

УДК 711.4

## ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ СОСТАВНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОБОЛОЧЕК ИЗ УНИФИЦИРОВАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Михайличенко А.С.<sup>1</sup>, Кашина И.В.<sup>1</sup>, Нестерова А.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Донской государственный технический университет, 344000: г. Ростов-на-Дону, ул.Социалистическая 162, nastya-rd@mail.ru

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, Центральный федеральный округ, г. Москва, Ярославское шоссе, д.26, Lisa.858@yandex.ru

**Аннотация.** В статье ставится задача рассмотреть пространственные составные конструкции с точки зрения оптимизации их формообразования, а также экономический эффект при применении составных железобетонных оболочек из унифицированных элементов. Значительное внимание уделяется методам снижения материалоемкости и улучшения технико-экономических показателей. После проведения исследования и сопоставления результатов были выведены основные показатели, отвечающие на необходимые требования.

**Предмет исследования:** пространственные составные конструкции, составные железобетонные оболочки из унифицированных элементов, универсальный спортивный зал «Дружба», Даниловский крытый рынок.

**Материалы и методы:** при проведении данного исследования были изучены литературные и научные источники; осуществлен подбор и анализ теоретических трудов и практических примеров, разработанных отечественными и зарубежными авторами. При анализе полученных данных использованы методы анализа, аналогии, синтеза, дедукции.

**Результаты:** в результате исследования было выявлено, что составная железобетонная оболочка экономичнее оболочки, очерченной по единой поверхности, особенно по расходу бетона.

**Выводы:** на основании исследования выявлено, что рациональные типы пространственных составных конструкций многоугольным планом экономичнее плоскостных конструкций, а также оболочек, очерченных по единой поверхности. Данная работа может быть интересна для обучающихся и профессорско-преподавательского состава по специальности 08.03.01 «Промышленное и гражданское строительство».

**Ключевые слова:** оболочки, кривизна гауссова, конструкции железобетонные пространственные, контур, плиты, технико-экономические показатели.

### ВВЕДЕНИЕ

Составные оболочки широко применяются в мировой строительной практике. Оболочки, складки и висячие покрытия являются эффективными пространственными конструкциями. Их различные варианты можно рассматривать с позиции оптимизации их формообразования. Для того, чтобы достичь выразительности сооружения, повысить технологичность возведения и снизить материалоемкость конструкций, применяют такой метод конструктивных форм, что позволяет обогатить средства архитектурного проектирования.

Основной областью применения составных оболочек следует считать здания пролетами более 36...42м, когда конструкции традиционных оболочек с увеличением пролета должны существенно усложняться (применение предварительного напряжения, необходимость перехода на металл при конструировании контурных ферм и т.д.); при малых пролетах до 18 м составные оболочки образуются сочетаниями отдельных унифицированных плит, а каждая плита,

в свою очередь, может рассматриваться как оболочка. Поэтому такие конструктивные формы также могут быть эффективны.

Целесообразность применения сборных железобетонных пространственных конструкций в каждом отдельном случае устанавливается с учетом функциональных и градостроительных требований, условий технико-экономической эффективности, технологичности изготовления конструкций и возведения зданий.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

