

УДК : 721.01:624.012.3:681.3.06.

**РЕАЛИЗАЦИЯ ТРЕБОВАНИЙ ДБН В.2.6-162:2011 В ПК «МОНОМАХ»
ДЛЯ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ КАРКАСНО-КАМЕННЫХ
ЗДАНИЙ**

*к.т.н. Городецкий Д.А. *, к.т.н. Максименко В.П. **, к.т.н. Рассказов А.А. **

** ООО Лира САПР, Киев*

*** Научно-исследовательский институт строительного производства
(НИИСП), Киев*

Практическое назначение. Развитие методов строительной механики идет по пути разработки всё более совершенных аналитических и численных методов, ориентированных на широкое применение в расчетных комплексах. Новая версия ПК «МОНОМАХ-САПР-2013» позволяет решать большой класс задач строительной механики и успешно применяется в расчетах на статические, ветровые и динамические воздействия по различным нормативных документах. ПК МОНОМАХ представляет собой универсальный программный комплекс для расчета и проектирования железобетонных, каменных и армокаменных конструкций. Этапы проектирования и расчета конструкций, выполняемые с использованием различных программных продуктов, в ПК МОНОМАХ объединены в рамках общего комплексного подхода. Этот подход обеспечивает значительное упрощение работы и увеличение скорости проектирования. Область применения ПК МОНОМАХ весьма разнообразна — это расчет и проектирование монолитных высотных железобетонных зданий, сборных зданий рамной и рамно-связевой конфигурации, кирпичных зданий со сложным планом, переменной конфигурацией по высоте, кирпичных зданий с железобетонным усилением (ЖБ пояса, колонны и др. с большим количеством нерегулярных включений) и многими другими особенностями.

В ПК МОНОМАХ реализованы нормативы СНГ и ряда стран: СНиП 2.01.07-85, СНиП 2.03.01-84, СНиП 52-01-2003, СП 52-101-2003, ТСН102-00, ДБН В.2.6-98:2009, СНиП II-22-81*, СП 15.13330.2012, ДБН В.2.6-162:2011, СНиП 2.02.01-83, СП 50-101-2004, СНиП 2.02.03-85, СП 102-2003, МГСН 2.07-01, СНиП 2.09.03-85, СП 50-101-2004, ДБН В.2.1-10-2009., ДСТУ Б В.2.1-27:2010, СНиП II-7-81 с изм. 2000 г., СНиП II-7-81 с изм. 1996 г., СНиП II-7-81, ДБН В.1.1-12:2006, ДБН В.2.2-24:2009, МГСН 4.19-05, СНРА II-2.02.94, КМК 2.01.03-96, СНиП РК 2.03-30-2006, СНТ 2.01.08-99, МКС ЧТ 22-07-2007, ИВС-2000, PS-92, RPA99, RPS-2000, Ответ-спектр. Для учета ветрового воздействия указываются нормы СНиП 2.01.07-85, ДБН В.1.2-2:2006, ASCE798, N&V 65 и др.

Работая в среде ПК МОНОМАХ не требует от пользователя глубоких знаний метода конечных элементов (МКЭ) и специфических знаний по работе со сложными расчетными комплексами, поскольку при создании расчетной модели сооружения ему предоставляется возможность оперировать общепринятыми терминами: оси, балки, плита, колонна, этаж, отверстие, форма штампа приложенной нагрузки и т.д. Процедура создания

конструктивной схемы концептуально очень близка к архитектурным программам (ArchiCAD, Revit, Allplan, ADT, САПФИР и др.), поэтому на уровне вариантного проектирования архитектор для проверки правомерности принятых решений может работать в ПК МОНОМАХ самостоятельно, не прибегая к помощи конструктора.

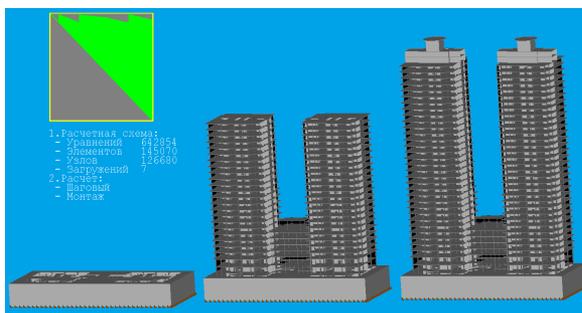
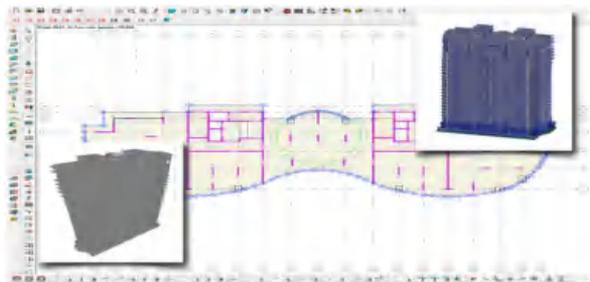


