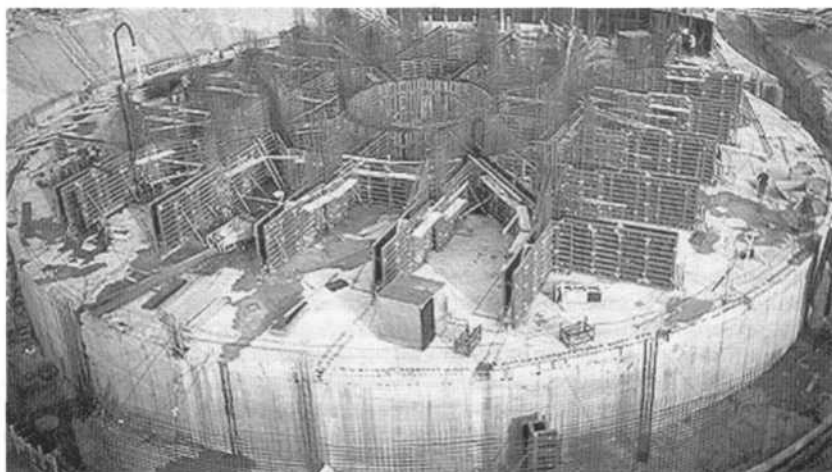
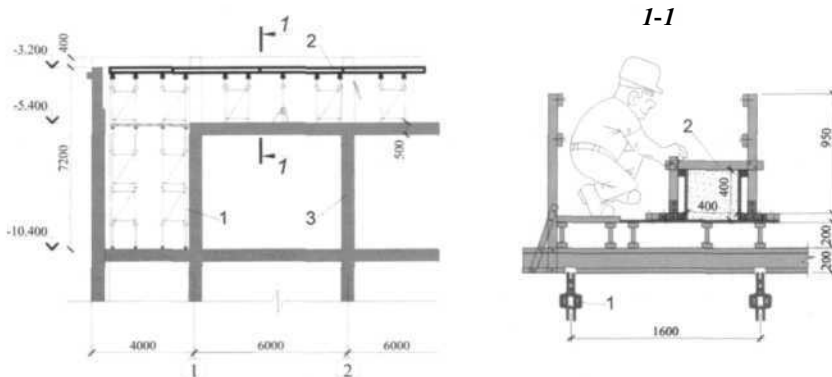
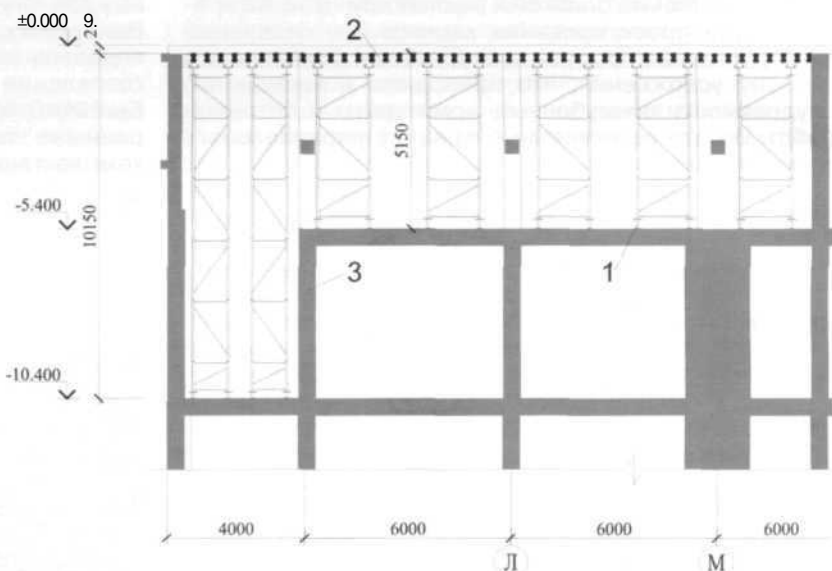


Рисунок 2. Возведение монолитных стен подвала



1 — опорная система из башен; 2 — опалубка монолитных балок; 3 — забетонированные конструкции

