

аппроксимации должен быть продолжен для различных случаев соотношений жесткостных характеристик рассчитываемых элементов.

Ключевые слова: метод конечных элементов, пластинчатая модель, сходимость напряжений, сингулярность.

#### ANNOTATION

In practical calculations of engineering structures by means of Finite Element Method with application of plate models for adjustments in special areas recently Hot-Spot Stress procedure are applied. To clarify the technology of its use, the author conducted a special research on test models and models of real structures. The paper presents the results of the estimation of convergence of the stresses in special areas for plate models of building structures, which were calculated using the Finite Element Method on the basis of complex SCAD for Windows. Their analysis shows about the fact that the application of plate finite element models considering static loads is quite incorrect, and even stated the procedure for HSS is not sufficient for obtaining practically acceptable level of stresses. Therefore, the search for a more correct approach or approximation procedure should be continued for the different cases of ratio of the stiffness characteristics of the calculated elements.

Keywords: finite element method, plate model, convergence of the stress singularity.

**УДК 693.554.6**

**Радкевич А.В., д.т.н., проф., ДНУЖТ  
Нетеса А.Н., асп., ДНУЖТ**

#### **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО СПОСОБА СОЕДИНЕНИЯ АРМАТУРЫ ВЕРТИКАЛЬНЫХ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ МОНОЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО КАРКАСА**

Разработан алгоритм определения рационального способа соединения арматуры вертикальных несущих элементов монолитного железобетонного каркаса. Алгоритм адаптирован для применения всеми участниками строительства на этапе проектирования и охватывает наиболее эффективные способы соединения арматуры – ванношовное сваривание, соединение внахлестку, а также механические соединения арматуры резьбовыми и обжимными муфтами. В результате оптимизируются затраты трудовых и материальных ресурсов, а также сокращаются сроки строительства.

Ключевые слова: арматура, соединение, алгоритм, ранжирование, рациональный, каркас, монтаж, муфты.

**Актуальность темы.** Сегодня монолитное строительство является одним из наиболее распространенных способов возведения зданий и сооружений. Вследствие этого обеспечивается высокая конкурентоспособность строительных работ. Но длительное время применение прогрессивных технологий монолитного строительства в нашей стране имело ограниченный характер и сдерживалось рядом объективных причин. Одна из них – использование для соединения арматуры устаревших способов, которые приводили к значительным материальным затратам или имели значительную трудоемкость.

Развитие рыночных отношений во всех сферах жизни, в том числе и в строительстве, требует постоянного

совершенствования, направленного на заказчика строительной продукции. Потому кардинально изменился подход не только к целям и заданиям строительства, но и к выбору рациональных методов в технологии и организации строительного производства. Это в первую очередь связано с возрастающей потребностью общества в улучшении качества жилых и общественных зданий, в необходимости научного подхода к эффективному использованию всех видов ресурсов. В частности, для заказчика крайне важным становится не только экономическая эффективность конструктивных и технологических решений, но и кратчайшие сроки возведения здания. В условиях конкурентной экономики и строительства необходимо обеспечить гибкость организационно-технологических решений с возможностью адаптации под потребности конкретного заказчика строительства.

**Последние исследования.** В настоящее время в монолитном строительстве распространены несколько способов соединения несущей арматуры колонн и пилонов. Основными среди них являются соединение арматурных стержней внахлестку, ванношовным свариванием, резьбовыми муфтами с цилиндрической или конусной резьбой, а также соединение обжимными муфтами. Каждый из способов имеет ряд достоинств и недостатков. Но комплексный анализ всех методов с выбором оптимального выполняется крайне редко. Отчасти это затруднено потому, что использование механических соединений требует изменения материально-технической базы подрядчика, обучения персонала, совершенствования организационно-технологических решений и т.д. К тому же отсутствуют наработки по оценке эффективности подобных способов соединения арматуры для распространенных типов каркасов, и применение в основном наблюдается для больших комплексов или отдельных уникальных объектов.

**Цель:** разработать эффективный алгоритм определения рационального

способа соединения арматуры вертикальных несущих элементов монолитного железобетонного каркаса. Алгоритм должен быть применим всеми участниками строительства. Определение и использование рационального способа соединения арматуры позволит сократить сроки строительства, оптимизировать трудовые и ресурсные затраты.