Рис.1 Рабочее окно ПК МОНОМАХ, схема МКЭ, учет стадий монтажа

ПК МОНОМАХ может быть использован на разных этапах проектирования. На стадии принятия проектных решений за короткое время можно выполнять многовариантное проектирование: получить результаты расчетов вариантов конструктивных схем с различной расстановкой колонн, диафрагм, свай, с разной толщиной плит и пр., а также определить расход материалов и стоимость конструкций здания. Применение ПК МОНОМАХ на стадии рабочего проектирования позволяет создать расчетную схему, выдать результаты расчетов и эскизы рабочих чертежей в единой среде, что позволяет существенно сократить сроки выполнения работ. Есть возможность расчета сооружений совместно с грунтовым основанием на базе создаваемой 3D-модели грунтового массива по имеющимся инженерно-геологическим данным. ПК МОНОМАХ предоставляет пользователю возможность задания фундаментов как на естественном, так и на свайном основании.

ПК МОНОМАХ имеет экспертную систему, которая на всех этапах автоматизированного проектирования дает пользователю подсказки

относительно обоснования принятых конструктивных решений, таких как выбор размеров сечения несущих конструкций, расстановка диафрагм жесткости, обеспечение тех или иных требований нормативных документов.

В ПК МОНОМАХ реализован широкий спектр возможностей по межпрограммной передаче данных:

- импорт из комплекса AutoCAD набора плоских планов этажей в формате DXF. В результате импорта в ПК МОНОМАХ автоматически генерируется пространственная многоэтажная расчетная схема с заданными параметрами сечений конструктивных элементов;

- импорт из цифровой модели объекта (ЦМО используется в интегрированной технологической линии проектирования), возможность объединяет различных архитектурных программ (САПФИР, ArchiCAD, AutoCAD и др.);

- экспорт расчетной схемы в программный комплекс «ЛИРА» с возможностью автоматической генерации сетки конечных элементов (КЭ), экспорта жесткосных параметров КЭ, нагрузок, в том числе автоматически собранных ветровых, стадий монтажа здания, абсолютно жестких тел, капителей, отверстий и т.д.;

- экспорт нагрузок на фундамент и слоев грунтов в ПК ФОК и в программу ФУНДАМЕНТ для дальнейшего расчета и проектирования столбчатых фундаментов.

Все чертежи, сформированные в ПК МОНОМАХ-САПР, могут быть сохранены в формате DXF и экспортированы в любые программы, поддерживающие этот формат. Возможности межпрограммной передачи данных о расчетных моделях непрерывно развиваются. Расширяется спектр реализованных функций импорта и экспорта для новых типов и форматов файлов, передаваемых через ЦМО. В состав ПК МОНОМАХ-САПР входят следующие программы: Компоновка, Балка, Колонна, Фундамент, Подпорная стена, Плита, Разрез (Стена), Киприч и Грунт [3].

Программа Компоновка — это основной модуль ПК МОНОМАХ-САПР. Он позволяет в короткий срок сформировать схему здания, выполнить статический и динамический расчеты, определить расход материалов, оценить стоимость конструкций и экспортировать данные для конструирующих программ (Плита, Балка и т.д.). В программе Компоновка формируется 3Д модели здания, при помощи следующих простых операций:

- расстановка строительных осей, колонн, балок, стен, перегородок, плит перекрытия и фундаментных плит произвольной конфигурации, а также свай;

- задание отверстий в стенах (с формированием собственной базы отверстий), плитах перекрытия, фундаментных плитах;

- задание нагрузок в виде сосредоточенных сил или произвольных штампов, равномерно распределенной нагрузки, для задания ветровой и сейсмической нагрузки указывается только направление воздействия и район строительства;

- расчет здания на горизонтальные нагрузки, вызванные ветровыми – в том числе неравномерным давлением по высоте (по результатам обдува), сейсмическими воздействиями и боковым давлением грунта;

- подбор и проверка сечений конструктивных элементов;
- определение перемещений и усилий, частот и периодов колебаний методом конечных элементов с анимацией колебаний;
- учет реальных инженерно-геологических условий площадки строительства при импорте модели грунта, созданной в программе Грунт;
- формирование и экспорт данных для конструирующих подсистем.