Рисунок 3. Схема опалубки перекрестных монолитных балок на отметке минус 3.200



1 — опорная система из башен; 2 — опалубка перекрытия; 3 — забетонированная конструкция

Рисунок 4. Схема опалубки монолитного перекрытия на отметке 0.000

**ТЕХНОЛОГИИ ВОЗВЕДЕНИЯ КРУГЛЫХ СТЕН**

Одними из сложных конструктивных элементов, потребовавших применения специализированных опалубочных технологий, являются круглая контурная стена атриума высотой около 12 м и круглые стены лестнично-лифтового блока. Радиус круглой стены атриума составляет 28 м, радиус стен лифтового блока — 5 м. Подробно изложить технологии возведения всех круглых стен не представляется возможным, поэтому остановимся лишь на наиболее интересных с практической точки зрения.

Отсутствие точек опоры для подкосов опалубки, наличие выступающих за грань стены атриума круглых колонн, проемы больших размеров в стене и необходимость поярусного возведения стены по высоте — вот некоторые из проблемных вопросов, усложнявших работу.

Был предложен и реализован ряд конструктивно-технологических изменений, направленных на создание надежной и реальной технологии. Суть предложений следующая:

- для возведения круглых колонн в самой стене необходимо использовать несъемную опалубку из стальных труб;

- колонны в несъемной опалубке возводятся отдельным опережающим потоком с их точной выверкой по высоте;

- криволинейные стены возводятся между колоннами в щитовой опалубке криволинейных стен. При этом ранее возведенные колонны являются надежными точками опирания и выверки опалубки по высоте;

- применяются геометрически неизменяемые индивидуальные проеомообразователи конструкции института БелНИИС;

- заменяется конструкция выступающих бетонных консолей на закладные детали и т. п.

Технология была успешно реализована на практике (рисунок 5), обеспечив формоустойчивость на стадии укладки бетона.

Возведение лестнично-лифтового блока было выделено в специализированный поток и выполнялось опытными бетонщиками ОАО "Минскпромстрой", что и позволило опережающими темпами вести строительство этого сооружения. Комплект опалубки включал опалубку круглых стен с малым радиусом изгиба 5 м, силовые подмости, навешиваемые на закладные анкера в бетон, блок шахты лифтов, комплект опалубки перекрытий и лестницы (рисунок 6). Выверка опалубки по высоте производилась поярусно с применением геодезического контроля. Отсутствие вспомогательной площадки для складирования арматуры еще более осложняло ход работы. Накопленный опыт возведения ствола лестничного блока, несомненно, пригодится в будущем для возведения башенных сооружений.

Бетонирование опорного контурного кольца по круглой стене стилобата можно отнести к сложным технологиям, поскольку отсутствовали надежные точки опоры опалубки и подмостей. Пришлось создавать эти точки опоры различными способами (рисунок 7), используя и наращивание опор-



