

УДК 69.056.52

Р.Ю. ВОДОПЬЯНОВ, главный инженер (support@rflira.ru)

ООО «Ли́ра сервис» (111141, Москва, ул. Плеханова, 7)

## Моделирование и расчет крупнопанельных зданий в ПК ЛИРА-САПР 2017

Панельное домостроение переживает второе рождение. Это заметно и по растущим объемам строительства, и по появлению новых объемно-планировочных и конструктивных решений в области крупнопанельного домостроения. Для выполнения прочностных расчетов нужны удобные многофункциональные инструменты (программные комплексы), позволяющие учитывать особенности таких конструкций. Поэтому в ПК ЛИРА-САПР 2017 появился специальный инструмент для эффективного моделирования и расчета стыков крупнопанельных зданий. Разработан специальный класс информационных объектов – «стык панелей» который позволяет существенно упростить и автоматизировать процесс моделирования стыков панельных зданий с последующей триангуляцией и получением конечно-элементной расчетной схемы. В библиотеке конечных элементов появились новые типы пластинчатых элементов специально для моделирования горизонтального стыка панелей в линейной и физически нелинейной постановке. Нелинейные эффекты таких стыков учитываются как в упрощенной постановке с итерационным уточнением жесткостей стыка, так и с использованием шагового метода, который позволяет довести конструкцию до разрушения, т. е. позволяет моделировать такие воздействия как прогрессирующее разрушение.

**Ключевые слова:** Ли́ра-сервис, ПК ЛИРА-САПР, автоматизация проектирования, САПР, расчетные программные комплексы, численное моделирование, МКЭ, прочностной расчет, крупнопанельные здания, моделирование стыков панельных зданий, платформенный стык, физическая нелинейность.

**Для цитирования:** Водопьянов Р.Ю. Моделирование и расчет крупнопанельных зданий в ПК ЛИРА-САПР 2017 // *Жилищное строительство*. 2017. № 3. С. 42–48.

R.Yu. VODOPIANOV, Chief Engineer(support@rflira.ru)  
ООО «Lira service» (7, Plekhanova Street, 111141, Moscow, Russian Federation)

### Simulation and Computation of Large-Panel Buildings in PC LIRA-SAPR 2017

Panel housing construction is experiencing a rebirth. It is evident both in the growing volumes of construction, and the emergence of new space-planning and constructive solutions in the field of large-panel housing construction. For conducting strength calculations, suitable multi-functional instruments (program complexes) which make it possible to take into account the features of such structures are required. That's why in PC LIRA SAPR 2017, a special instrument for efficient simulation and computation of joints of large-panel buildings appeared. A special class of information objects – "joint of panels", which makes it possible to significantly simplify and automate the process of the simulation of joints of large panel buildings with subsequent triangulation and obtaining of the finite-element calculation scheme has been developed. New types of plate elements have appeared in the library of finite elements for simulating the horizontal joints of panels in linear and physically non-linear formulations. Non-linear effects of such joints are taken into account both in the simplified formulation with iterative refinement of the joint rigidity and with the use of the step-by-step method which makes it possible to bring the structure to fracture, that is makes it possible to simulate such effects as propagating destruction.

**Keywords:** Lira service, PC LIRA-SAPR, automation of design, SAPR, desing software complexes, numerical simulation, MKE, strength calculation, large-panel buildings, simulation of joints of panel buildings, platform joint, physical non-linearity.

**For citation:** Vodopianov R.Yu. Simulation and computation of large-panel buildings in PC LIRA-SAPR 2017. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2017. No. 3, pp. 42–48. (In Russian).

Крупнопанельное домостроение – самый быстрый и экономичный способ возведения зданий. Это мнение профессионального сообщества, обсуждающего задачи и перспективы отрасли на Международной научно-практической конференции «Развитие крупнопанельного домостроения в России – InterConPan», которые в течение семи лет проходят с неизменным успехом [1–2]. И с этим сложно спорить.

Коммерческое монолитное жилье, несмотря на высокую стоимость, остается привлекательным для застройщиков и состоятельных потребителей за счет преимуществ свободной планировки и повышенной этажности. Для остальных слоев населения, а также для выполнения программы «До-

ступное жилье» застройщики вынуждены искать способы сокращения издержек и возводить жилье эконом-класса, на которое сохраняется относительно высокий спрос, причем не только в секторе государственного финансирования строительных программ, но и в секторе частных инвестиций [3–4]. Т. е. возрождение крупнопанельного (и вообще сборного) домостроения связано с потребностью в недорогом жилье, возводимом в самые короткие сроки и с сохранением высокого качества работ.

