

УДК 624.016

**С.П. Иванов**, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: pgs\_swsu@mail.ru)

## **ОЦЕНКА ПРИЧИН ЛОКАЛЬНОГО ОБРУШЕНИЯ НЕСУЩЕГО КИРПИЧНОГО СТОЛБА ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДАНИЯ В Г. КУРСКЕ**

*В статье проведен анализ аварийной ситуации, возникшей в здании 40-50 годов постройки в г. Курске, связанной с разрушением вертикальной несущей конструкции – кирпичного столба. Представлены особенности возведения рассматриваемого здания за период с 1950 г. по 2015 г. Выявлена и представлена последовательность пристроек и надстроек здания в разное время. Отмечено нетрадиционное решение скатного железобетонного покрытия второго этажа исходной части здания. Описана двухэтажная пристройка к торцу исходной части здания с использованием в покрытии типовых сборных железобетонных многопустотных плит перекрытия, установленных со значительным уклоном для формирования скатной кровли. Представлено конструктивное решение надстроек третьего этажа. Выявлены особенности конструктивного решения перекрытия второго этажа в зоне существовавшего скатного покрытия с включением существующего скатного покрытия в состав перекрытия.*

*Так же в статье описаны дефекты и повреждения основных конструктивных элементов – кирпичных столбов, балок перекрытия, перегородок, других элементов здания в разных его частях и отмечен ряд факторов, которые выступили в роли «катализаторов» процесса силового разрушения несущего кирпичного столба. Представлены результаты анализа расчетной модели части здания в зоне аварийного повреждения при рассмотрении запроектного воздействия в части выявленных нагрузок, при которых несущий кирпичный столб первого этажа получил силовое разрушение. Показано, что неразрушенная часть здания, получив значительные деформационные повреждения, сохранила относительную устойчивость. Так же в статье представлены рекомендации по усилению обследуемого здания с целью предотвращения прогрессирующего обрушения.*

**Ключевые слова:** обрушение, несущая способность, износ и повреждения.

\*\*\*

Публикации последних лет посвящены оптимизации расчетных моделей для численного исследования «приспособляемости» строительных конструкций, работающих в условиях воздействий, не предусмотренных проектом, когда при внезапном выходе из строя одного или нескольких элементов конструкция адаптируется к новой ситуации, изменив (иногда за счет потери эксплуатационных качеств) свою первоначальную конструктивную схему [1-4]. В частности, в научной работе [1] речь идет о термине «живучесть», согласно которому расчет конструкции здания или сооружения должен обеспечивать в наихудшем варианте локальное разрушение от внезапно-го запроектного воздействия.

При рассмотрении запроектного воздействия особое внимание уделяется моделированию такого воздействия, что в условиях проектирования нового объекта строительства требует ресурсоемкого расчета. Что же касается реконструкции существующих зданий, то проектиров-

щик зачастую сталкивается с необходимостью не только полного обновления проектной документации, но и с выполнением обязательной сегодня оценки живучести несущих конструктивных элементов.

В настоящей работе выполнен анализ проектных решений варианта надстройки и пристройки к зданию постройки 40-х- 50-х годов прошлого века ОАО «Курский ЦУМ», расположенного по адресу г. Курск ул. Ленина 12 (рис. 1). Здание в плане простой формы: трехэтажное прямоугольное и бесподвальное.

Процесс возведения здания был условно разделен на два этапа: вначале была построена двухэтажная часть здания, конструктивной особенностью которой является монолитное железобетонное перекрытие и двускатное монолитное железобетонное покрытие, выполненное с использованием монолитной железобетонной плиты по главным и второстепенным монолитным железобетонным балкам покрытия.