Рисунок 5. Опалубливание **круглой монолитной стены** с проеомообразователями

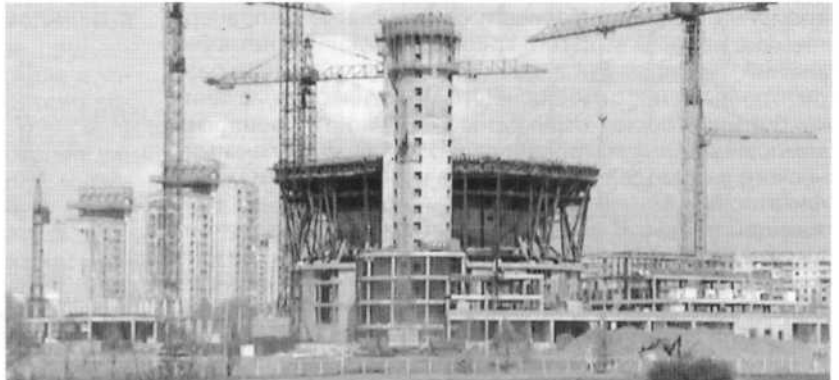


Рисунок 6. Возведение лестнично-лифтового блока в специализированной опалубке

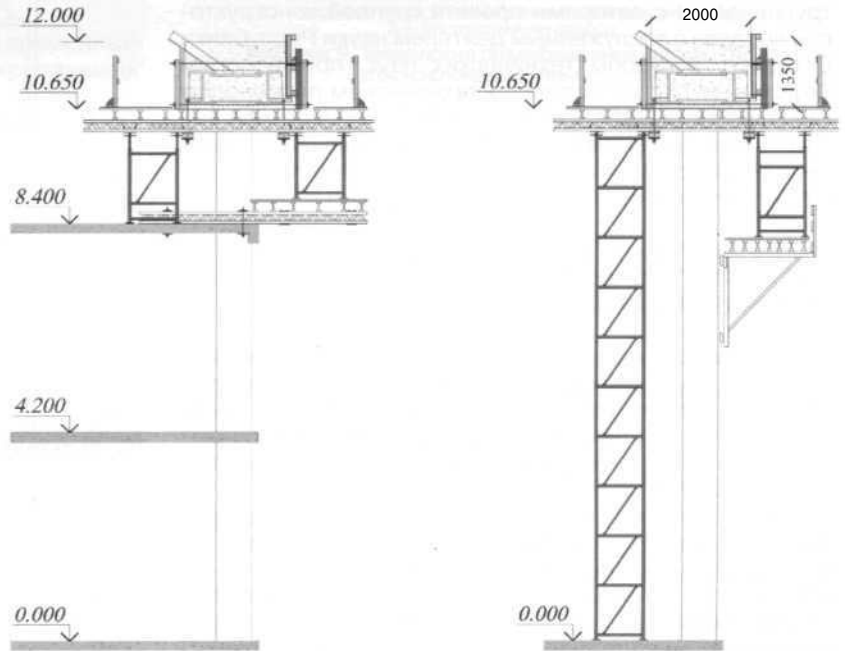


Рисунок 7. Схема опалубливания опорного кольца круглой стены атриума

ных башен, навесные подмости, анкеровку консольных опалубочных балок и другие приемы в зависимости от зоны расположения балки по стене. С целью обеспечения гарантированного заполнения полостей стапелжелезобетонных балок бетонной смесью были внесены технологические изменения в конструкцию самих балок. Опалубочная технология, технология бетонирования и прогрева бетона в зимних условиях обеспечили качественное выполнение работ.



**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ  
БЕТОНИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ  
МОДИФИЦИРОВАННЫХ БЕТОНОВ**