**Основной текст.** Путем проведения ранжирования факторов, влияющих на выбор оптимального способа соединения арматуры методом экспертного оценивания установлены 7 наиболее важных с точки зрения экспертов факторов. Для определения степени согласованности мнений экспертов был рассчитан коэффициент конкордации по следующей формуле:

$$K_{konk} = \frac{K}{K_{max}} \quad (1)$$

где  $K_{konk}$  – коэффициент конкордации;  
 $K$  – сумма квадратов алгебраических разниц;

$K_{max}$  – максимально возможное значение суммы квадратов алгебраических разниц.

$K_{konk} = 0.26$  говорит о наличии слабой степени согласованности между мнениями экспертов.

Далее оценим значимость коэффициента конкордации. Для этой цели исчислим критерий согласования Пирсона (2, 3):

$$\chi^2 = \frac{12S}{mn(n+1)} \quad (2)$$

$$\chi^2 = \frac{12 \cdot 11574}{14 \cdot 14(14+1)} = 47.24 \quad (3)$$

Вычисленный  $\chi^2$  сравним с табличным значением для числа степеней свободы  $K = n-1 = 14-1 = 13$  и при заданном уровне значимости  $\alpha = 0.05$ .

Так как  $\chi^2$  расчетный  $47.24 >$  табличного (22.36203), то  $W = 0.26$  - величина не случайная, а потому полученные результаты имеют смысл и могут использоваться в дальнейших исследованиях.

После оценки показателей ранговой корреляции установлено, что эксперты из различных областей строительства достаточно едины между собой в оценке

факторов. Наиболее значимые 7 факторов с высокой долей вероятности должны определять способ соединения арматуры, применимый в конкретных условиях. Но возможны некоторые отклонения от них при проведении ранжирования для конкретного объекта. Поэтому рациональным будет создание комплексной методики, которая путем разработки алгоритма определит

наиболее подходящий способ соединения арматуры практически для любого монолитного железобетонного каркаса здания. Алгоритм должен охватывать все основные способы соединения арматуры, легко адаптироваться под разные объекты, а также быть применимым любым участником строительного процесса (рис.1).