Программа КИРПИЧ выполняет расчет армирования стен кирпичных зданий и различных способов усиления кирпичных простенков при реконструкции. Используя в комплексе программы Кирпич, Компонетка и Грунт, пользователь получает удобный инструмент для работы с каменными и армокаменными конструкциями с учетом их пространственной работы и податливости основания. При вычислении усилий в программе Компонетка учитывается совместная пространственная работа несущих кирпичных и железобетонных элементов здания (поясов, железобетонных сердечников, фундаментной плиты, диафрагм, колонн, пилонов), а также эксцентриситеты приложения нагрузок от плит перекрытий и балок. После экспорта данных в программу Кирпич, стены с проемами автоматически разбиваются на простенки с определением усилий (N , M_x , M_y , Q_x , Q_y) в центре тяжести (ЦТ) каждого простенка (см. Рис.2). В процессе расчета производится определение необходимого количества сеток и подбор стержней вертикального армирования. Возможен расчет на заданное усиление старой кладки: металлическими уголками, железобетонной обоймой и др. Выдается коэффициент запаса несущей способности кладки. Выполняется чертеж с раскладкой сеток по сечению стен. Реализованные в программе КИРПИЧ типы кирпичной кладки, раствора приведены в табл.1.

Таблица 1

Реализованные виды материалов стен

Материал стены	№ табл. ДБН
Классы прочности раствора f_m (МПа): М20,М2.0 Классы прочности (характеристической) кирпича, камня f_b (МПа): 50,...М3- М0	Р.1 – Р.11 Т.3.2
Кирпич глиняный обыкновенный	Р.1
Кирпич силикатный	Р.1
Виброкирпичная кладка	Р.2
Камни и крупные сплошн. блоки из бетона Нряда >50 см	Р.3
Камни из бетона, гипсобетон и др.на порист.заполнителях Нряда=20-30см	Р.4
Блоки ячеист.бетона, шлакобет.и др.(пустотные) Нряда=20-30см (неавтоклавного твердения)	Р.5
Природные камни (правильной формы) низкой прочности	Р.6
Природные камни из рваного бута	Р.7

Бутобетон невибрированный и вибрированный	Р.8
Пористые бетонные блоки автоклавного твердения При средней плотности 400кг/м ³	Р.5
Зарезервированные типы армирования стены : без армирования; армирование сетками, вертикальное армирование, сетки и вертикальное армирование; вертикальное внешнее усиление	

Предусмотрены следующие типы раствора: строительный раствор $f_m < 5$ Н/мм²; строительный раствор $f_m \geq 5$ Н/мм²; легкий с плотностью ≤ 800 кг/м³; легкий с плотностью > 800 кг/м³; тонкослойный клеевой, цементные пасты.

Качество кладки: Низкого качества – группа 5; Обычное – группа 4; Повышенное – группа 3, группа 2; Высшее – группа 1 (расшивка швов или все вертикальные швы кладки заполненные раствором).

Реализованные расчетные проверки.

1. Проверка неармированных каменных простенков произвольного сечения на сжатие простенка по приведенному сечению и моментов в двух плоскостях (по несущей способности см. Рис.2) – пп. 6.1 [1]:

$$N \leq \Phi_M * \gamma_{b1} * f_d * L * t_{ef},$$

где Φ_M - коэффициент учета гибкости и эксцентриситета сечения определяется по прилож.К ДБН в виде:

$$\Phi_M = A_1 e^{-u^{2.2}}, \text{ где } e - \text{основание естественного логарифма};$$

$$A_1 = 1 - 2e_0/t_{ef}; \quad u = (\lambda - 0.063)/(0.073 - 1.17e_0/t);$$

$$\lambda = H_{ef} / t_{ef} * (fk/E)^{1.2};$$

t_{ef} - эффективная приведенная толщина простенка определяется в соответствии с табл.10.1 ДБН;

e_0 – эксцентриситет на середине высоты стены вычисляется в соответствии с ф.11.5 ДБН в виде:

$$e_0 = e_m + e_k + e_{init}, \text{ где } e_m = M_{расч} / N_{расч} \geq 0.05t;$$

e_{init} – начальный эксцентриситет, учитывающий начальные недостатки $e_{init} = H_{ef}/450$;