Рис. 1. Общий вид существующего здания

Вся конструкция монолитного покрытия и перекрытия опирается на два ряда кирпичных столбов и наружные кирпичные стены. Затем, уже в 70-е годы прошлого века, в продолжение основного корпуса была возведена двухэтажная пристройка. Пристройка отличалась от исходной конструктивной схемы наличием сборных железобетонных балок и плит перекрытия и покрытия марки ПК 15-60т, опертых на продольные кирпичные стены и на спаренные балки пролетом 6 м, установленные на кирпичные столбы в середине пролета. Плиты покрытия были установлены на сборные железобетонные спаренные балки по оси «Б/1» (середине пролета) и на наружные кирпичные стены со значительным уклоном (разница отметок в середине пролета и у карниза превышает 1.0 м) (рис. 2). Сборные железобетонные спаренные балки по оси «Б/1» (в середине пролета) установлены на неармированные кирпичные столбы сечением 510x510 мм с шагом 6 м.

Далее была проведена реконструкция, которая заключалась в надстройке этажа, при этом конструкция перекрытия второго этажа включала сборное железобетонное

скатное покрытие существовавшей пристройки, поверх которого устраивалось горизонтальное перекрытие с опиранием, с одной стороны, на фасадные несущие стены, а с другой – на коньковый узел существующего покрытия в виде железобетонных плит, уложенных с уклоном.

Покрытие 3-го этажа, вероятно с целью снижения нагрузок на кирпичные столбы, было выполнено из металлических ферм, прогонов и профилированного листа с опиранием на продольные кирпичные стены.

Последняя реконструкция (80-е годы прошлого века) привела к возведению со стороны продольной стены (см. рис. 2 по оси «Е») здания по всей высоте трехэтажной пристройки с двумя лестничными клетками.

В процессе эксплуатации и неоднократной реконструкции с фактическим увеличением действующих нагрузок на несущие конструктивные элементы, кирпичные столбы и перекрытия получили повреждения, которые привели к возникновению аварийной ситуации с выключением из работы несущей опоры (рис. 3).