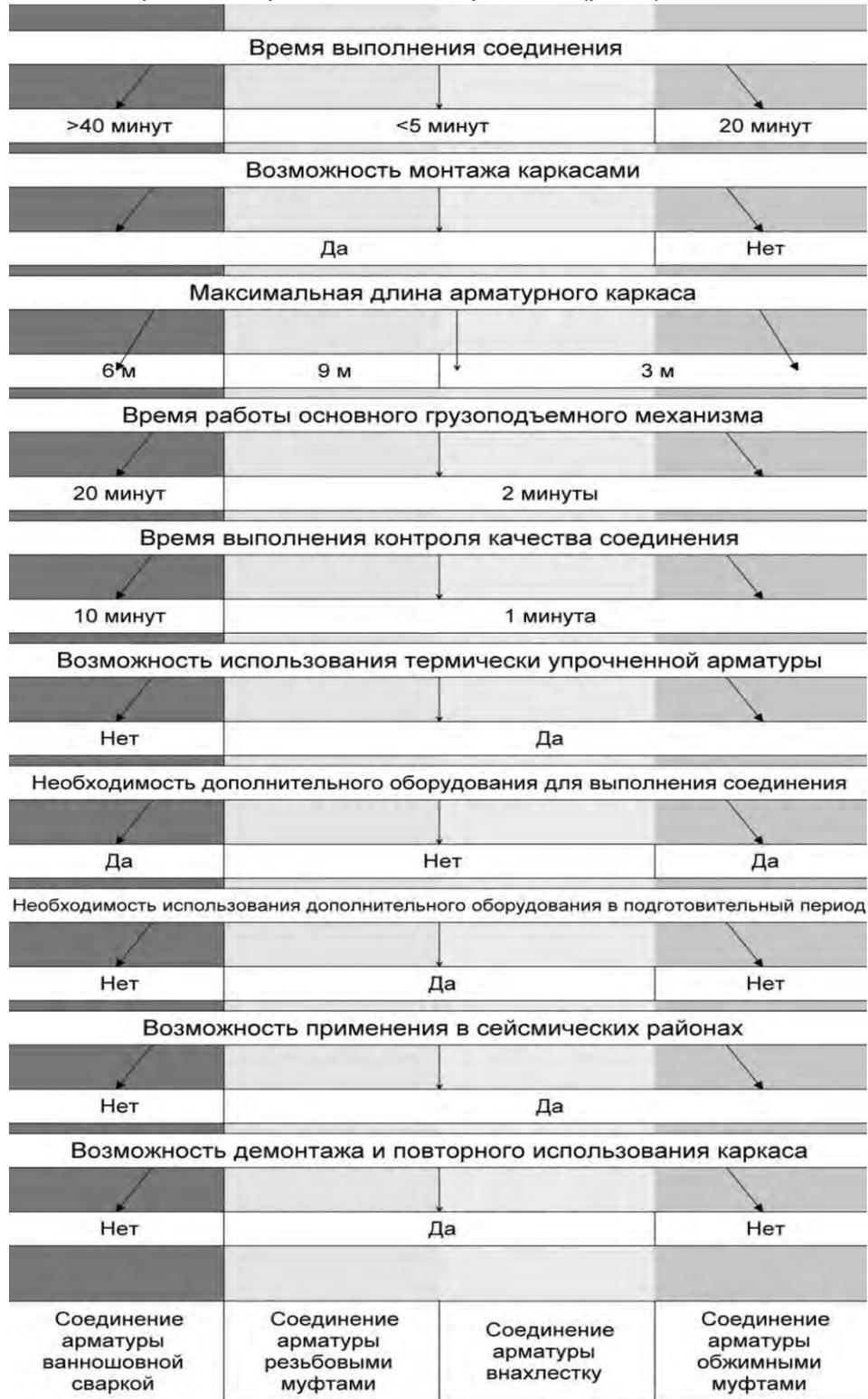


Рис.1. Алгоритм выбора оптимального способа соединения арматуры

Предлагается следующая последовательность действий по выбору рационального способа соединения арматуры для объекта:

1) Оценивается каждый фактор в зависимости от применимости значения фактора к условиям выполнения работ. Оценка выполняется всеми участниками строительства (заказчиком, проектировщиком в лице главного конструктора, подрядчиком). Например, для первого фактора (время выполнения соединения) для заказчика, которому крайне важно как можно быстрее завершить строительство объекта и начать продажи помещений, подходящим является время выполнения соединения 5 минут, что характерно для соединения арматуры внахлестку и резьбовыми муфтами. А для подрядчика, которому крайне важным является распределение работ по строительной площадке при максимальной разгрузке монтажного горизонта, в пункте «максимальная длина арматурного каркаса» наиболее привлекательным является вариант «9 м», характерный только для соединения арматуры муфтами с цилиндрической резьбой. Оценка факторов выполняется путем проставления отметок в каждом пункте в колонке, которая соответствует определенному способу соединения арматуры.

2) Выбирается способ соединения арматуры, колонка которого имеет наибольшее количество проставленных отметок. Этот способ будет являться наиболее рациональным для применения. В случае, если несколько способов имеют схожее число отметок, или выбор способа затруднителен, необходимо полностью вычеркнуть способ с наименьшим числом отметок как наименее подходящий. После чего повторить оценку только для оставшихся способов. Данную операцию можно повторить несколько раз, до тех пор, пока не будет выбран один способ.

3) Разные участники строительства на открытом совещании сравнивают результаты своих оценок и приходят к общему мнению. На данном этапе

возможна переоценка факторов участниками для прихода к общему мнению. Например, при использовании 9-м каркасов увеличение стоимости стыка на 40% по сравнению с 3-м каркасами всё равно будет выгодным заказчику из-за значительного уменьшения общего числа стыков. При противоречивых результатах оценок допустимо выполнение оценки всеми участниками строительства совместно, с обоснованием каждого ответа, согласно п.1 и 2 данной методики.

4) После определения наиболее перспективного способа соединения арматуры выполняется его оценка всеми участниками строительства на предмет возможности применения. Если применение затруднено (например, закупка оборудования и/или технологии нецелесообразна из-за малых объемов работ), выполняется оценка возможности применения такого способа с целью определения оправданности. В случае, если применение наиболее перспективного способа невозможно (например, выбран способ ванношовного сваривания арматуры для использования в сейсмическом районе строительства), на пункте 2 данного алгоритма этот способ вычеркивается, и оценка повторяется.

