

## ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА



УДК 69.057.5.004.12

А.П. СВИНЦОВ, Р.С. ФЕДЮК, РАХИМУЛЛА АМИРИ, А.А. РУКОСУЕВА

### ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ НЕСЪЕМНОЙ ОПАЛУБКИ ИЗ ЦЕМЕНТНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ\*

Строительная технологическая система возведения зданий с использованием несъемной опалубки из цементно-стружечных плит является одной из разновидностей монолитного домостроения. Основные проблемы, возникающие при возведении монолитных железобетонных конструкций, обусловлены особенностями укладки и уплотнения бетонной смеси, а также ее воздействием на цементно-стружечные панели щитов несъемной опалубки. В статье исследованы закономерности и причинно-следственные связи образования дефектов конструкций в процессе реализации технологических процессов. Оценка технологической системы по параметрам качества выполнена с условием вероятности выхода одного из показателей качества изготовленной продукции за пределы, установленные в конструкторской и технологической документации. Для снижения брака строительных конструкций предложена система противодефектных мероприятий, основанная на показателях безотказности технологической системы по параметрам качества.

**Ключевые слова:** несъемная опалубка, бетонная смесь, надежность, качество, технологическая система.

DOI 10.32683/0536-1052-2019-728-8-79-95

**Введение.** Жилищное строительство характеризуется широким применением современных строительных технологических систем. Повышение надежности строительных технологических систем служит значительным резервом роста эффективности строительства. Производство бетонных работ на строительной площадке начинается с проектирования и выбора опалубки. Это позволяет обеспечить оптимизацию производства работ, улучшить качество конструкций и эффективно использовать опалубку [1]. В монолитном строительстве жилых зданий одним из наиболее эффективных методов является возведение конструкций в несъемной опалубке. Несъемная опалубка состоит из блоков или панелей, смонтированных в единую опалубочную конструкцию, и после бетонирования функционирует как элемент конструкции. С учетом особенностей возводимых конструкций в качестве щитов опалубки

\* Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

используют стекломagneзитовые и стеклофибробетонные панели, пенополистирольные блоки, цементно-песчаные и цементно-стружечные плиты и др. [2].

Структурное использование древесно-полимерных композитов в фасадах представлено в [3]. Цементно-стружечная плита, выполненная с отверждением в углекислой среде, характеризуется большей плотностью, повышенными влагостойкостью и морозостойкостью по сравнению с традиционной технологией изготовления [4]. Цементно-стружечные плиты, изготовленные с применением сырья из кипариса, отличаются устойчивостью к образованию плесени и других гнилостных грибов [5]. Это позволяет применять их в условиях воздействия наружной окружающей среды. Влияние различных видов лигноцеллюлозного сырья на свойства цементно-стружечных панелей исследовано в [6]. Положительные особенности несъемной опалубки из цементно-стружечных плит заключаются в том, что значительная часть трудоемких технологических процессов осуществляется в заводских условиях. Это позволяет обеспечить жесткий контроль качества продукции, снизить себестоимость работ и создать условия для высоких темпов возведения объектов различного назначения [7–10]. В сравнении с кирпичным вариантом домостроения снижаются сроки возведения зданий в 1,5–2 раза, себестоимость уменьшается на 20–30 %, а затраты на энергообеспечение при эксплуатации сокращаются до 30 % [11].

Несмотря на техническую и экономическую эффективность возведения монолитных зданий, в том числе и в несъемной опалубке, образование производственного брака полностью исключить не представляется возможным. Несъемная опалубка, выполненная из сверхвысокопрочного цементного композита, допускает образование трещин с шириной раскрытия до 0,45 мм [12]. Основные проблемы, возникающие при возведении монолитных железобетонных конструкций, обусловлены особенностями укладки и уплотнения бетонной смеси, а также ее воздействием на цементно-стружечные панели щитов несъемной опалубки [13].

В общем количестве дефектов, возникающих в процессе реализации технологического процесса, наибольшее значение имеют человеческие ошибки. Фактическая вероятность аварий с учетом таких ошибок превышает теоретическую вероятность в 40–70 раз. Наиболее опасны ошибки строителей в сочетании с неучтенными отклонениями свойств материала и условий эксплуатации [13, 14]. Дефекты строительных конструкций в процессе их возведения служат основной причиной, обуславливающей около 60 % аварий в строительстве. Строительный брак повышает вероятность возникновения аварий в 10 раз по сравнению с проектными данными [13]. Анализ показателей надежности строительных технологических систем свидетельствует, что одним из наиболее эффективных методов ее повышения является организация ритмичной работы, исключение простоев и непредвиденных отказов [15]. Надежность, ремонтпригодность и поддержка играют решающую роль в создании конкурентоспособного продукта.

Анализ результатов исследований многочисленных российских и зарубежных специалистов показывает, что указанная строительная технологическая система позволяет решать важную научно-техническую задачу повышения энергетической и экономической эффективности современного

строительства. Однако вопросы оценки надежности строительных технологических систем исследованы не в полной мере. Это сдерживает эффективное решение задач по уменьшению дефективности строительства зданий из монолитного железобетона с применением несъемной опалубки. Поэтому оценка надежности строительной технологической системы возведения жилых зданий из монолитного железобетона в несъемной опалубке из цементно-стружечных плит является актуальной задачей, имеющей практическую значимость.

**Материалы и методы исследования.** Производственные исследования надежности строительной технологической системы выполнены на объектах жилого микрорайона, который включает в себя восемь домов различной этажности (12–16 этажей).

Блоки несъемной опалубки содержат щиты из цементно-стружечных плит толщиной, как правило, 24 мм. В пространстве между цементно-стружечными плитами установлена арматура и необходимые инженерные коммуникации. На внутренних поверхностях цементно-стружечных плит закреплены стяжные устройства (замки), соединяющие их между собой в блоки. Блоки несъемной опалубки поступают на строительную площадку, где их устанавливают в проектное положение. После установки, соединения и закрепления блоков стен и перекрытий в узлы их заполняют бетонной смесью с уплотнением и выдерживанием в соответствии с технологическим регламентом. При реализации технологических процессов в полном соответствии с технологическими регламентами возведенные конструкции готовы к внутренним санитарно-техническим, электротехническим и отделочным работам.