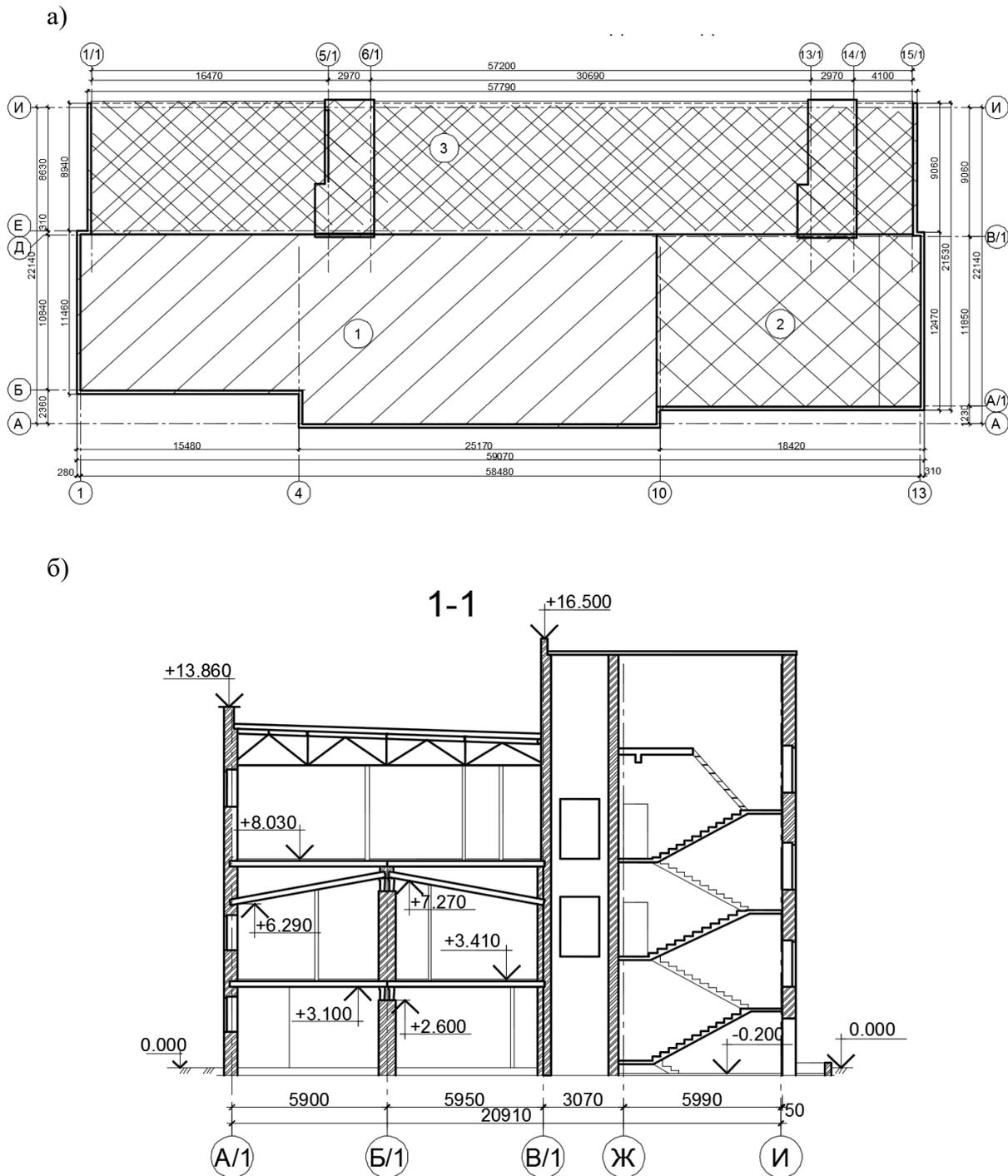


Рис. 2. Конструктивная схема здания: а - схема плана первого этажа - 1- исходная часть здания с последующей надстройкой; 2- пристройка двухэтажной части с использованием сборных железобетонных плит перекрытия (впоследствии участок, на котором произошло обрушение); 3- трехэтажная пристройка; б – поперечный разрез

Фактически действующие усилия были перераспределены между сохранившимися своей несущую способностью конструкциями. При этом дальняя балка опирается на две поперечные стены с консольным вылетом и находится в

настоящее время в аварийном состоянии (рис. 4). На данной фотографии прослеживается наклонная, переходящая в вертикальную, трещина между кладкой вент-короба и кирпичным столбом, что свидетельствует о включении кладки

вент-короба в передачу нагрузки от балки при ненормативной – в данном случае относительно жесткой заделке балки в стене.

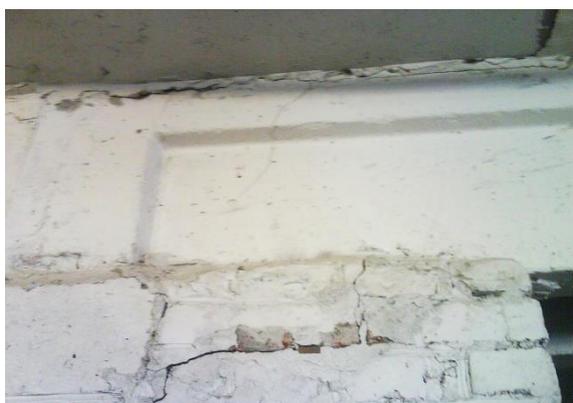
При оценке технического состояния здания учитывались характер, величина и опасность дефектов и повреждений, возможность их дальнейшего развития, фактическая несущая способность и надежность конструктивных элементов в конструктивной схеме здания, величины фи-

зического и морального износа конструкций и ряд других факторов [5-7].

С этой целью были оценены расчетные схемы и нагрузки на конструкции, выполнен контроль необходимых физико-механических свойств материалов, установлено качество конструкций, материалов и соединений, выполнены поверочные расчеты. В том числе при оценке кирпичных столбов полученные результаты следующие (табл.).