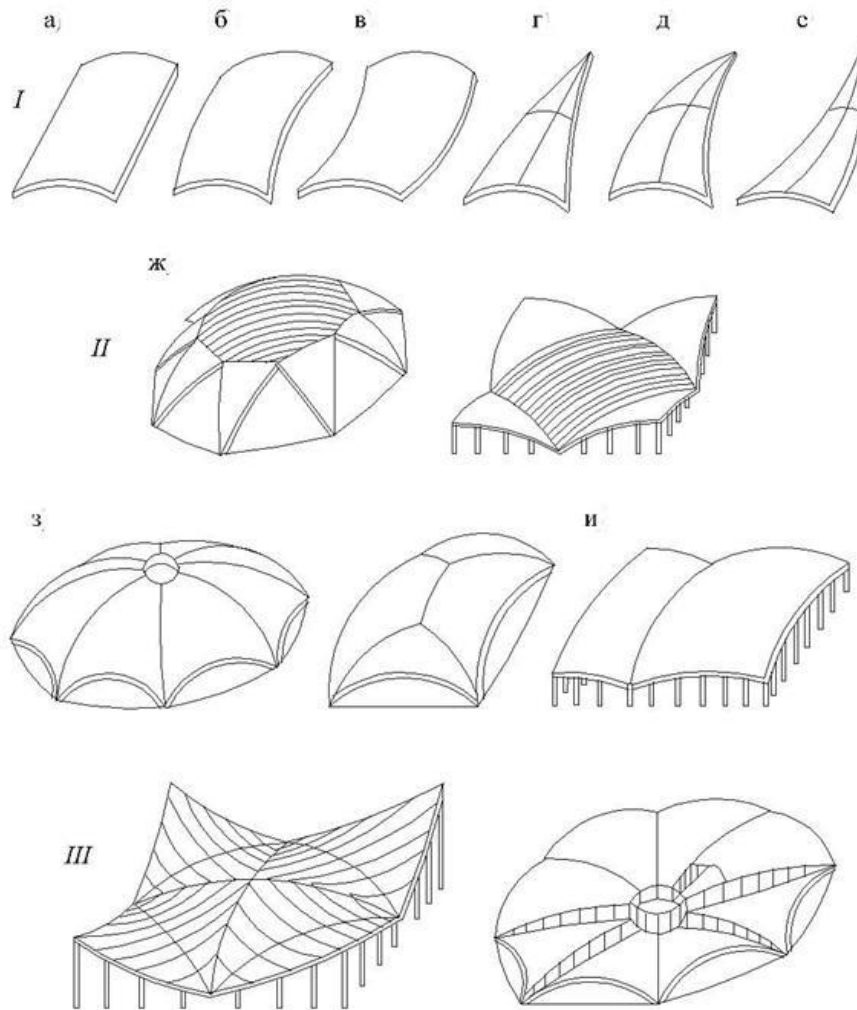
Составные пространственные покрытия образуют путем комбинирования отдельных фрагментов геометрических поверхностей.

Таковыми покрытиями перекрывают здания больших пролетов с различной формой плана. Здания с такими конструкциями могут быть торгового, транспортного, спортивного, зрелищного, а также производственного назначения. В основных случаях функциональный процесс таков, что назначения центральной части и помещений, располагаемых по периметру, различны. Например, в зданиях спортивного или зрелищного назначения в центральной части

располагаются арена, эстрада, где проводятся выступления или соревнования, а также места для зрителей, а по периметру – вспомогательные помещения (фойе, буфеты, гардеробы). В крытых рынках центральную часть обычно занимает главный торговый зал, к которому пристраиваются магазины, административные помещения, навесы для летней торговли и т.д. Такую же объемно-планировочную структуру могут иметь крытый гараж-стоянка, лабораторный корпус с залом для испытаний, промышленные сооружения с циклическим технологическим процессом. [3]

По конструктивным особенностям составные оболочки с жесткими элементами делятся на две

группы (рис.1): составные оболочки с центральным элементом в виде положительной гауссовой кривизны (рис.1, ж); составные оболочки с каркасом, занимающим в покрытии центрально-радиальное положение (рис.1, з). К составным оболочкам можно также отнести и многоволновые неразрезные оболочки, в которых в местах пересечения жестких элементов – диафрагм располагаются колонны (рис.1, и). К первой группе можно отнести купольно-складчатые покрытия и составные оболочки с квадратным и треугольным планом, в том числе оболочки разнозначной кривизны; ко второй – полигональные оболочки с циклическим и вытянутым планами. [3]



**Рис. 1.** Составные оболочки с жесткими элементами: I – составляющие оболочки; II – составные оболочки купольного типа; III – составные висячие оболочки; а, з – нулевой; б, д – положительной; в, е – отрицательной гауссовой кривизны; ж – с жестким центральным элементом в виде оболочки положительной гауссовой кривизны; з – с жесткими элементами в виде каркаса; и – неразрезные многоволновые

**Fig. 1.** Composite shells with rigid elements: I - component shells; II - composite dome-type shells; III - composite hanging shells; а, з - zero; б, д - positive; в, е - negative Gaussian curvature; ж - with a rigid Central element in the form of a shell of positive Gaussian curvature; з - with rigid elements in the form of a frame; и - continuous multi-wave

По очертанию срединной поверхности различают: составные оболочки в виде сочетания оболочек положительной гауссовой кривизны; то же, оболочек отрицательной гауссовой кривизны; то

же, оболочек разнозначной кривизны (положительной и отрицательной гауссовой кривизны); то же, оболочек нулевой гауссовой кривизны.

По используемым материалам оболочки могут быть: железобетонные, комбинированные, состоящие из железобетонные плит и стальных арок или ригелей.

Составные оболочки могут быть как сборные, так и монолитные. В соответствии с практикой строительства этих конструкций в нашей стране

применяют составные оболочки только сборные, собираемые из унифицированных элементов.