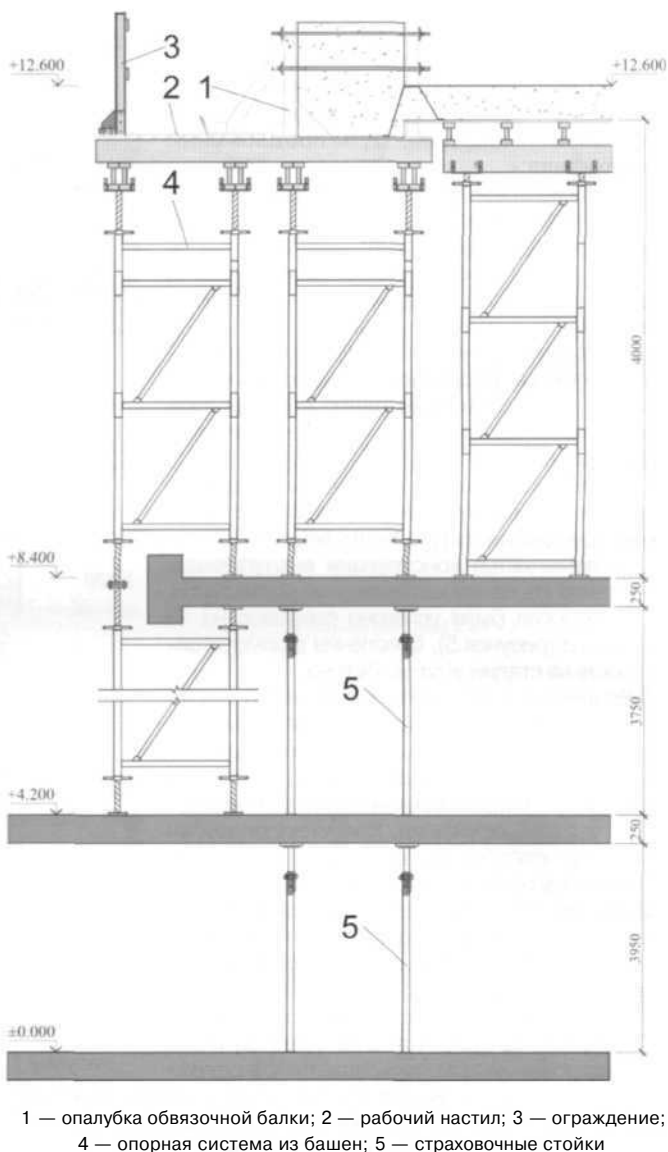
Технология бетонирования, модифицированные бетонные смеси, включая литые и самоуплотняющиеся, технологические режимы выдерживания и ухода за бетоном, технологии зимнего бетонирования и многие другие вопросы успешно решались в институте БелНИИС под научным руководством заслуженного деятеля науки Республики Беларусь, доктора технических наук, профессора Блещика Н.П. [9]. В соответствии с напряженным графиком выполнения проектных работ разрабатывались композиции бетона для возведения несущих конструкций с учетом обеспечения интенсивной укладки бетонных смесей и достижения распалубочной и проектной прочности бетоном изделий. Одновременно разрабатывались и сокращенные малоэнергоемкие режимы выдерживания конструкций в летний и зимний периоды. Эти задачи решались на основе разработанных в институте основ технологической механики бетона, теории структурной прочности, реологии композиционных материалов, процессов физико-химического взаимодействия цемента с химическими модификаторами бетона при различных температурах окружающей среды. В процессе возведения железобетонных конструкций сотрудники отдела технологии бетона и растворов осуществляли непрерывный мониторинг за выполнением основных процессов производства бетонных работ, формированием структуры и основных физико-механических свойств бетона, проявлением силовых и температурно-влажностных деформаций. Научно-техническое сопровождение, выполняемое в тесном сотрудничестве с авторами проекта группой конструкторов во главе с заслуженным деятелем науки Республики Беларусь, доктором технических наук, профессором Пецольдом Т.М. и инженерно-техническим персоналом генподрядчика ЗАО "Стройтрест № 7", обеспечило высокие темпы выполнения работ при возведении железобетонных несущих и ограждающих конструкций с современным качеством и высокой надежностью.

**ОПАЛУБОЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗВЕДЕНИЯ  
МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ  
СЛОЖНОЙ ФОРМЫ**

По мере возведения очередного этажа монолитные конструкции каркаса приобретали все более сложные неповторимые формы. К ним можно отнести монолитное перекрытие с опорной балкой центрального ядра жесткости высотного книгохранилища на отметке 12.600 м. Большие нагрузки от бетониремой конструкции потребовали их перераспределения на несколько нижележащих, ранее забетонированных, перекрытий (рисунок 8). При осуществлении этого процесса была применена разработанная ранее технология переопирания опалубки на нижележащие перекрытия с учетом технологических нагрузок и несущей способности самих перекрытий. Кроме этого была использована система опалубки перекрытия из опорных башен на большую высоту. Опалубливание контурной балки было выполнено из индивидуальных щитов с тяжами. Технологическое решение обеспечило качественное возведение наиболее ответственной опорной конструкции сооружения, на которую опирается центральное ядро жесткости всей высотной части.

Особо следует выделить опалубочную технологию возведения расширяющихся кверху (с 4 по 10) этажей с отрицательным наклоном под 45° (начиная с размеров 24x24 м и до 60x60 м).