Рис. 3. Первый этаж. Аварийное разрушение кирпичного столба по оси «Б/1» и «12»



а)



б)

Рис. 4. Повреждение балки перекрытия: а - балка 1-го этажа по осям «Б/1» и «11»; б - повреждение торцевых частей балок перекрытия 1-го этажа по оси «12-Б/1» в месте разрушения кирпичного столба

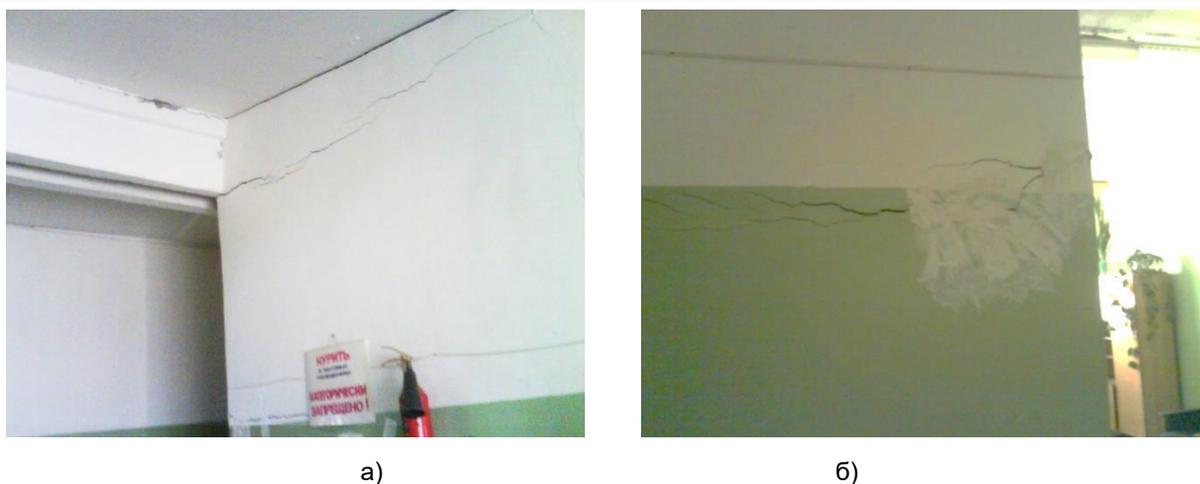


Рис. 5. Горизонтальные трещины: а - в перегородке в осях «11-12»-«Б/1» на втором этаже в зоне аварийного столба; б - в перегородке в осях «11-12»-«Б/1» на втором этаже в зоне аварийного столба

#### Результаты поверочных расчетов кирпичных столбов в зоне аварии

| № | Конструкция                                  | Фактор                                | Коэффициент использования |
|---|--|---------------------------------------|---------------------------|
| 1 | Кирпичный столб второй этаж                  | Устойчивость при центральном сжатии   | 0.824                     |
| 2 | Кирпичный столб в аварийной зоне первый этаж | Устойчивость при центральном сжатии   | 1.402                     |
| 3 | Кирпичный столб 1-й этаж                     | Устойчивость при внецентренном сжатии | 1.02                      |

Расчет наглядно иллюстрирует реальную несущую способность кирпичного столба на момент разрушения.

Анализ сложившейся ситуации позволяет сделать некоторые выводы. В проекте пристройки в осях «10-13» и «А/1 – В/1» в покрытии второго этажа сборные железобетонные плиты установлены со значительным уклоном (перепад отметок превышает 1м), что безусловно является нарушением схемы опирания многопустотных плит перекрытия. Это обстоятельство привело к передаче нагрузки плиты на угол верхнего пояса балки, что помимо косоугольного изгиба балки создало распор, передающийся на продольную стену. Последующая надстройка увеличила действующие в конструктивных элементах усилия и, в конечном счете, с течением времени привела к аварийной