Для выявления дефектов, образовавшихся в процессе реализации технологических процессов, выполнено визуальное обследование возведенных конструкций. На конструкциях с выявленными дефектами проведены инструментальные измерения следующих параметров: длина трещин, ширина их раскрытия и глубина развития; длина, ширина и наибольшая глубина сколов щитов опалубки; объемная деформация конструкций; адгезия щитов цементно-стружечной опалубки к бетону; размеры расслоения щитов опалубки.

Технологическая система по параметрам качества оценена с условием вероятности выхода одного из показателей качества изготовленной продукции за пределы, установленные в конструкторской и технологической документации. Вероятность выполнения задания по  $j$ -му показателю качества произведена по формуле

$$P_j(t) = \frac{N - n_j(t)}{N}, \quad (1)$$

где  $n_j(t)$  – количество элементов, изготовленных с дефектом контролируемого параметра;

$N$  – количество обследованных строительных конструкций по  $j$ -му параметру качества;

$t$  – параметр качества возведенной конструкции (трещина, скол опалубки и др.).

Вероятность отказа одновременно по  $k$  параметрам качества оценена по формуле

$$Q_{1\dots k}(t) = 1 - P_j(t). \quad (2)$$

Для дефектов монолитных железобетонных конструкций, возводимых в несъемной опалубке из цементно-стружечных плит, характерно нормальное распределение. На основе экспертного решения о неперевышении затрат, направляемых на устранение дефектов, для величины непредвиденных расходов по смете установлено индикаторное значение  $Q_{adm} = 0,20$ .

Математическая обработка полученных данных выполнена по известным методикам теории вероятности и математической статистики с определением средних значений, стандартных отклонений и доверительных интервалов с обеспеченностью  $\alpha = 0,05$  [16–18].

**Результаты и их обсуждение.** Технологическая система возведения жилых зданий из монолитного железобетона с использованием несъемной опалубки представляет собой сложный комплекс взаимосвязанных технических устройств и процессов, включающих формообразующие, соединительные, поддерживающие конструкции, а также соответствующие технологические процессы производства работ и включает два основных направления (рис. 1):

а) предварительное изготовление опалубки и производство большей части арматурных работ в заводских условиях;

б) установка опалубки в проектное положение на строительной площадке, формование несущих и ограждающих конструкций посредством укладки бетонной смеси.

Эффективность применения несъемной опалубки зависит от надежности технологической системы, частью которой она является. Несмотря на жест-

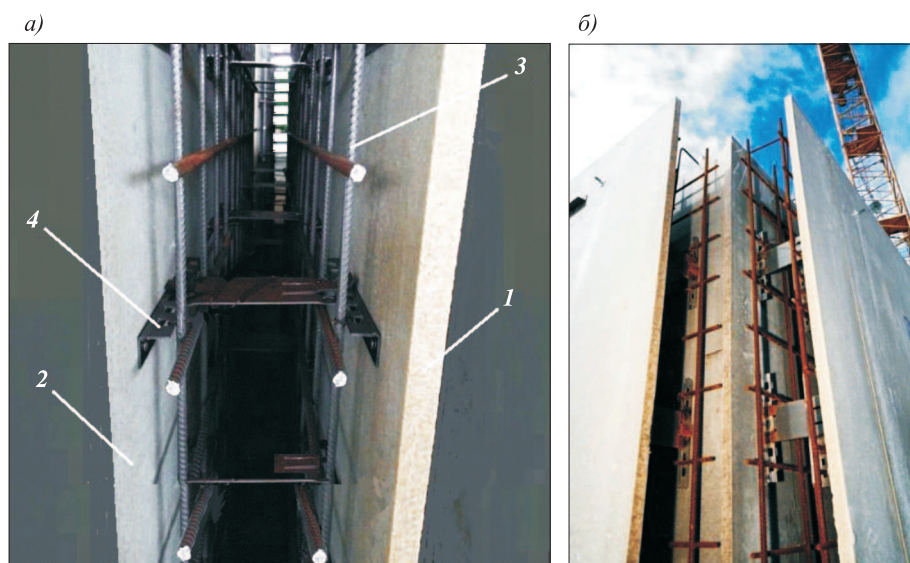


Рис. 1. Фрагмент блока несъемной опалубки в сборе (а) и несъемная опалубка в рабочем положении (б)

1 – внутренняя панель; 2 – наружная панель; 3 – арматурный каркас; 4 – стяжное устройство

кий контроль качества продукции нельзя исключить нарушение технологического регламента и возникновение дефектов в возводимых конструкциях. В результате визуального обследования конструкций и инструментальных измерений выявлены следующие дефекты: сквозная вертикальная трещина с шириной раскрытия 12 мм на всю ее высоту; сквозная вертикальная трещина с шириной раскрытия до 7 мм и с протяженностью, меньше чем ее высота; несквозная вертикальная трещина с шириной раскрытия до 9 мм на всю ее высоту; сквозная горизонтальная трещина с шириной раскрытия от 1 до 5 мм на всю ее ширину; сквозная горизонтальная трещина с шириной раскрытия от 1 до 5 мм на часть ее ширины; расхождение стыков цементно-стружечных плит опалубки стен и потолков; расслоение цементно-стружечных плит опалубки; несквозная наклонная трещина с неравномерным по длине раскрытием, составляющим от менее 1 до 8 мм; сквозная одиночная наклонная трещина с неравномерным по длине раскрытием до 6 мм; выпуклость вертикальной конструкции.