Наклонные стены с большим углом наклона практически невозможно опалубить с применением подмостей, навешиваемых на стены. Весьма проблематично обеспечить формоустойчивость опалубки во время бетонирования и отведения нагрузки от стены на навешиваемые подмости [11]. Технология значительно усложняется ввиду отсутствия со стороны отрицательного наклона надежной опоры из бетонных конструкций, куда можно было бы отводить нагрузку от наклонной стены. При разработке этих технологий [10] еще раз подтвердился высокий профессионализм технологов института БелНИИС в сравнении с технологами признанной в мире фирмы ПЕРИ (Германия), специализирующейся на устройстве опалубочных систем.



**Рисунок 8. Схема опалубливания обвязочной балки и монолитного перекрытия на отметке 12.600 центрального ядра высотного книгохранилища**

Немецкие технологи предложили специальную наклонную опалубку, устанавливаемую на опорную систему лесов высотой до 18 м (рисунок 9). Нашими специалистами были высказаны серьезные замечания по опалубочной системе ПЕРИ и, особенно, по технологии переопирания лесов на нижележащее бетонное перекрытие. Кроме этого, при выборе технологии особо учитывались стоимостные показатели, вопросы безопасности монтажа на высоте и трудоемкость опалубочных работ. Институтом БелНИИС была разработана и реализована технология возведения наклонной стены, по техническим, технологическим и экономическим показателям намного превосходящая технологию немецкой фирмы. Технология опалубки наклонной стены включает (рисунок 10):

- применение комбинированной опалубки для стены, состоящей из наружной несъемной опалубки из оцинкованного профнастила и внутренней индивидуальной дерево-фанерной опалубки. Принципиальное предложение по возможности применения профнастила в качестве наружной несъемной опалубки выработано совместно с проектной организацией;

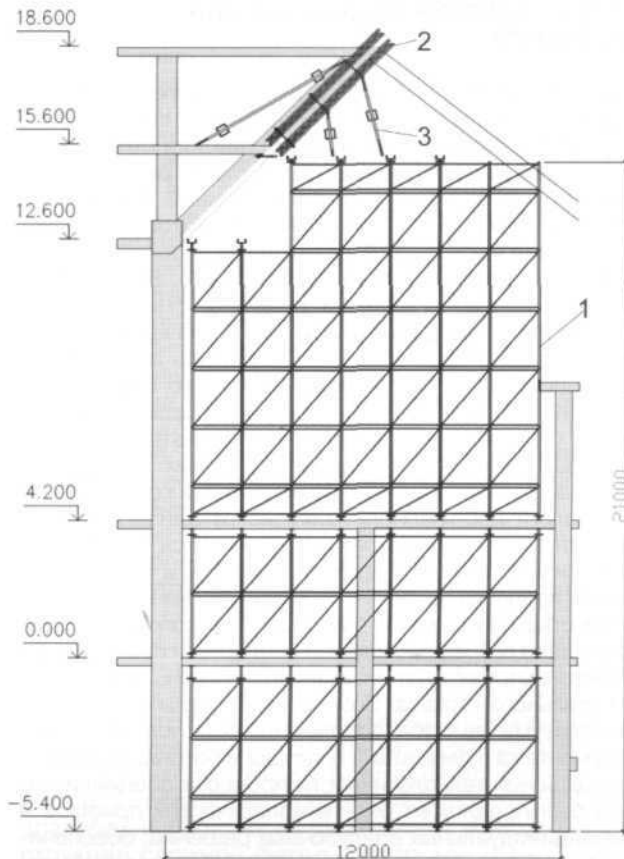
- для обеспечения возможности бетонирования литыми бетонными смесями и восприятия распорных давлений опалубкой выполнены теоретические и технологические расчеты по подбору сечения профнастила, дополнительного крепления опалубки анкерами. Несмотря на применение анкерного крепления профнастила, для обеспечения деформативности опалубки, не превышающей 1/400 пролета стены, бетонирование стены выполняли по ярусно в два этажа;

- крепление и фиксацию индивидуальной опалубки в проектном положении производили к стальным балкам и жесткой арматуре каркаса здания;

- по наружному контуру стены выполняли временный рабочий настил на стальных подвесах, прикрепляемых к постоянным опорным конструкциям.