При этом применение новых материалов (легких бетонов, эффективных утеплителей и т. п.) увеличивает энергоэффективность и долговечность крупнопанельных зданий [5–6]. А новый подход к объемно-планировочным ре-

шениям, например широкий шаг несущих конструкций [7], позволяет успешно решать проблемы «морального» старения жилых зданий, обеспечивает возможность получения гибкой планировки. Кроме того, активно развиваются варианты решения конструктивных узлов крупнопанельных зданий. Например, разработаны варианты решения вертикальных стыков без сварки на базе различных петлевых стыков, и для них уже разработаны стандарты организации, например СТО 36554501-026–2012 «Рекомендации по расчету и конструированию жилых крупнопанельных домов с применением бессварных вертикальных и горизонтальных стыков на тросовых петлевых соединениях и многопустотными плитами безопалубочного формования». Подобные решения позволяют сделать конструкцию в целом гораздо надежнее и воспринимать значительные усилия, возникающие от сейсмических воздействий или от прогрессирующего разрушения. Что в том числе позволяет расширить область строительства крупнопанельных зданий повышенной этажности на сейсмические районы.

Возрождение интереса к строительству панельных зданий привело к разработке новых норм – СП «Крупнопанельные конструктивные системы. Правила проектирования» (Проект, Вторая редакция), что подчеркивает актуальность вопроса.

Для того чтобы проектировать и выполнять прочностные расчеты таких конструкций, исследовать различные варианты объемно-планировочных и конструктивных решений, нужны удобные многофункциональные инструменты – расчетные программные комплексы. Таким программным комплексом является ПК ЛИРА-САПР. Как и другие комплексы, ПК ЛИРА-САПР позволяет задать сложную геометрию конструкций, учесть физическую, геометрическую и конструктивную нелинейности, поэтапность возведения (монтаж), учесть работу естественного и свайного основания и т. п. Но новая версия ПК ЛИРА-САПР 2017 отличается от остальных наличием специального инструмента для эффективного моделирования и расчета стыков крупнопанельных зданий, и это новое и важное преимущество.

Основное отличие сборных зданий от монолитных состоит в наличии у них особой сущности – стыка сборных элементов и необходимости его адекватного представления в расчетной схеме. Для крупнопанельных зданий это: вертикальный стык между стеновыми панелями (может быть свободным, без связей по высоте этажа, а может содержать точечные сварные связи по закладным деталям, шпонки или непрерывные омоноличенные петлевые или сварные стыки) и горизонтальный стык между стеновыми панелями и плитами перекрытий (также может иметь разную конструкцию: платформенный, контактный и т. д.). Жесткостные и прочностные характеристики стыка определяются многими факторами: марка раствора, величины зазоров между панелями, наличие, способ размещения и характеристики закладных деталей и многое другое.

Проблемам моделирования стыков панельных зданий и определению их жесткостей посвящено множество работ [8–15]. Отдельного внимания заслуживают работы, посвященные расчету панельных зданий на прогрессирующее разрушение (аварийное воздействие, лавинообразное разрушение) [16–17].

Существующие технологии позволяют создать расчетную схему панельного здания с учетом работы стыков (с определенными упрощениями и допущениями), но требуют большой

и кропотливой работы. Созданные таким образом схемы обычно трудно редактировать. Поэтому расчеты, связанные с изменением типа стыка или его жесткостных характеристик, требуют много времени, высокой квалификации исполнителя и внимательного отношения к мельчайшим деталям.

Учитывая все трудности, с которыми сталкиваются проектировщики зданий из сборного железобетона, разработчики ЛИРА-САПР в ходе работ над новой версией 2017 г. уделили особое внимание устранению этих проблем и предложили революционные технологические решения.

В результате в препроцессоре ПК ЛИРА-САПР – САПФИР (Система Архитектурного Проектирования, Формообразования И Расчетов) появился специальный класс информационных объектов – «стыки панелей». Стык панелей – это параметрически управляемый элемент модели, наделенный интеллектом. Теперь существенно упрощается назначение стыков в проекте, а процесс редактирования их характеристик (для перебора вариантов конструктивных решений, например) не занимает много времени. Каждый стык сам «знает», в каких ситуациях и для каких конфигураций стыковки панелей он подходит. Благодаря этому стыки сами находят свои места в пространстве модели и размещаются в автоматическом или в автоматизированном режиме. Конструктор может наглядно контролировать типы стыков, обозначаемые марками и цветами, назначать им параметры, определяющие их жесткостные характеристики. Для каждого типа стыка можно определить способ представления его в расчетной схеме, задать шаг размещения узлов для разбивки на конечные элементы, выбрать тип конечных элементов, которыми представлен стык, назначить характеристики элементов. Существует ряд предустановок, позволяющий получать различные варианты стыковки деталей в конечно-элементной расчетной схеме. В частности, стык может быть свободным, шарнирным, жестким или с заполнением специализированными конечными элементами, моделирующими контактный или платформенный стык панелей. Кроме того, конструктор может самостоятельно создавать новые типы стыков, формировать из них библиотеки, переносить из проекта в проект, передавать в виде файлов на другие рабочие места (рис. 1).