Анализ результатов визуального обследования и инструментальных измерений позволил выявить причинно-следственные связи образования дефектов возведенных строительных конструкций. На рис. 2 показано распределение вертикальных трещин в панелях опалубки. Сквозная и несквозная вертикальная трещина в щите опалубки из цементно-стружечной плиты образована как проявление скрытых дефектов. Распределение вертикальных трещин имеет случайный характер. Скрытые дефекты щитов опалубки образованы вне реализации технологических процессов и, как правило, вне строительной площадки. Наиболее вероятные причины образования указанных трещин: возникновение микротрещин в теле цементно-стружечной плиты в результате внешнего механического воздействия (удара, изгиба и др.) при складировании, транспортировке или изготовлении блоков несъемной опалубки. В процессе укладки и уплотнения бетонной смеси в построечных условиях возрастает механическая нагрузка на щиты опалубки, что приводит к развитию скрытых микротрещин в сквозные и несквозные трещины, длина которых, как правило, равна размеру панели.

Коэффициент вариации распределения вертикальных трещин составляет в среднем  $v_{в.тр} = 9,6 \%$ . Это незначительная неоднородность, которая позволяет считать, что образование дефектов имеет системный характер. Относительный разброс данных менее 10 % характеризует распределение выборочной совокупности как устойчивое к внешним воздействиям. Для устранения этих дефектов необходимы организационно-технологические мероприятия.

Распределение горизонтальных трещин в цементно-стружечных плитах опалубки характеризуется разбросом данных, что свойственно для случайных событий. На рис. 3 представлено распределение горизонтальных трещин в панелях опалубки.

Коэффициент вариации распределения горизонтальных трещин составляет в среднем  $v_{г.тр} = 9,8 \%$ . Показатель однородности выборочной совокупности данных характеризует распределение как типично устойчивое к внешнему воздействию. Для устранения указанного дефекта необходимо решать технологические задачи внеплощадочного характера.

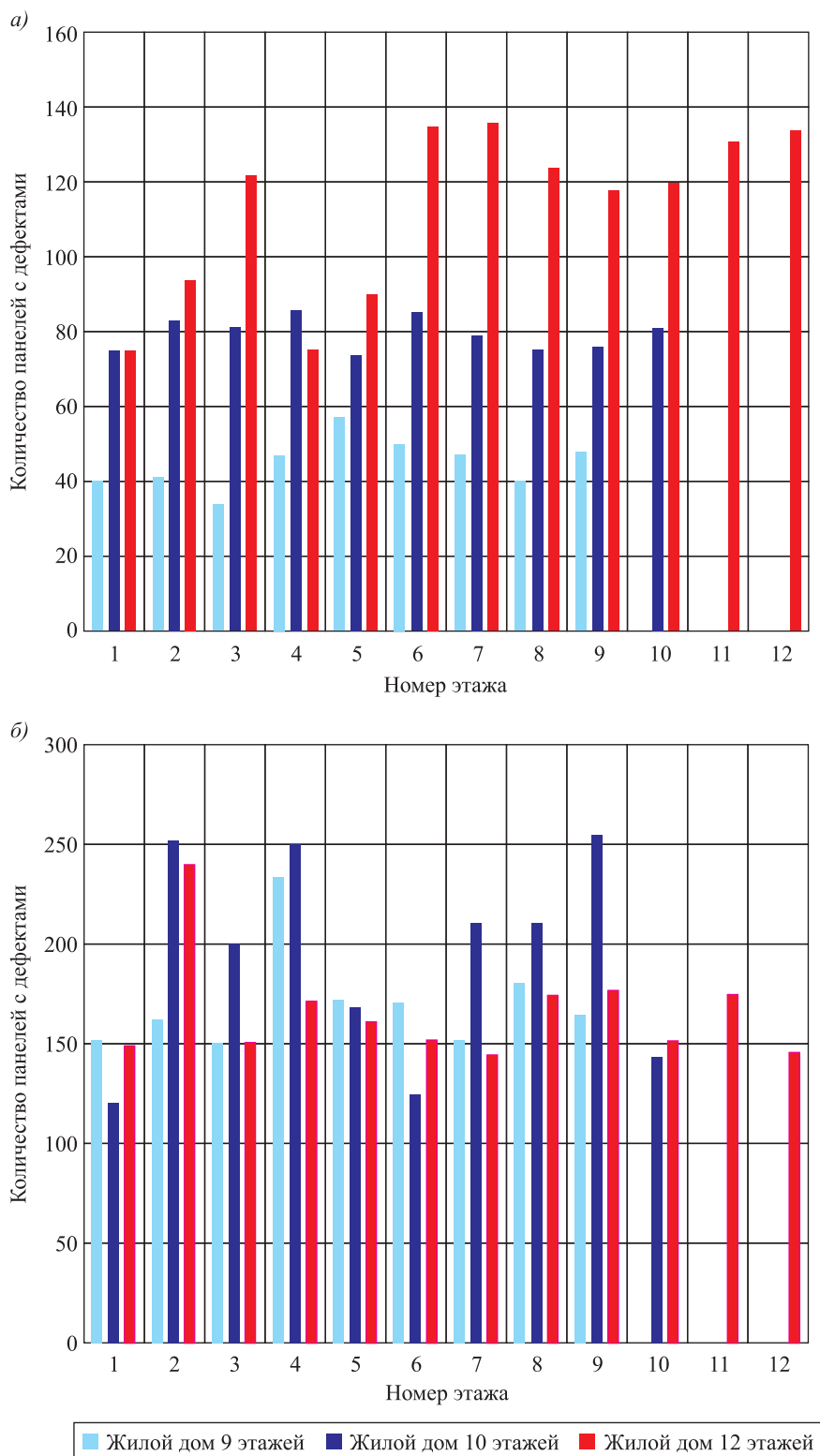


Рис. 2. Распределение вертикальных трещин в панелях опалубки на всю длину панели (а) и на часть длины панели (б)