$e_k = 0.002 * \Phi_{\infty} * H_{ef} / t_{ef} * \sqrt{e_m * t}$ эксцентриситет от ползучести, может не учитываться, если $\lambda \leq 15$ (рекомендуемая величина гибкости для сжатой части простенка);

γ_{b1} - коэффициент условий работы кладки, влияние повреждений, усиления, способа опирания простенка и др.;

$$f_d - \text{расчетная прочность сжатия кладки по табл.1-10 додатка Р};$$

$$L - \text{длина сечения простенка.}$$

Если площадь сечения простенка A менее 0.1м² в расчет вводится понижающий коэффициент $k = (0.7 + 0.3 A)$;

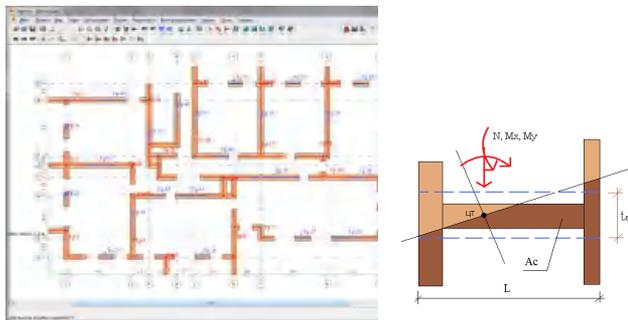


Рис.2 Автоматическая разбивка этажа на простенки. Приведенные усилия в центре тяжести простенка, определение сжатой части сечения.

2. Проверка на внецентренное сжатие с изгибом в соответствии с п.11.2 [1]:

$$N \leq \varphi_1 * f_d * L_c * t_{ef}, \text{ где } \varphi_1 = (\Phi_M + \Phi_c)/2;$$

Φ_c - коэффициент учета гибкости сжатой части сечения;

L_c - длина сжатой части сечения простенка;

A_c - площадь сжатого сечения простенка.

3. Проверка неармированной стены на предельный момент при горизонтальных воздействиях п.11.3 ДБН:

$$M \leq f_{xd} * W; \quad M \leq f_{xd1_app} * W,$$

W - упругий момент сопротивления на единицу длины или высоты сечения; f_{xd} - расчетная прочность кладки изгибу по перевязанному сечению; $f_{xd1_app} = f_{xd1} + \sigma_0$, при постоянном сжатии стены принимается $\sigma_0 \leq 0.2 f_d$.

4. Проверка неармированных каменных конструкций на срез по горизонтальным неперевязанным швам (по несущей способности) – меньше из пунктов:

$$V_i \leq \gamma_{bl} * (f_{vko}/\gamma_M + 0.4 * \sigma_0) * A_c; \quad V_i \leq f_{vd} * L_c * t_{ef},$$

где f_{vko}/γ_M - расчетное сопротивление срезу по неперевязанному сечению (Таб.Р9 ДБН [1]);

σ_0 - среднее напряжение сжатия в простенке;

При постоянном сжатии стены и принимая $\sigma_0 \leq 0.2 f_d$.

5. Расчет по второму предельному состоянию выполняется с учетом длительного модуля ползучести: $E_{long} = Ek(1 + \Phi_\infty)$, где Φ_∞ - конечный, граничный коэффициент ползучести принимается в зависимости от вида материала кладки по Табл.3.7 ДБН;

$f_k = f_d * \gamma_M$ - характеристическая (граничная) прочность кладки;

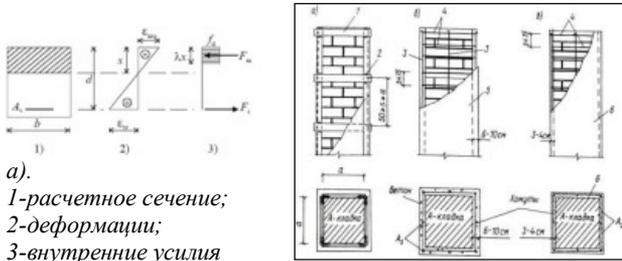
f_d - расчетная прочности кладки; γ_M - коэффициент ответственности материала назначается в соответствии с Классами (группами) от: Группы – 1 (высшая), до Группы – 5 (низшая). По умолчанию принято $\gamma_m = 1.5$ для конструкций 1-й Группы с повышенными архитектурными требованиями.