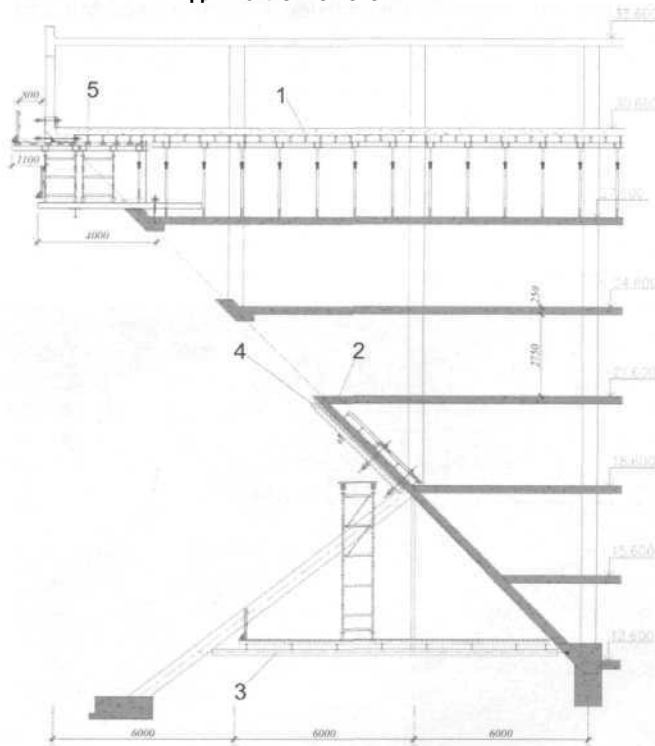
Даже внешнее сопоставление двух технологий и опалубок показывает, насколько эффективна отечественная разработка в сравнении с иностранной. Технология позволила полностью отказаться от импорта дорогостоящих лесов фирмы ПЕРИ, что дало возможность получить экономический эффект только от импортозамещения опалубки более 3 млн. евро.

Технология возведения консольной части каркаса на отметках от 21.600 до 30.600 м вообще не имеет аналогов. Отсутствие надежной опоры опалубки потребовало ее создания с помощью выносных опалубочных площадок и их анкерки к нижним забетонированным железобетонным конструкциям. Технологические расчеты показали, что при бетонировании мощной контурной балки на отметке 30.600 м возникает опрокидывающий момент на опалубку, что может привести к разрушению самой опалубки. Вопрос безопасности работ на высоте встал весьма остро. Было предложено и реализовано дополнительное анкерование опалубки перекрытия с помощью стальных тяжей. Успешная реализация совершенно новых технологий наклонных стен открыла путь к своевременному строительству типовых этажей. Временные подвесные площадки на отметке 12.600 м оказались столь удачными и полезными, что в дальнейшем использовались для демонтажа временных стальных конструкций, бетонирования дополнительных простенков по кольцевой балке, отделочных работ, устройства спайдерного остекления атриума и т. д. Демонтаж площадок был осуществлен лишь на заключительной ста-



1 — опорные леса; 2 — наклонная стенная опалубка; 3 — регулируемые подкосы

**Рисунок 9. Технология опалубки фирмы ПЕРИ для наклонной стены**



1 — монолитное перекрытие; 2 — наклонная монолитная плита; 3 — подвесная площадка; 4 — опалубка наклонной стены; 5 — консольная выступающая часть

**Рисунок 10. Технология опалубки УП "Институт БелНИИС" для наклонных стен**

**СКОРОСТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗВЕДЕНИЯ  
ТИПОВЫХ ЭТАЖЕЙ**

От темпов возведения типовых этажей и заключительного этапа на верхних сужающихся этажах зависела своевременность передачи монолитного каркаса под спайдерное остекление. Строительство двух этажей в месяц стало реальностью благодаря выбору и обоснованию оптимальной технологии опалубки. В отдельные технологические потоки были выделены центральное ядро с диафрагмами жесткости, колонны и перекрытие с контурной балкой (рисунок 11). Впервые на этом объекте применили технологию "опалубка-стол", что снизило трудоемкость ручных работ (рисунок 12). На критическом пути строительства типовых этажей находились арматурные работы, особенно сварочные, включая и ванную сварку. Дополнительную сложность при бетонировании создавали участки конструкций с насыщенной арматурой, что затрудняло уплотнение бетона. Применение высокоподвижных литых смесей позволило качественно забетонировать и эти конструкции.