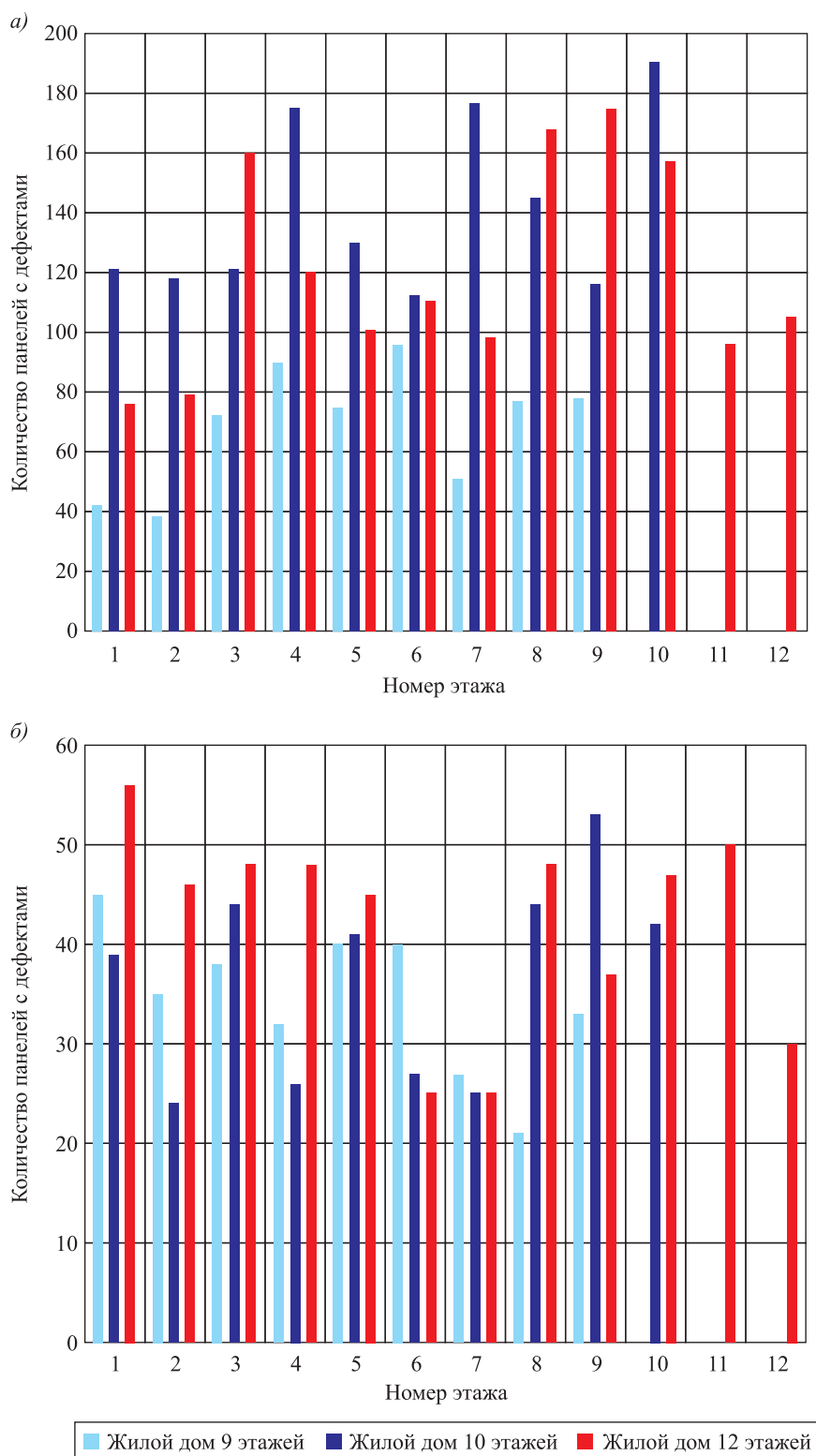


Рис. 3. Распределение горизонтальных трещин в щитах опалубки на всю ширину панели (а) и на часть ширины панели (б)

Расхождения стыков щитов опалубки или ее вздутия образуются при укладке бетонной смеси. Более обоснованные причинно-следственные связи могут быть установлены на основе дополнительных исследований логической цепочки технологической системы в целом. На рис. 4 показано распределение повреждений в виде расхождения стыков цементно-стружечных плит опалубки.

Коэффициент вариации распределения расхождения стыков цементно-стружечных плит составляет в среднем  $v_{р,п} = 13,9\%$ . Средняя степень разброса значений характеризует двойственное формирование дефекта: скрытый брак заводского происхождения и брак, образовавшийся при внешнем воздействии на строительной площадке. Для устранения указанного брака целесообразно улучшить качество заводской сборки панелей опалубки и снизить влияние распора от гидростатического давления укладываемой бетонной смеси.

Текущий контроль предполагает проверку качества привинчивания стяжных устройств. Резьбу внутри панели срывать нельзя, так как в этом случае нет прочности стягивания панелей. Ослабление прочности стягивания панелей опалубки приводит к их расхождению в процессе укладки бетонной смеси. Если крепежный элемент перекручен, то технологическим регламентом предусмотрена установка дополнительной металлической накладки, на которую следует закреплять замок. При укладке и уплотнении бетонной смеси на строительной площадке под воздействием распора цементно-стружеч-