В качестве исходных данных для проектирования может использоваться информационная модель здания, сформированная в САПФИР, импортированная из других программ посредством IFC или созданная в автоматизированном режиме на базе плоских поэтажных планов, представленных в формате DXF. Многообразие вариантов обеспечивает удобство интеграции новых инструментов в существующие технологические цепочки проектирования, выстроенные в организациях пользователей на базе программных средств других разработчиков. Такой подход в том числе способствует внедрению BIM-технологий в проектирование.

Если модель здания изначально создана как монолитная без учета разрезки на панели, можно воспользоваться новыми инструментами ручной и автоматической разрезки. Стены и плиты разрезаются с учетом примыкающих к ним стен и/или с учетом расположения координационных строительных осей (рис. 2). В режиме ручной разрезки динамически отображается расстояние от края панели, которое можно задать в цифровом виде, чтобы отрезать панель определенного размера. Предусмотрен режим нарезки панелей с заданным отступом, что позволяет быстро разрезать деталь на панели одинакового размера.

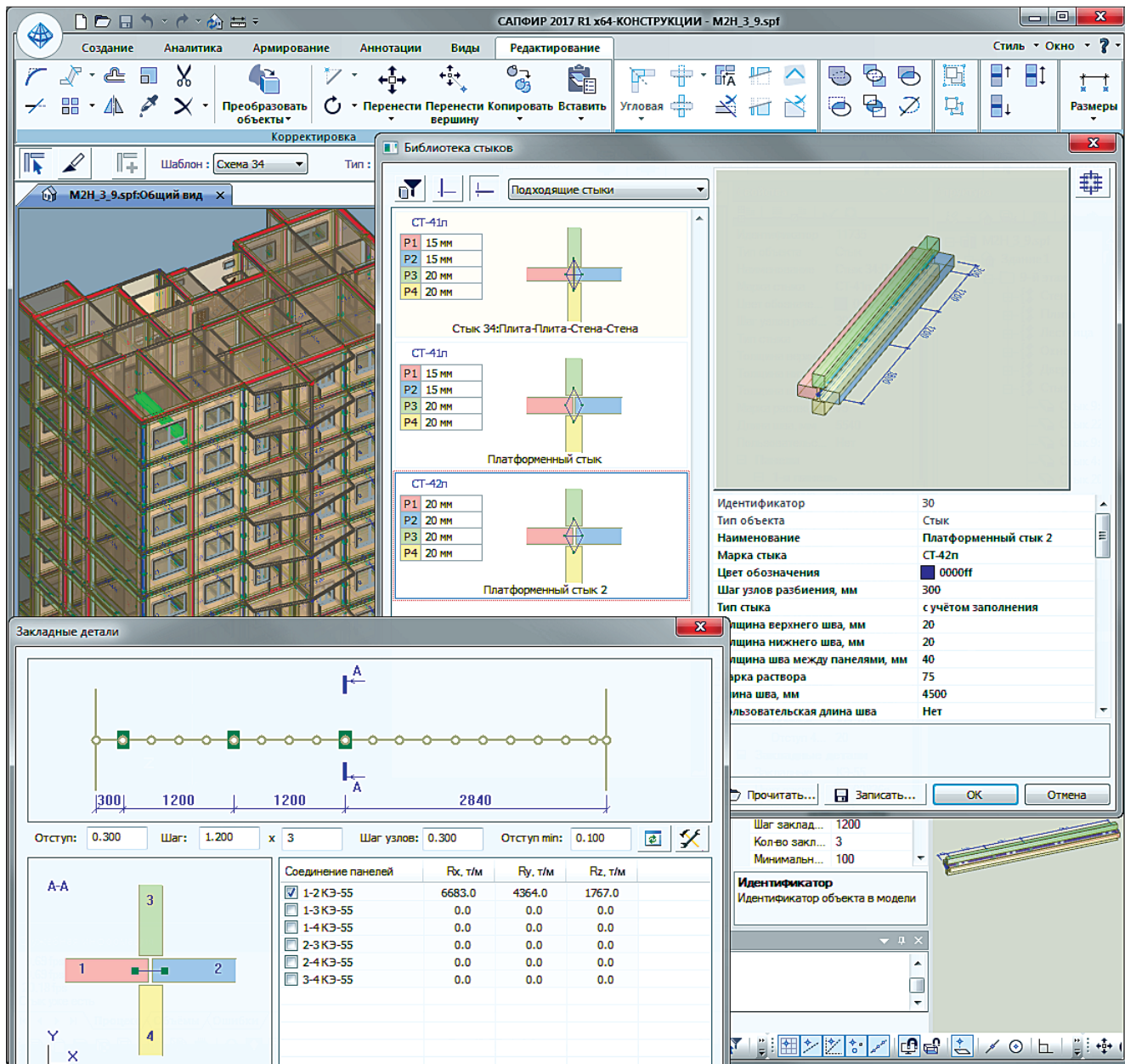


Рис. 1. Библиотека стыков и расстановка связей по закладным в препроцессоре САПФИР