Наряду с оболочками с жесткими элементами рассматриваются также составные висячие оболочки (см. рис.1, III). [3]

Рекомендуемые типы оболочек и их пролеты приведены на рис.2.

Типы оболочек		Размеры пролетов, м					
		24	36	42	до 60	до 100	100...150
Отдельно стоящие или составляющие оболочки	отдельно стоящие и составляющие положительной гауссовой кривизны					—	—
	составляющие отрицательной или нулевой гауссовой кривизны			—	—	—	—
	купольные					—	—
	с квадратным и треугольным планом					—	—
Составные оболочки	с вытянутым планом						
	купольно-складчатые						
	полигональные с циклическим планом (в том числе висячие)						

Рис. 2. Рекомендуемые типы и пролеты оболочек

Fig. 2. Recommended shell types and spans

**Применение в общественных зданиях.**

Применение составных оболочек целесообразно для общественных зданий, сооружений торговых, общественного питания, транспортного назначения, спортивных, зрелищных, в том числе: крупных торговых центров, крытых рынков, универсамов, универмагов, специализированных и фирменных магазинов промышленных министерств, совхозов и колхозов, баз и складов для хранения промышленных товаров и сельскохозяйственной продукции, ресторанов, крупных столовых, автобусных и троллейбусных парков, вокзалов, спортзалов учебных заведений и городского назначения, кинотеатров, конференц-залов, выставочных павильонов. Оболочки могут применяться также для залов лабораторных корпусов научно-исследовательских институтов, например, предназначенных для испытаний.

**Применение в производственных зданиях.**

Для покрытий зданий производственного назначения рекомендуются оболочки положительной кривизны, очерченные по единой исходной поверхности, или составные многоволновые в зависимости от размеров здания в плане и размеров используемых элементарных оболочек. Применение таких оболочек, как правило,

экономически обосновано для зданий с пролетами 24...36 м и продольным шагом колонн 18...24 м, без кранов и с подвесным подъемно-транспортным оборудованием грузоподъемностью до 5 т, а также с опорными кранами грузоподъемностью до 50 т включительно, если указанные шаги колонн диктуются условиями размещения технологического оборудования. [3] В зданиях с опорными кранами, когда продольный шаг колонн не обусловлен технологией размещаемого производства, оболочки могут быть экономически оправданы, если переход к укрупненному шагу колонн (более 12 м) обеспечивает существенное улучшение использования производственной площади здания.

При пролетах более 36 м оболочки рекомендуются для зданий без опорных кранов, если они экономически целесообразны и не требуют больших эксплуатационных расходов. С учетом приведенных выше рекомендаций оболочки выгодно применять для предприятий машиностроения, электротехнической, текстильной, легкой, пищевой, радиоэлектронной промышленности, предприятий по выпуску радиотехнических изделий, гаражей, складских зданий и сооружений.

Составляющие оболочки составных пространственных покрытий расчленяют на сборные унифицированные плиты с цилиндрической поверхностью. Номенклатура изделий составных оболочек включает в себя основные плиты, доборные плиты и контурные ригели. Для компоновки оболочек принят укрупненный производственный модуль 3x6 м.

Использование эффективных составных конструкций позволяет решать сложные задачи проектирования общественных и производственных зданий, удовлетворяя условиям экономичности и повышения архитектурного качества городской застройки. Существенно то, что при компоновке составных оболочек, складок, комбинированных систем используются методы конструирования отдельно стоящих, очерченных по единой поверхности оболочек, поскольку последние являются их составляющими элементами. Без широкого опыта строительства отдельно стоящих, очерченных по единой поверхности оболочек было бы невозможно перейти к возведению их сочетаний, т.е. к более сложным формообразованиям. [3]

Применение пространственных составных конструкций в проектировании представляет собой реализацию возможности формообразования зданий и сооружений на современном уровне, с

внедрением последних достижений науки и техники в строительстве.

Значительно большее развитие в современной строительной технике получило применение составных покрытий в виде сочетания оболочек положительной, отрицательной и в меньшей степени нулевой гауссовой кривизны. Нерегулярность геометрической формы, вызванная функциональными, градостроительными или эстетическими требованиями, достигается в этих решениях путем сопряжения отдельных фрагментов поверхностей, геометрия каждого из которых, как правило, описывается аналитически.

В последние годы составные оболочки стали применять для зданий больших пролетов с различной формой плана.