ситуации. В процессе обследования был выявлен ряд факторов, которые выступили в роли «катализаторов» процесса. Среди них ИГУ площадки со сложным основанием (просадочное - I типа просадочности), с наличием мощного слоя насыпи в верхней части. Теоретическая полная деформация основания фундаментов по оси аварийного столба превышает предельное допустимое значение и относительная неравномерность деформации между стеной и столбом может составить при замачивании основания стены и отсутствия просадки основания кирпичного столба –  $i=0.0236$ , что превышает предельно допускаемую величину. Однако необходимо отметить, что деформационные повреждения, свидетельствующие о потере несущей способности основания под стенами, а также о превышении пре-

дельных значений осадки, отсутствуют. По итогам проведенного обследования признаны аварийными оставшиеся неразрушенными сборные железобетонные балки перекрытия 1-го этажа. Локальное разрушение стало возможным только лишь благодаря качественной анкеровке плит перекрытия и их заземлению в вентиляционных каналах и перегородке первого этажа. Вместе с тем балки получили значительные повреждения в виде горизонтальных и наклонных трещин в опорных зонах. Кирпичный столб второго этажа в зоне аварии получил повреждение в виде горизонтальной трещины раскрытием до 3 мм. Балки перекрытия получили вертикальную деформацию до 10 мм с образованием между ними и плитами перекрытия горизонтальной щели. От обрушения второй этаж спасло перераспределение усилий от перекрытия 2-го этажа в виде распора на продольные несущие стены и, как уже было сказано, качественная анкеровка плит покрытия 2-го этажа. Несмотря на горизонтальные трещины перегородок с раскрытием до 10 мм, горизонтальную внутреннюю трещину фасадной стены с раскрытием до 3 мм, вертикальную осадку пола второго этажа до 25 мм, и другие повреждения здание не разрушилось. Автором в составе рабочей группы был предложен ряд мероприятий по предотвращению прогрессирующего обрушения оставшихся не разрушенными конструктивных элементов, в составе которых:

- установка временных раскрепляющих стоек и рам в аварийной зоне;
- замена разрушенного кирпичного столба кирпичной стеной на собственном фундаменте с включением в работу фундамента разрушенного столба на 1-ом этаже. Новую кирпичную стену включить в совместную работу с железобетонной балкой перекрытия;
- установка на 2-ом этаже дополнительных вертикальных опорных элементов;

– в зоне аварии усиление простенков металлической обоймой от потолка до пола с установкой муфтовых затяжек в зоне усиленных простенков;

– усиление кирпичных столбов 1-го и 2-го этажей металлическими обоймами.

Фактически было выполнено усиление перекрытия, столб заменен кирпичной стеной, использовано поэтапное поддомкрачивание поврежденных балок и плит покрытия, что позволило получить закрытие горизонтальных трещин в столбе, перегородках и стенах второго и третьего этажей.

**Вывод.** «Оригинальный» способ надстройки третьего этажа по скатному железобетонному покрытию второго этажа привел к перегрузке кирпичного столба первого этажа и возникновению аварийной ситуации при использовании ненормативной временной нагрузки на перекрытие. При возникновении аварийной ситуации в виде локального разрушения кирпичного столба произошло перераспределение усилий в конструктивной схеме здания, что предотвратило прогрессирующее разрушение здания. Этот факт еще раз обращает внимание проектировщиков на необходимость проведения расчетов живучести конструктивных элементов, разработки и совершенствования методик таких расчетов. Что касается рассматриваемого здания, то использование, например, дополнительных пролетных опор в виде поперечных или продольных стеновых элементов позволило бы не только повысить пространственную жесткость здания, но и увеличить несущую способность, и как следствие, живучесть конструктивной системы при аварийной ситуации, связанной с выключением (разрушением) опоры.

#### Список литературы

1. Некоторые результаты анализа и обобщения научных исследований по теории конструктивной безопасности и

живучести / В.М. Бондаренко, Н.В. Ключева, В.И. Колчунов, Н.Б. Андросова // Строительство и реконструкция. – 2012. – № 4. – С. 3-16.