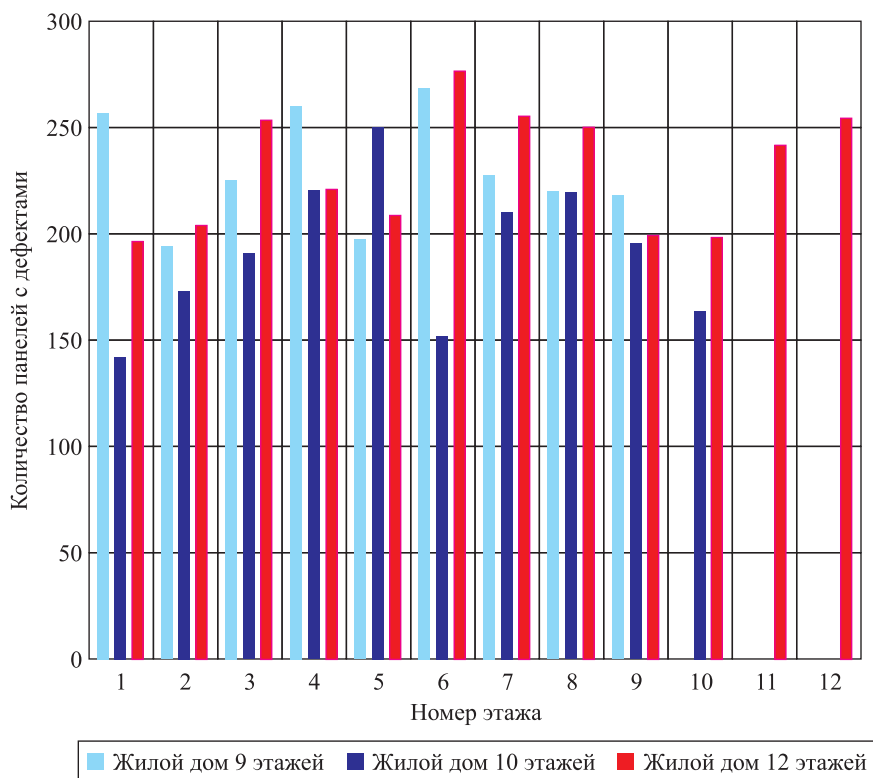


Рис. 4. Распределение расхождений стыков цементно-стружечных плит опалубки



ные плиты раздвигаются относительно продольной оси блока, что приводит к образованию наклонных трещин в щитах опалубки и утолщений (выпуклостей) возводимых конструкций. Происхождение указанного дефекта является, как правило, продолжением скрытого брака, начало которому положено в заводских условиях при сборке панелей в опалубочный блок. Установлено, что нарушение технологического регламента укладки бетонной смеси, приводящее к нарушению геометрических параметров возводимых конструкций, наиболее часто происходит при использовании бетононасосов. При укладке бетонной смеси по схеме «кран–бадья» образование выпуклостей на конструкциях не выявлено.

В процессе производства работ на строительной площадке встречаются дефекты, проявляющиеся через относительно длительное время. Например, на возведенных конструкциях цементно-стружечные плиты расслаиваются и вываливаются большими участками. На рис. 5 представлено распределение расслоения панелей опалубки.

Образование расслоений и вывалов цементно-стружечных плит характеризуется значительной неоднородностью выборочных данных. Коэффициент вариации  $v_{\text{рсл.}} = 27\%$  свидетельствует о неустойчивости данных и большой амплитуде колебаний значений. Для устранения или значительного снижения количества расслоений и вывалов целесообразно улучшить культуру производства.

Несмотря на разброс данных полученные распределения характеризуются относительной однородностью. Это позволяет полагать, что образование

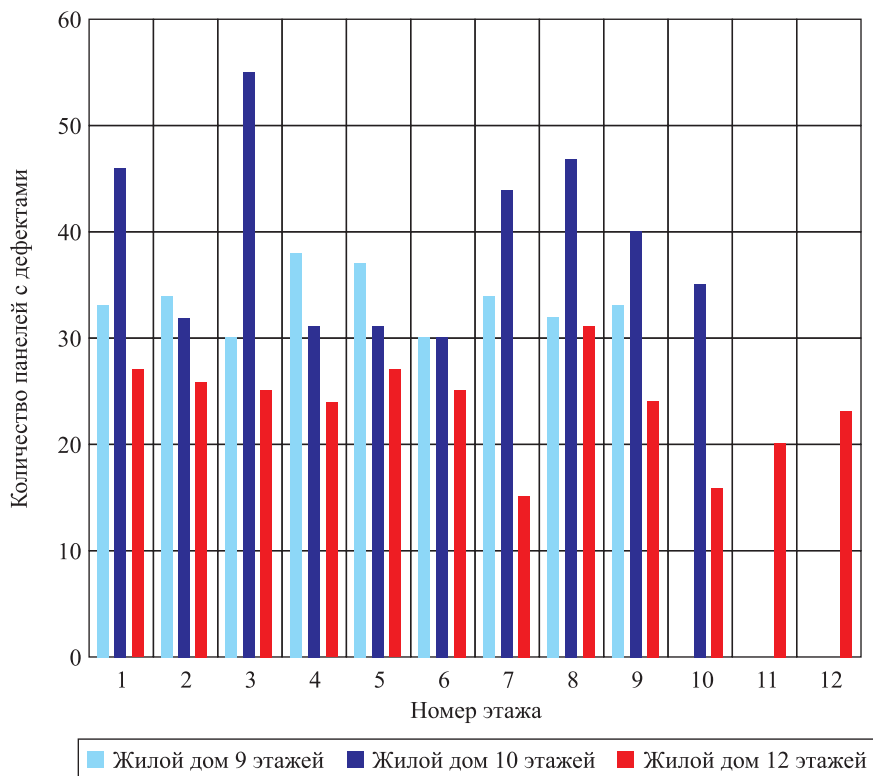


Рис. 5. Распределение расслоений на панелях опалубки

выявленных дефектов в цементно-стружечных плитах опалубки имеет системный характер, и требуются дополнительные технические мероприятия для их предотвращения. В период гарантийных обязательств подрядная организация производит ремонт таких конструкций за свой счет, заключающийся в демонтаже цементно-стружечной плиты и полной отделке всего помещения.

Анализ дефектных ведомостей и протоколов обследования показывает, что выявленные дефекты не критические и не влияют на безопасность эксплуатации здания. В то же время они подлежат устранению, что является дополнительной работой, увеличивающей себестоимость продукции.

В результате исследования установлено, что в целом по зданию вероятность безотказной работы по параметрам качества реализации технологических процессов изменяется (таблица).

**Вероятность безотказной работы технологической системы по параметрам качества**

Параметры качества	Вероятности		
	$P_{min}^j$	$P_{max}^j$	$P_{av}^j$
По расхождению стыков плит опалубки	0,821	0,917	0,872
По образованию продольных и поперечных трещин на весь размер панели	0,839	0,911	0,870
По образованию наклонных трещин панели опалубки	0,815	0,910	0,867
По образованию выпуклостей на поверхностях возведенных конструкций	0,881	0,931	0,904

На рис. 6 представлена диаграмма изменения вероятности расхождения панелей опалубки.