Для зданий с вытянутой формой плана в ГДР применяют комбинированные пространственные конструкции пролетами 12, 21, 27, 30 и 36 м. Они выполнены с размещенной по продольной оси зданий аркой, имеющей разветвленные концы, к которой примыкают оболочки (рис.3,а). Подобное решение было предложено Р. Тайибером в Париже для спортивного центра с ареной размерами более 61x30 м (рис.3,б). Аналогичная конструктивная схема (рис.3,в) была предложена в СССР ранее

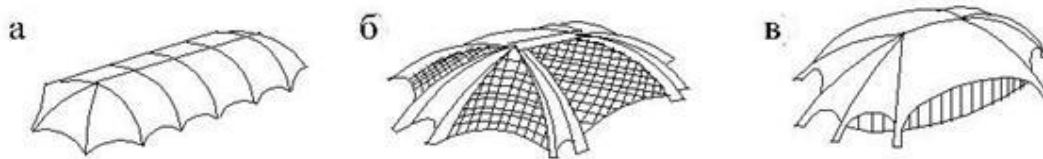


Рис. 3. Оболочки с вытянутой формой плана

Fig. 3. Shells with an elongated plan shape

Примерами составных оболочек для зданий с произвольной многоугольной формой плана являются составные оболочки аэровокзалов пролетом около 60 м (США) (рис.4,а). Форма плана составляющих оболочек приближается к

треугольной, в целом план нерегулярный. Покрытие оперного театра в Сиднее (рис.4,б) состоит из пересекающихся сборно-монолитных оболочек в форме трехугольных в плане фрагментов сферы с одинаковым радиусом кривизны. [3]

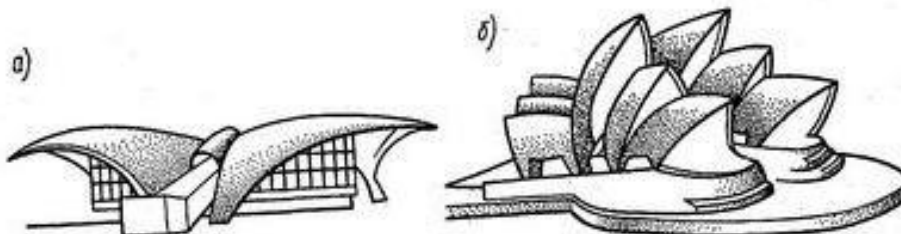


Рис. 4. Составные оболочки с многоугольным планом произвольной формы

Fig. 4. Composite shells with a polygonal plan of any shape

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Технико-экономический анализ эффективности применения составных оболочек можно выполнить

на примере построенных характерных сооружений – универсального спортивного зала «Дружба» (рис.5) и Даниловского крытого рынка (рис.6).



Рис. 5. Универсальный спортивный зал «Дружба»

Fig. 5. Universal sports hall "Druzhba»



Рис. 6. Даниловский крытый рынок

Fig. 6. Danilovsky covered market

Результаты сопоставления вариантов конструктивного решения сооружения следующие.

В качестве вариантов рассмотрены складчатый решетчатый металлический купол и сборно-монолитная предварительно напряженная железобетонная оболочка положительной

гауссовой кривизны (по типу торгового центра в Челябинске). Для сопоставимости пролеты и высоты зданий с рассмотренными вариантами приняли равными соответствующим размерам универсального спортивного зала в Лужниках.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ**

в табл.1, показатели конструкций пролетом 42 м – в табл.2.

Показатели расхода материалов, трудоемкость монтажа и объем сооружений вариантов приведены

**Таблица 1.** Техничко-экономические показатели большепролетных конструкций

**Table 1.** Technical and economic indicators of large-span structures

Название сооружения	Тип покрытия	Расход на 1 м <sup>2</sup>		Объем здания (от уровня опор покрытия) м <sup>3</sup>	Трудоемкость монтажа, чел-ч/м <sup>2</sup>
		бетона, см	стали, кг		
Универсальный спортивный зал «Дружба» в Лужниках (Москва)	Составная оболочка	24,0	54,6	68000	2,32
Даниловский рынок (Москва)	То же	15,2	48,0	42000	1,42
Цирк на просп. Вернадского (Москва)	Складчатый стальной купол	-	234,4	84000	3,08
Торговый центр (Челябинск)	Сборно-монолитная оболочка положительной гауссовой кривизны (предварительно напряженная)	21,0	31	97000	8,30