Затем конструктор может выбирать стыки из библиотеки и размещать их в модели. Экземпляр, размещаемый в модели, наследует от библиотечного прототипа полный набор параметров, включая характеристики связей по закладным деталям. При этом ряд параметров доопределяется автоматически в зависимости от соединяемых деталей: стык воспринимает толщины панелей, длину области контакта. Экземпляр стыка соединяет панели и влияет на их взаимную подрезку. Заданные в описании стыка толщины швов между панелями заставляют торцы панелей раздвинуться от их исходного положения и тем самым отразить в физическом представлении модели реальную картину стыковки. При генерации конечных элементов стыка автоматически учитывается наличие проемов в стыкуемых деталях в зоне стыка (рис. 3).

Стыки в модели можно выделять, указывая, как любые другие элементы проекта. Для любого экземпляра стыка, представленного в модели, конструктор может индивидуаль-

но отредактировать характеристики, задать толщины швов, настроить положение и свойства закладных деталей. Можно даже графически отредактировать длину стыка, перемещая контрольные точки на концах оси стыка, ограничить зону стыковки. Среди свойств закладных деталей представлены их жесткостные характеристики. Изменения в параметрах стыка можно быстро распространить на однотипные или родственные экземпляры стыков в модели или занести стык с заданным набором характеристик в библиотеку для использования в дальнейшем в этом или в других проектах.

Мощные инструменты фильтрации элементов модели, как универсальные, так и специально ориентированные на обработку стыков, позволяют выделять экземпляры стыков для редактирования и осуществлять групповые модификации свойств в рамках всего проекта, выбранного этажа, в пределах вертикальных плетей, в рамках заданной марки и т. п.