Распределение вероятности образования брака из-за расхождения панелей опалубки неравномерно по этажам здания. Изменение вероятности

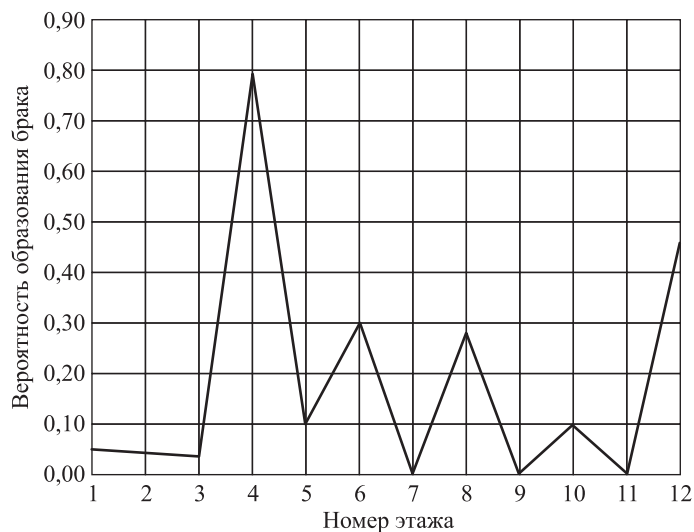


Рис. 6. Изменение вероятности расхождения панелей опалубки

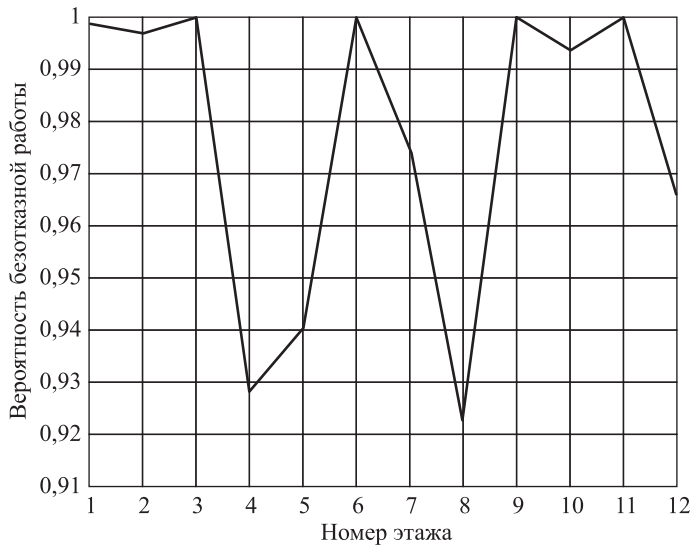


Рис. 7. Изменение вероятности безотказной работы системы по расслоению цементно-стружечных панелей опалубки

отказа находится в диапазоне от  $Q_{\min} = 0,036$  до  $Q_{\max} = 0,786$  при среднем значении  $Q_{av} = 0,179$ . Вероятность расхождения панелей опалубки относительно не велика и не превышает норматива  $Q = 0,20$ , определенного технологическим регламентом.

Рис. 7 показывает изменение вероятности безотказной работы строительной технологической системы по расслоению цементно-стружечных плит.

Вероятность безотказной работы технологической системы изменяется от  $P_{\min} = 0,922$  до  $P_{\max} = 1,00$  при среднем значении  $P_{av} = 0,977$ . Вероятность появления расслоений панелей опалубки составляет в среднем  $Q_{av} = 0,023$  и не является дефектом первостепенной значимости.

Образование трещин в панелях опалубки встречается значительно чаще, чем расслоение панелей. Вероятность безотказной работы технологической системы по образованию продольных трещин на весь размер панели и на часть ее размера составляет в среднем  $P_{av}^{alls} = 0,911$ ,  $P_{av}^{part} = 0,863$ . На рис. 8 представлено изменение вероятности безотказной работы технологической системы по образованию продольных трещин на всю длину и на часть панели.

Вероятность образования продольных трещин составляет в среднем  $Q_{av} = 0,113$  и не превышает нормативного значения по технологическому регламенту. Совместный анализ вариационного и надежностного показателей позволяет принимать объективное решение по приоритетности противодефектных мероприятий.

В процессе возведения зданий с использованием несъемной опалубки из цементно-стружечных плит образуются трещины в панелях не только в продольном, но и в поперечном направлении. На рис. 9 представлено изменение вероятности безотказной работы технологической системы относительно образования поперечных трещин различной ориентации.

Вероятность образования трещин на часть поперечного размера панели опалубки в основном выше, чем на весь ее размер. Средние значения ве-

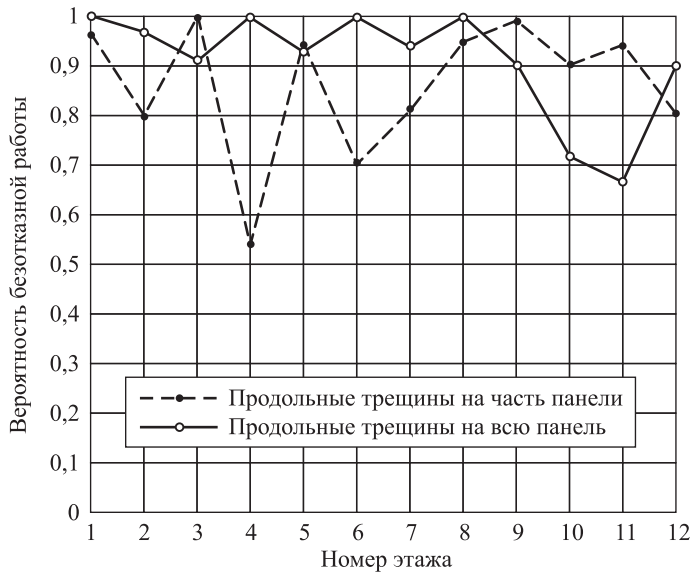


Рис. 8. Изменение безотказности технологической системы по образованию продольных трещин в панелях опалубки

роятностей  $P_{av}^{alls} = 0,971$  и  $P_{av}^{part} = 0,913$  подтверждают этот тезис. Развитие трещин на весь размер панели сдерживается прочностью цементно-стружечной плиты.