**Таблица 2.** Показатели расхода материалов на оболочки положительной гауссовой кривизны размером 42x42 м

**Table 2.** Indicators of consumption of materials on the shell of positive Gaussian curvature size 42x42 m

№ п/п	Тип конструкции	Приведенная толщина бетона, см	Расход стали на 1 м <sup>2</sup> , кг	Масса монтажной оснастки на оболочку, т
1	Оболочки положительной гауссовой кривизны из цилиндрических плит 3x6 м (МНИИТЭП)	12,7	19,5	35
2	Оболочки положительной гауссовой кривизны из плоских плит 3x3 м для крытых рынков в Москве (ПИ-1)	11,4	19,2	115
3	Типовые железобетонные плиты 3x12 м по стальным фермам (конструкция – аналог)	8,8	77,5	

Из сопоставления технико-экономических показателей следует, что в предварительно напряженном варианте показатели расхода материалов для составной оболочки типа оболочки «Дружба» близки к показателям экономичной оболочки положительной гауссовой кривизны. Несущественное увеличение расхода материалов компенсируется значительными преимуществами составной оболочки по трудоемкости монтажа

(трудозатраты почти в 4 раза меньше) и объему сооружения (примерно в 1.5 раза меньше). Сравнение подтверждает положения об экономичности составных оболочек, прежде всего по показателям объема сооружений и трудозатратам на строительной площадке, что во многих случаях является решающим.

Дальнейшее улучшение технико-экономических показателей покрытий достигнуто при разработке

составной оболочки из унифицированных плит 3x6 м, примененной для Даниловского рынка. За счет использования плит более рациональной конструкции расход бетона по сравнению с оболочкой зала «Дружба» снизился в два раза. Уменьшились также объем подкупольного пространства и трудоемкость монтажа. Трудозатраты на возведение сократились за счет более рационального выбора размеров укрупненных складок и упрощения их соединений. Близкие к оболочке зала «Дружба» показатели по трудоемкости монтажа имеет складчатый решетчатый стальной купол, но при этом расход стали на его возведение почти в четыре раза превышает показатель, приведенный для составной оболочки.

Для сопоставления в качестве аналога оболочки зала «Дружба» (рис.7) принят складчатый решетчатый купол цирка на проспекте Вернадского в Москве (рис.8,9) по следующим причинам: обе конструкции представляют собой «многолепестковые» складчатые системы, поэтому их геометрические, а в значительной мере, и расчетные схемы одинаковы; также близки пролеты, форма плана и высоты обоих зданий; оба здания зрелищного назначения с одинаковой структурой плана в виде центрального объема и трибунами по периметру; оба здания осуществлены одной строительной-монтажной организацией (трестом «Стальмонтаж»), по ним имеется полный объем сметной документации.