2. Ключева Н.В., Прокопенко В.В. К определению параметра живучести пространственных конструктивных систем смешанным методом // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2011. – №3(36). – С.146-149.

3. Ключева Н.В. Предложения к расчету живучести коррозионно-повреждаемых железобетонных конструкций // Бетон и железобетон. – 2008. – № 3. – С. 22-26.

4. Колчунов В.И., Скобелева Е.А., Ключева Н.В. К расчету живучести внезапно повреждаемых железобетонных рам с элементами составного сечения //

Academia. Архитектура и строительство. – 2006. – № 3. – С. 23-26.

5. РД.22-01.97. Требования к проведению оценки безопасности эксплуатации производственных зданий и сооружений поднадзорных промышленных производств и объектов (обследования строительных конструкций специализированными организациями). – М., 1997.

6. Пособие по обследованию строительных конструкций / АО ЦНИИ Промзданий. – М., 1997.

7. Каталог конструктивных решений по усилению и восстановлению строительных конструкций промышленных зданий / ЦНИИ Промзданий. – М., 1987. – 333 с.

*Получено 23.03.16*

**S. P. Ivanov**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: pgs\_swsu@mail.ru)

## **EVALUATION OF THE CAUSES OF LOCALIZED FAILURE OF A BRICK BEARING PILLAR IN KURSK PUBLIC BUILDING**

*The analysis of the emergency situation caused by the failure of the vertical bearing structure (brick pillar) arisen in the building built in the 1940s-1950s in the city of Kursk is carried out in the article. The specific features of the construction of the building under consideration for the period of 1950-2015 are presented. The sequence of extensions and overbuilt and added floors made at different times is revealed and given. Special attention is paid to the unconventional solution applied to the pitched reinforced concrete roof of the second floor of the original part of the building. A two-storey extension to the original building gable facade, using for covering standard ready-made hollow core concrete slabs installed with a significant slope to form a pitched roof is described. A structural solution of the 3rd overbuilt floor is given. The peculiarities of the structural solution of the above stairs flooring in the area of the existing pitched roof which was incorporated in the flooring have been revealed.*

*The defects and damages of the main structural members, brick pillars, floor beams, separation partitions and other components of the building in different parts are described. A number of factors which caused the process of brick bearing pillar failure are determined. The results of the analysis of the design model of the building part in the area of the accident-caused damage when considering beyond design basis impacts concerning detected loads resulting in the stress destruction of the bearing brick pillar located on the first floor are presented. It is indicated that the undestroyed part of the building with significant strain damage remained relatively stable. The article also provides some recommendations concerning strengthening of the building under study in order to prevent progressive collapse.*

*Key words: failure, load capacity, wear and damages.*

\*\*\*

## **References**

1. Nekotorye rezul'taty analiza i obobshheniya nauchnyh issledovaniy po teorii konstruktivnoj bezopasnosti i zhivuchesti / V.М. Bondarenko, N.V. Kljueva, V.I. Kolchunov, N.B. Androsova // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – 2012. – № 4. – S. 3-16.

2. Kljueva N.V., Prokopenko V.V. K opredeleniju parametra zhivuchesti pro-

stranstvennyh konstruktivnyh sistem smeshannym metodom // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. – 2011. – №3(36). – S.146-149.

3. Kljueva N.V. Predlozhenija k raschetu zhivuchesti korrozionno-povrezhdaemyh zhelezobetonnyh konstrukcij // Beton i zhelezobeton. – 2008. – № 3. – S. 22-26.

4. Kolchunov V.I., Skobeleva E.A., Kljueva N.V. K raschetu zhivuchesti vne-

zapno povrezhdaemyh zhelezobetonnyh ram s jelementami sostavnogo sechenija // Academia. Arhitektura i stroitel'stvo. – 2006. – № 3. – S. 23-26.