6. Для армированной кладки сетками в горизонтальных швах выполняются дополнительные проверки (ф.11.22) по условной расчетной прочности армированной кладки на изгиб по перевязанному сечению - f_{xd2_app} . При недостаточном армировании сетками выполняется подбор вертикальной арматуры:

$$M \leq f_{xd2_app} * W; f_{xd2_app} = (6 * \gamma_a * A_s * f_{yd} * Z) \sqrt{t^2};$$

где f_{yd} - расчетная прочность арматуры в горизонтальных швах; A_s - площадь поперечного сечения растянутой арматуры сеток на 1п.м.; $Z \leq 0.95 * d$ - плечо внутренней пары сил ;

X - расстояние до нейтральной оси.



а).
1-расчетное сечение;
2-деформации;
3-внутренние усилия

б).

Рис.3.а. Распределение напряжений в армированном сечении.

Рис.3.б. Схемы усиления кирпичных столбов обоями:

металлической; железобетонной; армированной штукатуркой: 1 – планка сечением 35х5- 60х12мм; 2 – сварка; 3 – стержни диаметром 5-12мм; 4 – хомуты диаметром: 4-10мм; 5 – бетон класса В7.5- В15; 6 – штукатурка (раствор марки М50 –М100).

Предельно допустимый момент элементов каменной кладки Группы-1 (кроме с легкими заполнителями) при изгибе не может быть более : $M \leq 0.4 * f_d * b * d^2$;

или для элементов Группы 2,3,4, и Группы 1 из легких бетонов: $M \leq 0.3 * f_d * b * d^2$;

7. Подбор сеток выполняется по заданному размеру ячейки сетчатого армирования, диаметру и классу арматуры. Допускаются сетки со следующими размерами ячейки: 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70,75, 80, 85, 90, 95, 100 мм.

8. Проверка армированных каменных конструкций на срез по перевязанным сечениям:

$$V \leq \gamma_{b1} * f_{vd} * A + \gamma_a * f_{yd} * F_{a_{xy}} * A / 100,$$

где f_{vd} _ расчетное сопротивление срезу по перевязанному сечению (Табл.11 [1]); f_{yd} - расчетная прочность поперечной (сеток в вертикальном сечении или вертикальной) арматуры;

$F_{a_{xy}}$ - процент армирования сечения сетками по вертикальному сечению; γ_a - коэффициент условий работы арматуры.

9. Если условия 6, 8 не удовлетворяются, то выполняется подбор вертикальной арматуры.

$$N \leq \gamma b l * f_k * A + \gamma_a * f_{yd_z} * F_{a_z} * A / 100,$$

где f_{yd_z} - расчетная прочность на сжатие вертикальной арматуры; F_{a_z} - процент вертикального армирования сечения;

f_{sk} - расчетная прочность армированной кладки сетками:

$$f_{sk} = f_k + 2 * F_{a_x} * f_{yd_x} / 100 \leq 2 * f_k.$$

10. При проверке п.9 подбирается вертикальная арматура и выполняется дополнительная проверка по предельному моменту на основании двойного вертикального армирования [1]:

$$M \leq \gamma b l * f_k * A_c * (h_0 - 0.5 * x) + \gamma_a * f_{yd_z} * A'_z * (h_0 - a'),$$

где X – высота сжатой зоны сечения; a - толщина защитного слоя (принимается $a = a'$); h_0 – рабочая высота сечения.

Выводы: реализованные в В ПС «КИРПИЧ» режимы проверки трех типов заданного усиления кирпичных простенков (см. Рис.3.б) и подбора сеток позволяют выполнять требуемые проверки как новой и старой кладки при статических и динамических воздействиях.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. ДБН В.2.6-162:2011 «Кам'яні та армокам'яні конструкції». Київ, 2012.
2. СНиП II-22-81 «Каменные и армокаменные конструкции», М, 1981.
3. Программный комплекс «МОНОМАХ» для автоматизиро-ванного расчета и проектирования высотных многоэтажных зданий/Городецкий Д.А., Лазарев А.А., Батрак Л.Г., Максименко В.П., Маснуха А.М., Рассказов А.А.//Науч-техн. журнал «Нові технології в будівництві».№2(20). Київ. НДІБВ. 2010 с.44-50.