Вопросы технологичности монолитных конструкций на протяжении всего строительства неоднократно поднимались и решались совместными усилиями ученых, проектировщиков и строителей. Технологичность процесса влияет не только на сроки и экономичность строительства, но и на качество монолитных конструкций. На завершающем этапе возведения здания библиотеки применялись сталежелезобетонные конструкции, в связи с чем речь шла об бетонировании стального каркаса. Возведенный стальной каркас с временными связями являлся дополнительным усложняющим фактором для монтажа и демонтажа опалубки и бетонирования.

С целью повышения технологичности процесса специалистами института был предложен ряд технологических приемов и специальных индивидуальных опалубочных решений, обеспечивающих заданные темпы строительства. Сложность геометрических форм монолитных конструкций и их пространственное взаиморасположение в верхней части наглядно подтверждается на рисунке 13. Сложнейший комплекс монолитных конструкций высотного книгохранилища был выполнен в срок и передан для спайдерного остекления (рисунок 14).

Строительная наука высококвалифицированно проводила научное сопровождение строительства, смело брала на себя решение сложнейших технологических проблем и эффективно их внедряла.

Не за горами строительство и других важнейших государственных объектов, таких как телевизионная башня высотой 425 м в г Минске, универсальный культурно-спортивный комплекс "Минск-Арена". Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь предполагает привлечь к научному сопровождению строительства этих и других новых объектов специалистов института БелНИИС.



**Рисунок 12. Строительство типовых этажей**



**Рисунок 13. Ажурные монолитные конструкции верхней части высотного книгохранилища**



**Рисунок 11. Опалубка ядра и диафрагм жесткости типового этажа**



**Рисунок 14. Общий вид монолитного каркаса**



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 Научное сопровождение строительства сложных и уникальных объектов позволяет разрабатывать и внедрять новые эффективные технологии строительства, осуществлять поиск оптимальных технологических решений, обеспечивающих высокие темпы строительства, качество работ и в конечном итоге снижение стоимости объекта. Прикладная строительная наука на опыте строительства Национальной библиотеки Беларуси подтвердила тот факт, что в нынешних условиях наука является производительной силой.

2 Разработана технология возведения сложных архитектурных форм высотного книгохранилища из монолитного железобетона с применением современных опалубочных систем и модифицированных бетонов, позволившая вести непрерывное производство бетонных работ и возводить железобетонный каркас здания "снизу-вверх". При этом нижележащие конструкции являются опорами опалубки вышерасположенных конструкций.

При строительстве коробчатых фундаментов реализована технология возведения стен, в том числе криволинейных, в индивидуальной дерево-фанерной опалубке. Определено, что технологические параметры опалубки и режимы бетонирования принимаются из расчета распорных давлений бетонной смеси по высоте опалубки. Из эргономических условий перемещения рабочих и опалубочного оборудования в рабочую зону предложено устраивать в стеновых конструкциях и перекрытиях фундамента технологические проемы, что позволило отказаться от применения "оставляемой" опалубки перекрытия.

3 При возведении круглых стен разработаны специальные опалубочные технологии, включающие использование опалубки с регулируемым радиусом изгиба, несъемную опалубку круглых колонн в стене, поярусное возведение стен, применение индивидуальных геометрически неизменяемых проемообразователей, предложены конструктивные изменения элементов железобетона для повышения технологичности и др. Разработанная и реализованная технология обеспечила проектные геометрические параметры круглых стен с проемообразователями.