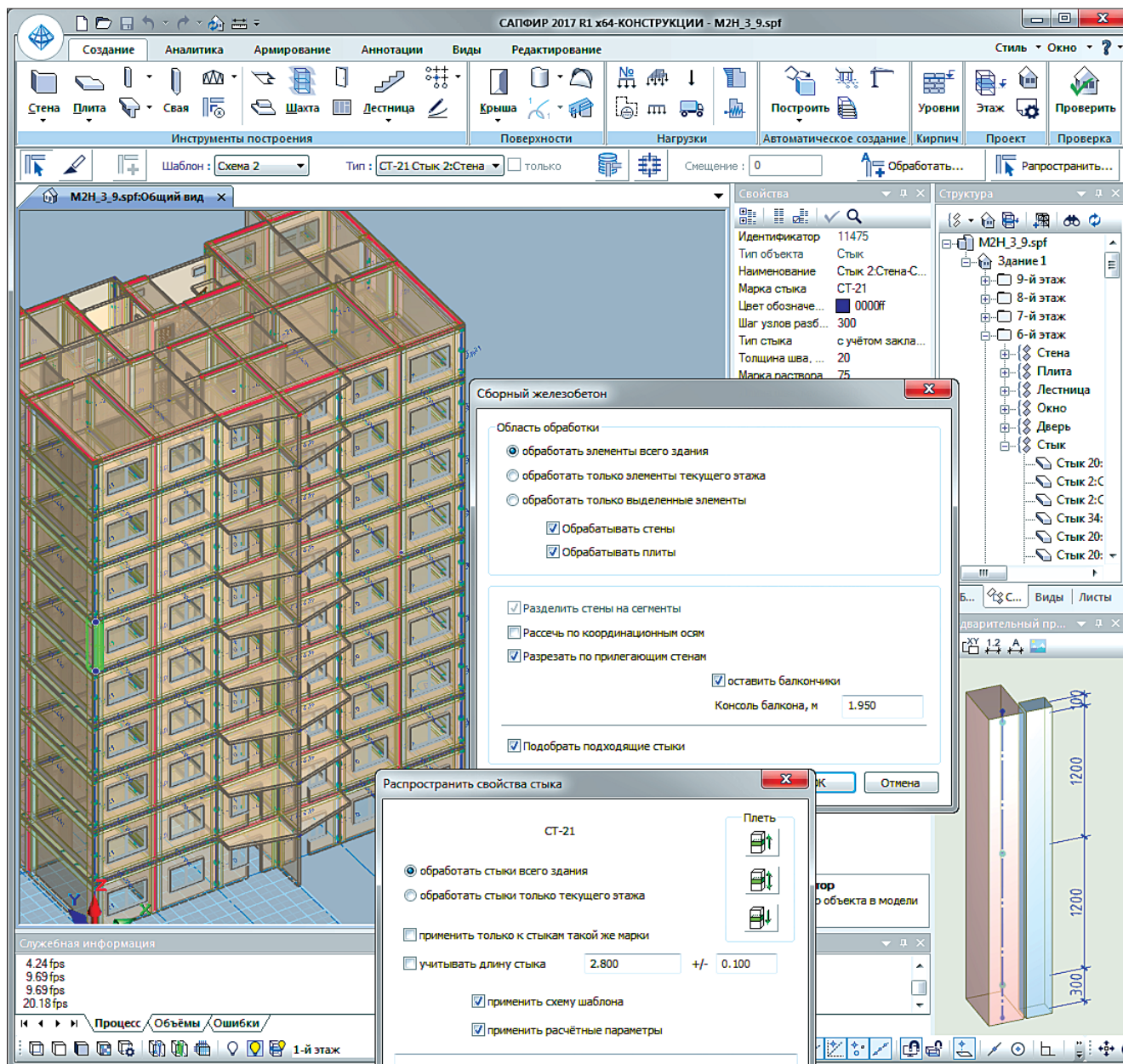


Рис. 2. Авторазрезка «монолитного» здания на отдельные сборные панели и копирование свойств стыков

Для связей по закладным деталям также можно выбрать способ представления в расчетной схеме и назначить жесткостные характеристики как для линейного, так и для нелинейного расчета (рис. 1). Позиции узлов для разбивки на конечные элементы вдоль оси стыка согласуются с позициями закладных деталей и динамически учитывают позиции проемов при их наличии в прилегающих к стыку панелях. Если перенести проем в физическом представлении, то не нужно ни пересоздавать стык, ни редактировать его характеристики – изменения автоматически проявятся при регенерации аналитического представления модели проекта.

Выше описана технология создания модели крупнопанельного здания для последующей триангуляции и получения адекватной конечно-элементной модели. А теперь поговорим непосредственно о конечных элементах, моделирующих стыки.

Основные положения по расчету панельных зданий на эксплуатационные нагрузки и вычислению податливостей стыков представлены в проекте нового СП «Крупнопанельные конструктивные системы. Правила проектирования» (Проект, Вторая редакция) и пособиях: Пособие по проектированию жилых зданий. Вып. 3. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01–85). М. 1989; Пособие по расчету крупнопанельных зданий. Вып. 1 Жесткостные характеристики. М. 1974. И если с моделированием точечного стыка по закладным все достаточно просто (по сути, это локальная связь конечной жесткости – пружина, в ПК ЛИРА-САПР это двухузловой конечный элемент КЭ 55), то с моделированием горизонтального (контактного, платформенного) стыка все гораздо сложнее.

В настоящее время существует несколько методик учета работы контактного/платформенного стыка в расчетной схеме крупнопанельного здания:

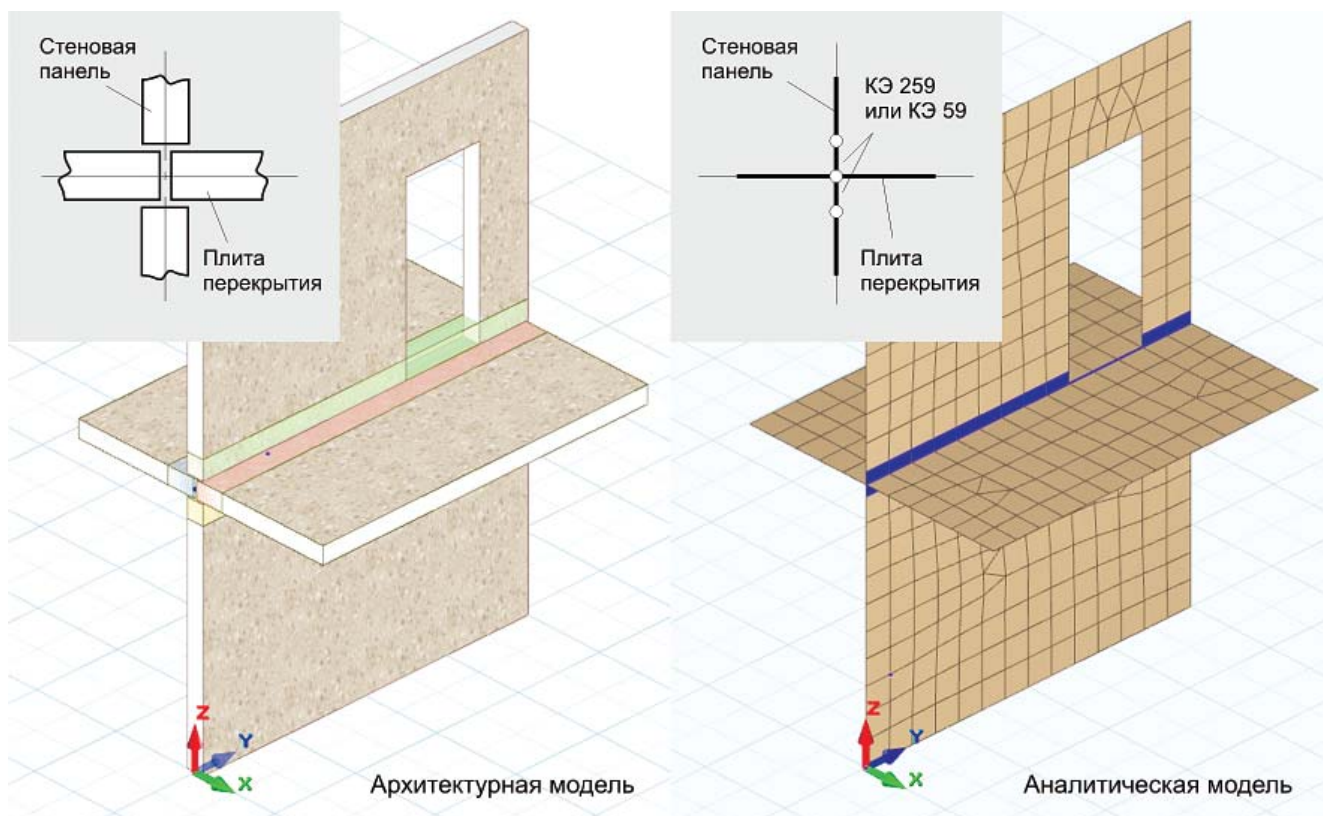


Рис. 3. Генерация МКЭ-модели платформенного стыка с учетом наличия проема и новыми типами КЭ

1. Модель эквивалентного столба, когда локальная податливость растворных швов и плиты перекрытия равномерно «размазывается» по высоте стеновой панели (этот способ упрощает построение КЭ-модели, но привносит в расчетную схему ряд неточностей, что показано в [8]).

2. Модель дискретных связей конечной жесткости (описано, например, в [9]) – данный подход уточняет поведение стыка в расчетной схеме здания, но существенно усложняет создание модели, поскольку ведет к значительному увеличению типов жесткостей дискретных связей – для каждого типа стыка и шага КЭ отдельная жесткость, что влечет за собой и большое количество вычислений «вручную», и усложняет контроль заданных исходных данных).

Среди существенных недостатков данных моделей – невозможность корректного учета нелинейного поведения стыка в первом случае и крайняя сложность учета нелинейности во втором (фактически учет нелинейных эффектов для уточнения жесткостей стыка сводится к серии последовательных расчетов с ручной корректировкой жесткостей на каждой итерации).

Чтобы избежать перечисленных недостатков, в новой версии ПК ЛИРА-САПР 2017 вводятся новые типы пластинчатых конечных элементов специально для моделирования горизонтального стыка панелей. Предварительно это: КЭ-59 для учета линейного поведения стыка и КЭ-259 для учета физически нелинейной работы. По форме элемента они могут быть как прямоугольные, так и треугольные или четырехугольные (что не накладывает каких-то строгих ограничений на геометрию сетки КЭ в области стыка).

В МКЭ-модели платформенный стык моделируется двумя рядами конечных элементов стыка (рис. 3). Контактный стык отличается лишь тем, что это один ряд элементов,

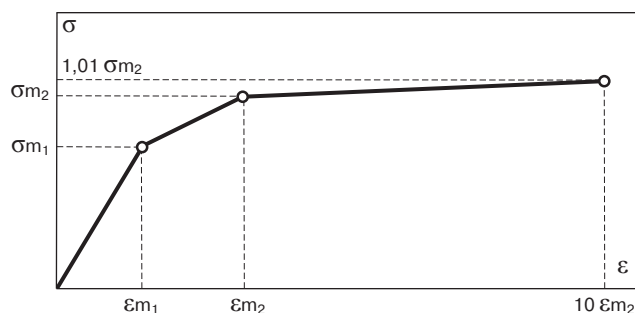


Рис. 4. Диаграмма работы специализированного нелинейного типа КЭ-259

стыкующий стеновую панель с монолитной фундаментной плитой или ростверком либо монолитными конструкциями встроенных первых этажей с магазинами, парковками и т. п.

Зависимость диаграммы  $\sigma$ – $\epsilon$  для построения НДС от вертикальных усилий для нелинейных КЭ стыка представлена на рис. 4 и соответствует положению СП «Крупнопанельные конструктивные системы. Правила проектирования» (Проект, Вторая редакция) Приложение А в части изменения податливости стыка в зависимости от напряжений и вообще границ применимости формул для вычисления податливости растворного шва. Относительные деформации стыка на графике определяются соответственно зависимости:

$$\epsilon_{mi} = \frac{\sigma_{mi} \lambda_{mi}}{h_{st}}$$

где  $h_{st}$  – полная высота стыка, мм (в случае платформенного стыка – высота плиты и двух растворных швов).