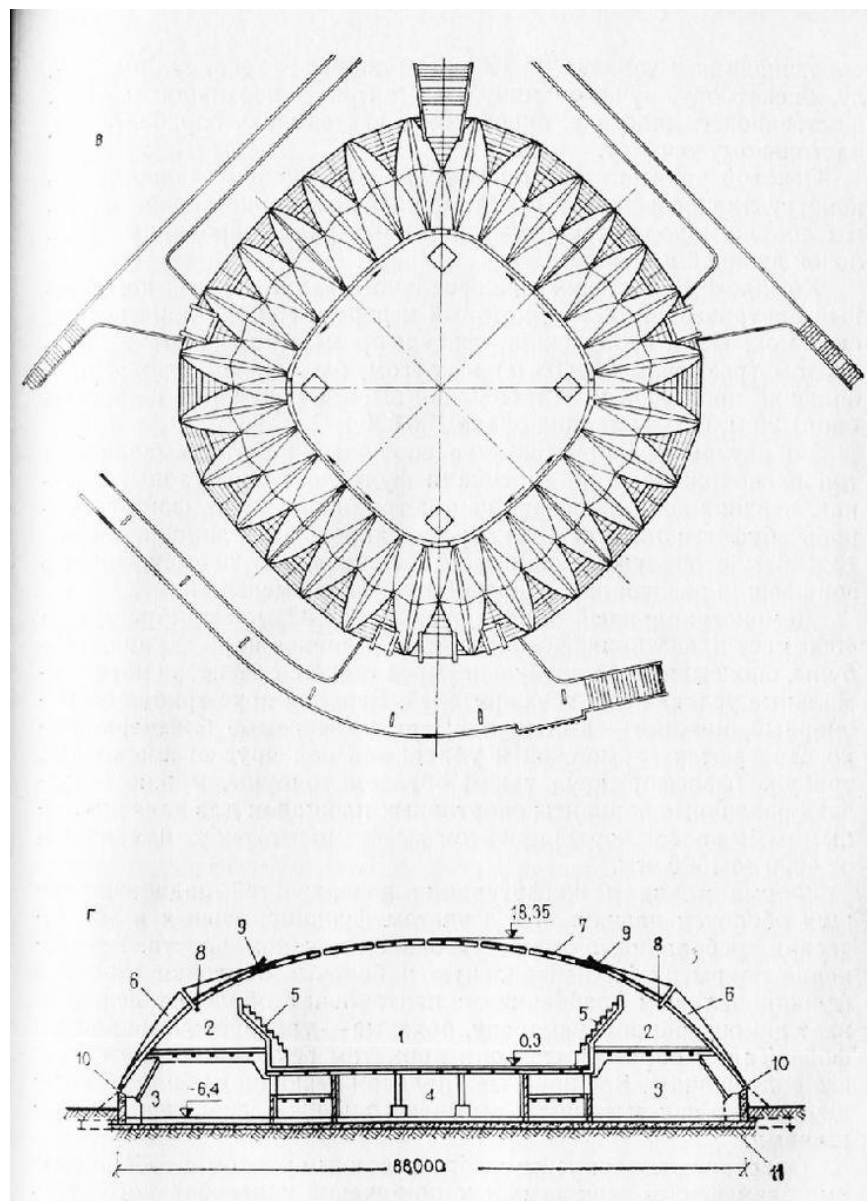


Рис. 7. Чертеж универсального спортивного зала «Дружба» в Лужниках (Москва)

Fig. 7. Drawing of the universal sports hall "Druzhba" in Luzhniki (Moscow)



Рис. 8. Цирк на проспекте Вернадского (Москва)

Fig. 8. Circus on Vernadsky Avenue (Moscow)

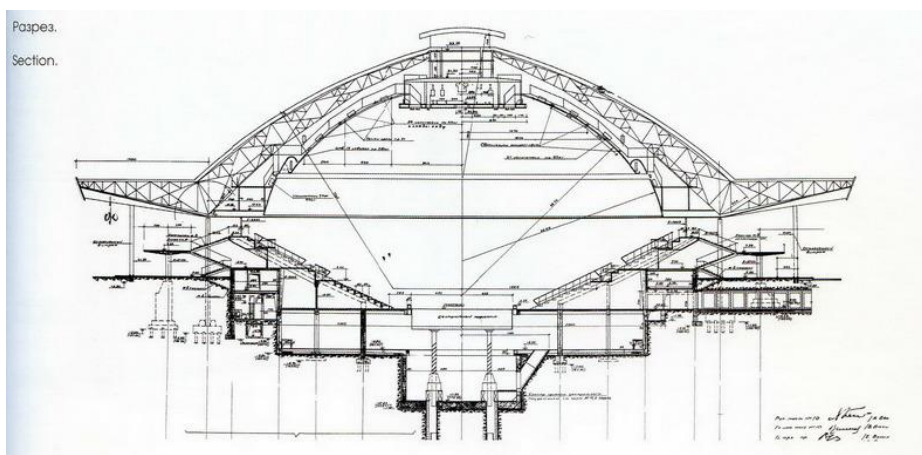


Рис. 9. Цирк на проспекте Вернадского (Москва). Разрез

Fig. 9. Circus on Vernadsky Avenue (Moscow). Cut

В соответствии с инструкцией по определению экономической эффективности в строительстве (СН 423-71) определение экономической эффективности производится по разнице годовых приведенных затрат:

$$П = C + E_n K + E_n K',$$

где  $П$  – приведенные затраты;  $C$  – себестоимость строительно-монтажных работ;  $E_n$  – нормативный коэффициент экономической эффективности, принимаемый в размере 0,12;  $K$  – капитальные вложения в основные производственные фонды и вложения в оборотные средства в сфере строительства;  $K'$  – удельные капитальные

вложения в производство строительных материалов и конструкций.

Себестоимость строительно-монтажных работ включает прямые затраты и накладные расходы. Накладные расходы определены на основе расчета по основным факторам, от которых зависят: сокращение продолжительности строительства, уменьшение затрат на основную заработную плату рабочих, снижение трудоемкости работ. Накладные расходы, зависящие от основной заработной платы, составляют 15% от ее суммы. Накладные расходы, зависящие от трудоемкости, составляют 0,6 руб. на один человеко-день.

Фондоемкость строительства определена на основании данных о машинах и механизмах,

примененных для строительно-монтажных работ, удельных нормативах машино-смен (по СНиПу), балансовой стоимости машин и годовых фондах времени работы каждой машины.