5) На этапе, когда выбранный способ соединения арматуры оптимален с точки зрения всех участников строительства, а его применение возможно, целесообразно и экономически оправданно, приступают к его реализации.

**Выводы:** Разработан алгоритм выбора рационального способа соединения арматуры, применимый всеми участниками строительства – подрядчиком, проектировщиком, заказчиком. Данный алгоритм позволит ответственно подходить к проблеме выбора оптимального способа соединения арматуры, экономить значительные ресурсы на этапе возведения монолитного железобетонного каркаса здания, а также совершенствовать существующие технологии строительства с повышением их эффективности.

**СПИСОК ИПОЛЬЗОВАННЫХ  
ИСТОЧНИКОВ:**

1. Выскребенцев, В. Г. Исследование эффективности использования углеродного волокна в железобетонных пролетных строениях железнодорожных мостов [Текст] // В. Г. Выскребенцев, К. И. Солдатов // Мости та тунелі : теорія, дослідження, практика. – 2015. – Вип. 7. – С. 16-21.

2. ДСТУ Б В.2.6-169:2011 З'єднання зварні арматури та закладних виробів залізобетонних конструкцій. Типи, конструкції та розміри (ГОСТ 14098-91, MOD) [Текст] – на заміну ГОСТ 14098-91, введ. 01.12.2012 – Київ, НИИБК, 2012 – 37 с.

3. ДСТУ Б В.2.6-182:2011 З'єднання зварні стикові і таврові арматури залізобетонних конструкцій. Ультразвукові методи контролю якості. Правила приймання (ГОСТ 23858-79, MOD) [Текст] – На заміну ГОСТ 23858-79, введ. 01.12.2012 – Київ, КП НТЦ Академії будівництва України.

4. ДСТУ EN 12517-2002 Неруйнівний контроль зварних з'єднань. Критерії приймання для радіографічного контролю зварних з'єднань (EN 12517:1998, IDT) [Текст] – введ. 01.10.2003 - ТК 78, Інститут електросварювання ім. Е.О. Патона НАН України.

5. Радкевич А. В., Нетеса А. Н. Внедрение инновационной технологии соединения арматуры муфтами с цилиндрической резьбой [Текст] // А. Н. Нетеса, А. В. Радкевич // материалы научно-практической конференции «Эффективные технологические решения в строительстве с использованием бетонов нового поколения». – Харьков, 2015. – С. 125-130.

6. Радкевич А. В. Технологический регламент устройства арматурных каркасов колонн и пилонов с резьбовым соединением арматуры муфтами с цилиндрической резьбой [Текст] // Радкевич А. В., Нетеса А.Н., Гаяда А. // Тезисы Международной научно-технической конференции «Эффективные

технологии в строительстве» - Киев, 2016 – с. 61-62.

7. Antoine N. Gergess. Design implications of increased live loads on continuous precast, prestressed concrete girder bridges / Antoine N. Gergess, Rajan Sen // PCI Journal Spring, 2013, pp 64 79.

8. Radkevych A. V., Netesa A. N. Application prospects of threaded joint of armature. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 2014, issue 52, pp. 139-147.

**АНОТАЦІЯ**

*Розроблений алгоритм визначення раціонального способу з'єднання арматури вертикальних несучих елементів монолітного залізобетонного каркасу. Алгоритм адаптований для застосування усіма учасниками будівництва на етапі проектування і охоплює найбільш ефективні способи з'єднання арматури - ванношовне зварювання, з'єднання внапуск, а також механічні з'єднання арматури різьбовими і обтискними муфтами. В результаті оптимізуються витрати трудових і матеріальних ресурсів, а також скорочуються терміни будівництва.*

*Ключові слова: арматура, з'єднання, алгоритм, ранжирування, раціональний, каркас, монтаж, муфти.*

**ANNOTATION**

*Algorithm of determination of rational method of connection of armature of vertical bearing elements of monolithic reinforced-concrete framework is worked out. Algorithm is adapted for application by all participants of building on the stage of planning and embraces the most effective methods of connection of armature is the tub-seam welding, lap-joint, and also mechanical connections of armature by the threaded and crimp muffs. The expenses of labour and material resources are optimized as a result, and also building terms grow short.*

*Keywords: fittings, connection algorithm rankings, rational, frame assembly, clutch.*