Вероятность одновременного отказа по параметрам качества хотя бы по одному признаку изменяется от  $Q_{min} = 0,082$  до  $Q_{max} = 0,161$  при среднем значении  $Q_{av} = 0,119$ . При этом максимальное значение технологического отказа приходится на дефекты внеплощадочного образования. Фактическое значение вероятности отказа  $Q_{av} = 0,119$  ниже индикаторного показателя  $Q_{adm} = 0,20$ , предусмотренного технологическим регламентом. Показатель

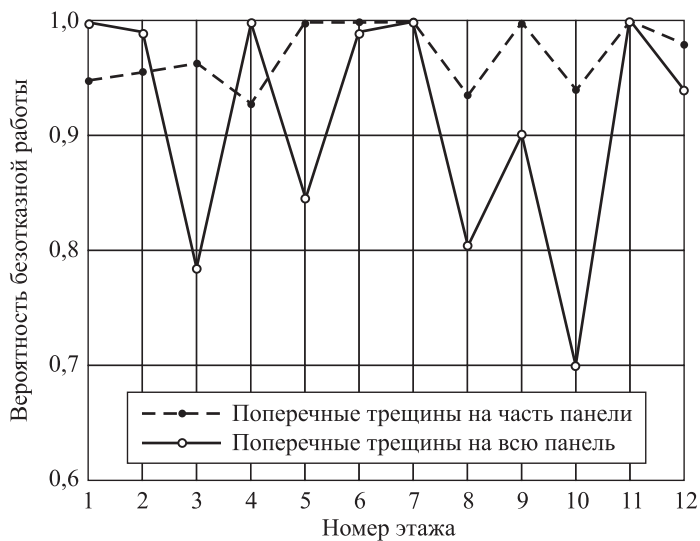


Рис. 9. Изменение вероятностей образования поперечных трещин в панелях опалубки

вероятности отказа по параметрам качества хотя бы по одному признаку служит критерием оценки эффективности реализации комплекса организационно-технологических противодефектных мероприятий в будущем.

Реализация строительных технологических процессов происходит не в идеальных, а в производственных условиях под влиянием многих и часто неуправляемых случайных факторов. Производство строительных работ без возникновения дефектов невозможно в принципе. Однако целенаправленная система организационно-технологических мероприятий позволяет существенно повысить качество продукции за счет снижения уровня дефектности.

Для преодоления брака с использованием показателей надежности целесообразно применение системы организационно-технологических мероприятий, включающих реализацию следующих задач:

- сбор объективных данных на основе приборных измерений, их систематизация по классификационным признакам и статистическая оценка;
- определение единичных показателей надежности элементов технологической системы и их ранжирование на основе причинно-следственных связей;
- выявление наиболее существенных признаков образования дефектов;
- разработка технических или организационно-технологических мероприятий по снижению образования дефектов в будущем;
- сопоставительный анализ количественных показателей безотказности по параметрам качества технологической системы по отчетным периодам.

Таким образом, формализованные значения единичных показателей безотказности технологической системы служат объективными индикаторами для определения приоритетных противодефектных мероприятий. Показатели безотказности по параметрам качества технологической системы в целом служат для количественной оценки ее состояния относительно нормативов и для сравнения в будущем после реализации противодефектных мероприятий.

При возведении строительных конструкций из монолитного железобетона с применением несъемной опалубки при укладке бетонной смеси из-за действия распора образуются дефекты в виде утолщения конструкций, расхождения панелей опалубки и пр. Действие распора от укладываемой бетонной смеси приводит к разрыву стяжных устройств, соединяющих панели опалубки или к их отрыву от панелей опалубки; и расхождению панелей опалубки с уложенной бетонной смесью, после твердения которой возведенная конструкция имеет геометрические размеры, отличающиеся от проектных значений. Для предотвращения расхождения панелей опалубки при укладке и твердении бетонной смеси и, вследствие этого, образования выпуклостей и трещин разработано техническое решение съемного стяжного устройства<sup>1</sup>.

Анализ результатов визуального обследования конструкций, инструментального измерения выявленных дефектов и математическая обработка их численных характеристик показывает, что строительная технологическая система возведения зданий из монолитного железобетона с использованием несъемной опалубки из цементно-стружечных плит соответствует преду-

<sup>1</sup> Свинцов А.П. Блок несъемной опалубки. Заявка на патент изобретения № 2018122419 от 20.06.2018.

смотренному технологическим регламентом уровню надежности по параметрам качества.

**Заключение.** В результате натуральных обследований возведенных строительных конструкций и инструментальных измерений установлены различные дефекты.

1. Наиболее часто образуются продольные сквозные трещины с шириной раскрытия до 12 мм; наклонные несквозные трещины с шириной раскрытия от 1 до 8 мм; выпуклость вертикальной конструкции.

2. Расслоение древесно-стружечных плит происходит вследствие их переувлажнения, как правило, в процессе укладки бетонной смеси и выдержки бетона.

3. Сквозные трещины возникают как развитие микротрещин в результате механического воздействия вне реализации технологического процесса по укладке и уплотнению бетонной смеси.

4. Выпуклости в возведенных конструкциях образуются из-за низкой прочности крепления стяжных устройств к панелям блока опалубки, а также вследствие нарушения технологического регламента при укладке и уплотнении бетонной смеси.

5. Вероятность одновременного невыполнения задания по параметрам качества хотя бы по одному признаку изменяется от  $Q_{\min} = 0,082$  до  $Q_{\max} = 0,161$  при среднем значении  $Q_{av} = 0,119$ .