5. RD.22-01.97. Trebovanija k provedeniju ocenki bezopasnosti jekspluatacii proizvodstvennyh zdaniy i sooruzhenij pod nadzornyh promyshlennyh proizvodstv i ob#ektov (obsledovanija stroitel'nyh kon-

strukcij specializirovannymi organizacijami). – M., 1997.

6. Posobie po obsledovaniju stroitel'nyh konstrukcij / AO CNII Promzdaniy. – M., 1997.

7. Katalog konstruktivnyh reshenij po usileniju i vosstanovleniju stroitel'nyh konstrukcij promyshlennyh zdaniy / CNII Promzdaniy. – M., 1987. – 333 s.

УДК 681.3

**Э.И. Ватулин**, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: evatutin@rambler.ru)

**А.Д. Журавлев**, программист, Интернет-портал VOINC.ru (Самара) (e-mail: alexone07@mail.ru)

**О.С. Заикин**, канд. техн. наук, н.с., ИДСТУ СО РАН (Иркутск) (e-mail: zaikin.icc@gmail.com)

**В.С. Титов**, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: titov-kstu@rambler.ru)

### УЧЕТ АЛГОРИТМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЗАДАЧИ ПРИ ГЕНЕРАЦИИ ДИАГОНАЛЬНЫХ ЛАТИНСКИХ КВАДРАТОВ

*В статье приведена постановка задачи получения диагональных латинских квадратов (ДЛК) заданного порядка  $N$ . Показано, что данная задача достаточно просто формулируется, однако для ее решения могут потребоваться как использование эвристических методов, так и ряд алгоритмических приемов, относящихся к алгоритмической и высокоуровневой оптимизации программных средств, учитывающих особенности решаемой задачи (формируемой комбинаторной структуры) и позволяющих повысить темп генерации диагональных латинских квадратов. К ним относятся: использование диагонального порядка заполнения элементов ДЛК; использование статических структур данных вместо размещения их в динамической памяти; учет числа возможных значений  $|S_{ij}|$  для еще не заполненных ячеек квадрата в совокупности с ранним внеочередным заполнением ячеек с  $|S_{ij}|=1$  и ранним отсечением неперспективных ветвей дерева комбинаторного перебора с  $|S_{ij}|=0$ ; применение вспомогательных структур данных (одномерных массивов) для быстрого заполнения множеств допустимых элементов  $S_{ij}$ ; отключение технологии Hyper-Threading при однопоточной генерации ДЛК в совокупности с ликвидацией фоновой нагрузки на ядра CPU, не используемые в процессе генерации ДЛК; выбор порядка заполнения ячеек квадрата по критерию  $|S_{ij}| \rightarrow \min$ , что уменьшает арность узлов дерева комбинаторного перебора; использование PGO-компиляции. Для каждой из оптимизаций даны конкретные цифры темпа генерации, измеренного для однопоточной программной реализации на современных процессорах. Показано, что наиболее эффективным является подход на базе метода полного перебора с ранним отсечением неперспективных решений, который при специализированной программной реализации с использованием  $N^2$  вложенных циклов обеспечивает темп генерации до 340 000 квадратов в секунду.*

**Ключевые слова:** латинские квадраты, дискретная комбинаторная оптимизация, эвристические методы, метод взвешенного случайного перебора, метод муравьиной колонии, задача о булевой выполнимости, алгоритмическая и высокоуровневая оптимизация.

\*\*\*

Диагональный латинский квадрат (ДЛК) порядка  $N$  – это квадратная матрица размеров  $N \times N$ , заполненная элементами некоторого множества  $U$ ,  $|U|=N$  таким образом, что в каждой строке, в каж-

дом столбце, а также в главной и побочной диагоналях таблицы каждый элемент из  $U$  встречается в точности один раз [1]. В дальнейшем в настоящей статье в качестве  $U$  будет использовано множество