Оборотные фонды строительной организации определены раздельно по привозным и местным материалам. Норма переходного запаса для привозных материалов принята 50 дн, для местных – 21 дн.

Капитальные вложения в производство конструкций и материалов определены также в соответствии с «Инструкцией».

Технико-экономический анализ выполнен путем расчета удельных показателей и сопоставления их по вариантам. Для обеспечения уровня сопоставимости и получения объективных данных в расчетах учтены не только конструкции покрытия, но также смежные несущие конструктивные элементы здания (колонны, витражи и т.д.). Кроме того, учтены все подготовительные работы, включающие монтаж и демонтаж временных металлоконструкций, стенов для укрупнительной сборки и рельсовых путей для кранов.

В табл.3 приводятся экономические показатели  $P$ ,  $C$ ,  $K$  и  $K'$ , входящие в выражение (1). Из сравнения этих величин получаем следующее: 1) приведенные затраты на составную оболочку зала «Дружба» равны 118,61 руб/м<sup>2</sup> площади покрытия, что на 25% меньше приведенных затрат по конструкции-аналогу; 2) себестоимость строительно-монтажных работ по составной оболочке на 23% меньше, чем себестоимость работ по аналогу; 3) капитальные вложения в основные фонды строительной организации по варианту оболочки составили 19,23 руб/м<sup>2</sup> площади покрытия, что на 122% превысило капиталовложения по конструкции-аналогу за счет применения более дорогого монтажного оборудования; 4) капитальные вложения в оборотные фонды по варианту с оболочкой на 49% меньше капиталовложений по второму варианту; 5) удельные капитальные вложения в производство конструкций материалов по варианту с оболочкой на 63% меньше, чем по конструкции-аналогу.

**Таблица 3.** Экономические показатели большепролетных конструкций

**Table 3.** Economic indicators of large-span structures

№ п/п	Показатели	Покрытие зала «Дружба»	Покрытие цирка
1	Приведенные затраты $P$ , руб/м <sup>2</sup>	118,61	158,12
2	Себестоимость строительно-монтажных работ $C$ , руб/м <sup>2</sup>	111,40	144,75
3	Капитальные вложения в основные фонды строительной организации $K$ , руб/м <sup>2</sup>	19,23	8,73
4	Удельные капитальные вложения в производство конструкций и материалов $K'$ , руб/м <sup>2</sup>	33,06	90,85

Для монтажа оболочки зала «Дружба» с предварительной укрупнительной сборкой складчатых оболочек весом 80 т использовался кран СКР-1500, балансовая стоимость которого равна 445 руб/маш-смен в то время как этот же показатель для гусеничного крана СКГ-40, примененного для монтажа купола цирка, составляет 185.8 руб/маш-смен. Поэтому капитальные вложения в основные фонды в варианте с оболочкой в 2,2 раза превысили соответствующие капитальные вложения в варианте-аналоге.

Однако общий итог указывает на экономическую эффективность составной железобетонной оболочки. Годовая экономическая эффективность:

$$\mathcal{E} = (P_1 - P_2)A$$

где  $P_1$  и  $P_2$  – приведенные затраты по сравнительным вариантам;  $A$  – годовой объем внедрения, м<sup>2</sup>.

Учитывая аналогичный тип покрытия стадиона в г. Пензе и возможность использования той же строительно-монтажной организацией монтажной оснастки оболочки зала «Дружба» в Лужниках, определенный экономический эффект по последнему сооружению распространен и на покрытие стадиона.

При общем объеме внедрения 15 000 м<sup>2</sup>, общая годовая экономическая эффективность составит

$$\mathcal{E} = (111,40 - 158,42) * 15000 = 39,81 - 15000 = = 597,15 \text{ тыс. руб.}$$

Рассмотрим также экономическую эффективность составной полигональной оболочки по сравнению с оболочкой, перекрывающей тот же план, но очерченной по единой поверхности, по расходу материалов.

Для сопоставимости вариантов были приняты единые исходные условия: пролет – 16 м,

одинаковая форма плана, равные объемы сооружений, нагрузка – 1 кН/м<sup>2</sup>, единый принцип членения на сборные элементы, однотипность плит, одинаковые методы монтажа. Статические расчеты выполнялись по программе «Протон» методом конечных элементов.

### ВЫВОДЫ

Результаты анализа приведены в табл.4. Из сравнения данных таблицы следует, что составная оболочка экономичнее оболочки, очерченной по единой поверхности, особенно по расходу бетона.