В соответствии с проектом нового СП коэффициент податливости при сжатии горизонтального растворного шва  $\lambda_m$  в зависимости от напряжения определяют по формулам:

– при  $\sigma_m \leq 1,15R_m^{2/3}$  –  $\lambda_{m1} = 1,5 \cdot 10^{-3} R_m^{-2/3} t_m$  (принимаем  $\sigma_{m1} = 1,15R_m^{2/3}$ );

– при  $\sigma_m \geq 1,15R_m^{2/3}$  –  $\lambda_{m2} = 5 \cdot 10^{-3} R_m^{-2/3} t_m$ , но не более  $2R_m^{2/3}$  (принимаем  $\sigma_{m2} = 2R_m^{2/3}$ ), где  $\sigma_m$  – среднее значение сжимающих напряжений в растворном шве, МПа;  $R_m$  – кубиковая прочность раствора, МПа;  $t_m$  – толщина растворного шва, мм;  $\lambda_m$  – коэффициент податливости растворного шва при кратковременном сжатии, мм<sup>3</sup>/Н.

Нелинейный расчет может выполняться в двух вариантах:

1) используется итерационный метод по типу «инженерная нелинейность» (описан в [18]) – для «определяющей комбинации загружений», заданной пользователем, в несколько итераций автоматически уточняется характер работы стыков (наличие отрывов в КЭ стыка приводит к обнулению вертикальных и сдвиговых жесткостей, локальные всплески напряжений в КЭ стыка меняют жесткость элементов по длине стыка), а затем производится расчет на все загружения с вычислением комбинаций РСН и РСУ,

т. е. выполняется традиционный линейный расчет (но уже с модифицированной матрицей жесткости панельного здания);

2) используется шаговый метод, т. е. моделируется последовательный процесс нагружения, в рамках которого по шагам накапливаются нелинейные эффекты (данный метод позволяет довести конструкцию до разрушения, т. е. позволяет моделировать такие воздействия, как прогрессирующее разрушение).

В результате расчета панельного здания выдается деформированная схема, изополя и мозаики напряжений и усилий в стыках и отдельных связях по закладным. Кроме того, используя новый функционал версии ПК ЛИРА-САПР 2017 «Расчет каменных и армокаменных конструкций», можно получить суммарные нагрузки на отдельные стеновые панели, как на бетонные простенки, что существенно облегчает последующую проверку несущей способности панелей.

По сути, это первая реализация специализированного инструмента для МКЭ анализа крупнопанельных зданий. Но останавливаться на достигнутом мы не будем. Есть еще возможность автоматизировать вычисления как в части исходных данных, так и в части проверки несущей способности панелей и их стыков.

#### Список литературы

1. Николаев С.В., Шрейбер А.К., Этенко В.П. Панельно-каркасное домостроение – новый этап развития КПД // *Жилищное строительство*. 2015. № 2. С. 3–7.
2. Баранова Л.Н. Развитие индустриального домостроения и промышленности строительных материалов в различных регионах России // *Вестник Российской академии естественных наук*. 2013. № 3. С. 61–63.
3. Тихомиров Б.И., Коршунов А.Н. Линия безопалубочного формования – завод КПД с гибкой технологией // *Строительные материалы*. 2012. № 4. С. 22–29.
4. Юмашева Е.И., Сапачева Л.В. Домостроительная индустрия и социальный заказ времени // *Строительные материалы*. 2014. № 10. С. 3–11.
5. Ярмаковский В.Н. Ресурсоэнергосбережение при производстве элементов конструктивно-технологических систем зданий, их возведении и эксплуатации // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 4–6.
6. Yarmakovskiy V.N., Pustovgar A.P. The scientific basis for the creation of a composite binders class characterized of the low heat conductivity and low sorption activity of cement stone // *Procedia Engineering*. 2015. № 5. P. 12–17.
7. Магай А.А., Дубынин Н.В. Крупнопанельные жилые дома с широким шагом несущих конструкций, обеспечивающих свободную планировку квартир // *Жилищное строительство*. 2016. № 10. С. 21–24.
8. Шапиро Г.И., Гасанов А.А., Юрьев Р.В. Расчет зданий и сооружений в МНИИТЭП // *Промышленное и гражданское строительство*. 2007. № 6. С. 35–37.
9. Шапиро Г.И., Юрьев Р.В. К вопросу о построении расчетной модели панельного здания // *Промышленное и гражданское строительство*. 2004. № 12. С. 32–33.
10. Блашко В.П. Замок для соединения конструктивных элементов панельного здания // *Жилищное строительство*. 2014. № 1–2. С. 3–6.
11. Данель В.В. Жесткости стыков железобетонных элементов, пересекаемых арматурными стержнями, при растя-