4 Разработаны технология бетонирования модифицированными бетонными смесями, включая литые и самоуплотняющиеся, технологические режимы прогрева и ухода за бетоном, технология зимнего бетонирования, что позволило качественно бетонировать насыщенные арматурой монолитные железобетонные и сталежелезобетонные конструкции, а также труднодоступные места. Энергоэффективная технология обеспечила заданные высокие темпы производства работ, интенсивный набор распалубочной прочности бетоном и качество монолитного бетона.

5 Разработана уникальная высокоэффективная опалубочная технология возведения наклонных стен высотного книгохранилища, базирующаяся на принципах применения несъемной опалубки, поярусного бетонирования, устройства подвесных технологических площадок, консольных анкерных площадок и других технологических приемов. Предложенная опалубка и технология позволили отказаться от импорта дорогостоящих опорных лесов немецкой фирмы ПЕРИ и получить существенный экономический эффект.

6 Опалубочные технологии возведения типовых этажей и верхней части высотного здания книгохранилища на основе применения "опалубки-стол", индивидуальной опалубки контурной балки, контурных нестандартных колонн и других технологий обеспечили темпы строительства — 2 этажа в месяц.

7 Опыт строительства сложных и уникальных зданий и сооружений из монолитного железобетона показывает, что институту БелНИИС необходимо продолжить исследования по разработке отечественных опалубок и технологий возведения монолитных конструкций сложной формы, таких как криволинейные стены с большим и малым радиусом изгиба, наклонные стены, круглые колонны, чтобы снизить стоимость опалубки в 2-3 раза, что в свою очередь позволит отказаться от импорта дорогостоящей опалубки.

Целесообразно и дальше совершенствовать технологию монолитного бетона с применением гиперпластификаторов отечественного производства, литых и самоуплотняющихся бетонных смесей на их основе.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марковский М. Три-четыре этажа в месяц? Это реально, если использовать опалубочную систему МОДОСТР // Архитектура и строительство, 2000, № 5 (141). — С. 2—6.
2. Опалубочная система и технология МОДОСТР. — Мн., 2003. — 80 с.
3. Марковский М.Ф. Опалубочная технология возведения монолитных конструкций сложной формы уникального сооружения // Проектирование и строительство монолитных многоэтажных жилых зданий, мостов и тоннелей. — М., 2004. — С. 242—249.
4. Schmitt R. Schalungstechnik. Systeme, Einsatz und Logistik. — Berlin, 2001. — 681 p.
5. Hinrichs V. Entwicklungen und Tendenzen Schalungssysteme // Beton — 2001, № 8. — P. 436—441.
6. Давидюк А.Н., Гончаров А.К. Научно-техническое сопровождение высотного и уникального домостроения // Бетон и железобетон — пути развития. Научные труды 2-ой Всероссийской (Международной) конференции по бетону и железобетону. 5-9 сентября 2005 г. В 5 томах. Том 2. Секционные доклады. — М.: Дипак. — С. 105—110.
7. Абрамчук М., Марковский М. Национальная библиотека Беларуси. Технология интенсивного строительства // Архитектура и строительство, 2003, № 2. — С. 36, 37.
8. Абрамчук М., Марковский М. Новые опалубочные технологии возведения монолитных конструкций Национальной библиотеки Беларуси // Архитектура и строительство, 2005, № 1. — С. 98—100.
9. Головкин Ч.Н., Коваль И.В., Рак А.Н. Бетон нового поколения при возведении нижней фундаментной плиты подземной части Национальной библиотеки Республики Беларусь // Строительная наука и техника, 2005, № 3. — С. 48—55.
10. Марковский М.Ф. Теория и практика создания опалубочных систем и технологий интенсивного возведения зданий из монолитного железобетона // Строительная наука и техника, 2005, № 1. — С. 43—52.
11. Hoffman FH. Schalungs-Technik mit System. Bewahrte Methoden. Neue Entwicklungen. — Bauverlag GmbH. Wiesbaden und Berlin. - 1993. — 232 p.

Статья поступила в редакцию 29.03.06.