Важно то, что экономия достигается в основном за счет значительного уменьшения расхода монолитного бетона (почти в 1,5 раза), в составной оболочке. Статический анализ показал, что существенного снижения расхода монолитного бетона, а следовательно, и трудозатрат на возведение получили в результате уменьшения зон действия главных растягивающих усилий и их величин в составной оболочке, а также большей устойчивости за счет образования линий перелома поверхностей.

**Таблица 4.** Показатели расхода материалов полигональных оболочек с многоугольным планом пролетом 116 м

**Table 4.** Indicators of consumption of materials of polygonal shells with a polygonal plan with a span of 116 m

№ п/п	Элементы	Составная оболочка		Оболочка с единой поверхностью	
		бетон, м <sup>3</sup>	сталь, т	бетон, м <sup>3</sup>	сталь, т
1	Плиты	840	73,9	920	75,7
2	Монолитный бетон (швы, набетонка)	269,8	14	406,1	32,8
3	Стальные арки	-	405,2	-	442
4	Затяжки	270	140,6	270,9	134,2
	Итого	1379,8	633,6	1597	684,7
	Расход материалов на 1 м <sup>2</sup> площади покрытия (бетон в см приведенной толщины, сталь в кг)	17 см	77 кг	20 см	84,5 кг

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. М., 1985.
2. Жуковский Э.З., Шабля В.Ф. Оболочки двойкой кривизны в гражданском строительстве Москвы. М., 1980.
3. Дыховичный Ю.А., Жуковский Э.З., Пространственные составные конструкции. М., 1989.
4. Демина А.В. Здания с большепролетными покрытиями. Тамбов, 2003.
5. Михайлов В.В., Сергеев М.С. Пространственные стержневые конструкции покрытий (структуры). Владимир, 2011.
6. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\* (с Изменениями № 1,2)
7. СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\* (с Изменениями №1)

8. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 (с Изменениями № 1,2,3)

### REFERENCES

1. Baykov V.N., Sigalov E.E. Reinforced concrete structures. M., 1985.
2. Zhukovsky EZ, Shablya V.F. Shells of double curvature in the civil engineering of Moscow. M., 1980.
3. Dykhovichny Yu.A., Zhukovsky EZ, Spatial composite structures. M., 1989.
4. Demina A.V. Buildings with large spans. Tambov, 2003.
5. Mikhailov V.V., Sergeev M.S. Spatial core structures of the coating (structure). Vladimir, 2011.
6. SP 20.13330.2016 Load and impact. Updated edition of SNiP 2.01.07-85 \* (with Changes No. 1,2)
7. SP 16.13330.2011 Steel structures. Updated edition of SNiP II-23-81 \* (as amended by No. 1)
8. SP 63.13330.2012 Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions. Updated edition of SNiP 52-01-2003 (as amended by No. 1,2,3)

ECONOMIC EFFECT AT APPLICATION OF COMPOSITE REINFORCED CONCRETE SHELLS  
FROM UNIFIED ELEMENTS

Mikhaylichenko A.S.<sup>1</sup>, Kashina I.V.<sup>1</sup>, Nesterova A.N.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Don State Technical University (DSTU),  
344000, Southern Federal District, Rostov Region, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1, nastya-rd@mail.ru

<sup>2</sup>Moscow state university of civil engineering (national research university),  
129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, Lisa.858@yandex.ru

**Summary.** The article sets the task of considering spatial composite structures from the point of view of optimizing their shaping, as well as the economic effect when using composite reinforced concrete shells from unified elements. Considerable attention is paid to methods of reducing material consumption and improving technical and economic indicators. After conducting the study and comparing the results, the main indicators were deduced that met the necessary requirements.

**Subject:** spatial composite structures, composite reinforced concrete shells of unified elements, the universal sports hall "Friendship", Danilovsky Covered Market.

**Materials and methods:** during this study, literary and scientific sources were studied; selection and analysis of theoretical works and practical examples developed by domestic and foreign authors. When analyzing the data obtained, methods of analysis, analogy, synthesis, and deduction were used.

**Results:** в результате исследования было выявлено, что составная железобетонная оболочка экономичнее оболочки, очерченной по единой поверхности, особенно по расходу бетона.

**Conclusions:** Based on the study, it was found that rational types of spatial composite structures with a polygonal plan are more economical than plane structures, as well as shells outlined on a single surface. This work may be interesting for students and faculty in the specialty 08.03.01 "Industrial and civil construction."

**Key words:** shells, Gaussian curvature, spatial reinforced concrete structures, contour, slabs, technical and economic indicators.