#### References

1. Nikolaev S.V., Shreiber A.K., Etenko V.P. Panel and frame housing construction – a new stage of development of efficiency. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015. No. 2, pp. 3–7. (In Russian).
2. Baranova L.N. Development of industrial housing construction and the industry of construction materials in various regions of Russia. *Vestnik Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk*. 2013. No. 3, pp. 61–63. (In Russian).
3. Tikhomirov B.I., Korshunov A.N. The line of bezopalubochny formation – efficiency plant with flexible technology. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 4, pp. 22–26. (In Russian).
4. Yumasheva E.I., Sapacheva L.V. House-building industry and social order of time. *Stroitel'nye materialy* [Construction materials]. 2014. No. 10, pp. 3–11. (In Russian).
5. Yarmakovskiy V.N. Energy-resources-saving under manufacturing at the elements of structural-technological building systems, their rising and exploitation. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 6, pp. 4–6. (In Russian).
6. Yarmakovskiy V.N., Pustovgar A.P. The scientific basis for the creation of a composite binders class characterized of the low heat conductivity and low sorption activity of cement stone. *Procedia Engineering*. 2015. No. 5, pp. 12–17. (In English).
7. Magay A.A., Dubynin N.V. Large-panel houses with a wide step of the bearing designs providing free planning of apartments. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2016. No. 10, pp. 21–24. (In Russian).
8. Shapiro G.I., Gasanov A.A., Yuryev R.V. Calculation of buildings and constructions in MNIITEP. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2007. No. 6, pp. 35–37. (In Russian).
9. Shapiro G. I., Yuryev R. V. To a question of creation of settlement model of the panel built building. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2004. No. 12, pp. 32–33. (In Russian).
10. Blazhko V.P. A Fastener for Connection of Structural Elements of a Panel Building. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014. No. 1–2, pp. 3–6. (In Russian).



- жени и сдвиге // *Строительство и реконструкция*. 2014. № 6 (56). С. 25–29.
12. Дanelь В.В. Решение проблемы вертикальных стыков наружных стеновых панелей // *Жилищное строительство*. 2014. № 3. С. 44–45.
13. Дanelь В.В., Кузьменко И.Н. Определение жесткости при сжатии платформенных и платформенно-молитных стыков крупнопанельных зданий // *Строительная механика и расчет сооружений*. 2010. № 2. С. 7–13.
14. Дanelь В.В. Параметры 3D-стержней, моделирующих стыки в конечноэлементных моделях // *Жилищное строительство*. 2012. № 5. С. 22–27.
15. Чентемиров Г. М., Грановский А.В. К расчету платформенных стыков на ЭВМ // *Строительная механика и расчет сооружений*. 1981. № 2. С. 59–61.
16. Шапиро Г.И., Гасанов А.А. Численное решение задачи устойчивости панельного здания против прогрессирующего обрушения // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2016. Vol. 12. Issue 2, pp. 158–166.
17. Зенин С.А., Шарипов Р.Ш., Кудинов О.В., Шапиро Г.И., Гасанов А.А. Расчеты крупнопанельных зданий на устойчивость против прогрессирующего обрушения методами предельного равновесия и конечного элемента // *Academia. Архитектура и строительство*. 2016. № 4. С. 109–113.
18. Медведенко Д., Водопьянов Р. Золотые струны ЛИРЫ-САПР // *САПР и графика*. 2013. № 2 (196). С. 10–18.
11. Danel' V. V. Zhyostkosti of joints of ferroconcrete elements, peresekayemykharmaturny cores, at stretching and shift. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2014. No. 6 (56), pp. 25–29. (In Russian).
12. Danel' V.V. Solution of the problem of vertical joints of external wall panels. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing construction]. 2014. No. 3, pp. 44–45. (In Russian).
13. Danel' V.V., Kuzmenko I.N. Determination of rigidity at compression of platform and monolithic joints of large-panel buildings. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii*. 2010. No. 2, pp. 7–13. (In Russian).
14. Danel' V.V. The 3D-parameters – the cores modeling joints in the konechnoelementnykh models. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing construction]. 2012. No. 5, pp. 22–27. (In Russian).
15. Chentemirov G.M., Granovsky A.V. To calculation of platform joints at the COMPUTER. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii*. 1981. No. 2, pp. 59–61.
16. Shapiro G.I., Gasanov A.A. The numerical solution of a problem of stability of the panel building against the progressing collapse. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2016. Vol. 12. Issue 2, pp. 158–166.
17. Zenin S.A., Sharipov R.Sh., Kudinov O.V., Shapiro G.I., Gasanov A.A. Calculations of large-panel buildings on stability against the progressing collapse by methods of extreme balance and a final element. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2016. No. 4, pp. 109–113.
18. Medvedenko D., Vodopyanov R. Gold strings of LIRY-SAPR. *SAPR i grafika*. 2013. No. 2 (196), pp. 10–18. (In Russian).