6. В целом строительная технологическая система возведения жилых зданий из монолитного железобетона в несъемной опалубке из цементно-стружечных плит характеризуется как соответствующая заданному уровню надежности по параметрам качества.

7. Разработано техническое решение съемного стяжного устройства для предотвращения расхождения панелей опалубки при укладке и твердении бетонной смеси и образования выпуклостей и трещин.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Krawczyńska-Piechna A. Comprehensive approach to efficient planning of formwork utilization on the construction site // *Procedia Engineering*. 2017. No. 182. P. 366–372.
2. Талантова К.В. Несъемная опалубка из сталефибробетонных гнутых профилей // *Изв. вузов. Строительство*. 2017. № 7. С. 13–20.
3. Friedrich D. An analytic algorithm-based method to assess the long term structural performance of wood-polymer composites // *Journal of Building Engineering*. 2018. No. 20. P. 367–376.
4. Wang L., Chen S.S., Tsang D.C.W., Chi-Sun P., Jian-Guo D. CO<sub>2</sub> curing and fibre reinforcement for green recycling of contaminated wood into high-performance cement-bonded particleboards // *Journal of CO<sub>2</sub> Utilization*. 2017. No. 18. P. 107–116.
5. Soroushian P., Jong-Pil W., Hassan M. Durability and microstructure analysis of CO<sub>2</sub>-cured cement-bonded wood particleboard // *Cement and Concrete Composites*. 2013. No. 41. P. 34–44.
6. Mendes R.F., Vilela A.P., Farrapo C.L., Mendes J.F., Tonoli G.H.D., Mendes L.M. 1: Lignocellulosic residues in cement-bonded panels // *Sustainable and nonconventional construction materials using inorganic bonded fiber composites*. 2017. P. 3–16.

7. Karade S.R. Cement-bonded composites from lignocellulosic wastes // Construction and building materials. 2010. No. 24. P. 1323–1330.
8. Свинцов А.П., Коэн А.Р., Бисиев З.А., Арсамаков И.Ю., Наумова Т.Н. Возведение жилых зданий в несъемной опалубке из цементно-стружечных плит // Жилищ. стр.-во. 2018. № 5. С. 34–39.
9. Свинцов А.П., Коэн А.Р., Бисиев З.А., Арсамаков И.Ю. Надежность технологической системы возведения жилых зданий в несъемной опалубке из цементно-стружечных плит // Вестн. РУДН. Сер.: Инженерные исследования. 2018. № 2. С. 214–227.
10. Шалобыта Н.Н., Шалобыта Т.П., Деркач Е.А., Науменко Ю.Н. Экспериментальное определение параметров контакта в монолитных конструкциях с включением в работу несъемной опалубки из цементно-стружечной плиты // Вестн. Гроднен. гос. ун-та им. Янки Купалы. 2016. № 6. С. 58–65.
11. Рязанова Г.Н., Камбурт В.Г. Описание и модельный подход в технологии возведения самонесущих ограждающих конструкций из крупнопористого керамзитобетона в несъемной опалубке из цементно-стружечных плит // Вестн. Хмельниц. нац. ун-та. Технические науки. 2014. № 3. С. 183–187.
12. Huang B.T., Li Q.H., Xu S.L., Li C.F. Development of reinforced ultra-high toughness cementitious composite permanent formwork: Experimental study and digital image correlation analysis // Composite structures. 2017. No. 180. P. 892–903.
13. Байбурин А.Х. Обеспечение качества и безопасности возводимых гражданских зданий. М.: Изд-во АСВ, 2015. 335 с.
14. Свинцов А.П., Панин О.В. Надежность технологической системы возведения монолитных железобетонных стен // Вестн. РУДН. Сер.: Инженерные исследования. 2011. № 2. С. 43–47.
15. Nazarko L. Technology assessment in construction sector as a towards sustainability // Procedia Engineering. 2015. No. 122. P. 290–295.
16. Байбурин А.Х. Оценка качества строительства при недостатке информации // Архитектура, градостроительство и дизайн. 2018. № 3. С. 17–22.
17. Rose C., Smith M.D. Mathematical statistics with mathematica. New York: Springer, 2002. 481 p.
18. Gnedenko B.V., Belyayev Y.K., Solov'yev A.D. Mathematical methods of reliability theory // Probability and mathematical statistics. Academic Press, 2014. 518 p.

**Свинцов Александр Петрович**, д-р техн. наук, проф.; E-mail: svintsovap@rambler.ru  
Российский университет дружбы народов, г. Москва

**Федюк Роман Сергеевич**, канд. техн. наук, доц.; E-mail: roman44@yandex.ru  
Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

**Амири Рахимулла**, студ.; E-mail: amiri-r@rudn.ru

Российский университет дружбы народов, г. Москва

**Рукоусева Ангелина Александровна**, студ.; E-mail: 1032142672@rudn.ru  
Российский университет дружбы народов, г. Москва

Получено после доработки 22.07.2019

**Svintsov Alexander Petrovich**, DSc, Professor; E-mail: svintsovap@rambler.ru  
Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia

**Fedyuk Roman Sergeevich**, PhD, Ass. Professor; E-mail: roman44@yandex.ru  
Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

**Amiri Rakhimulla**, Student; E-mail: amiri-r@rudn.ru

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia



**Rukosueva Angelina Alexandrovna**, Student; E-mail: 1032142672@rudn.ru  
Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia

## **EVALUATION OF RELIABILITY OF PERMANENT FORMWORK MADE OF CEMENT-PARTICLE BOARDS**

Technological system of building construction with the use of permanent formwork by the cement-particle boards is one of the varieties of cast-in-situ building construction. The main problems that arise during the construction of cast-in-situ reinforced concrete structures are due to the features of laying and compacting the concrete mix, as well as its effect on cement-particle boards of permanent formwork. The aim of the study is to identify patterns and establish cause-effect relationships of the formation of structural defects in the process of implementing technological processes. The evaluation of the technological system according to the quality parameters was executed with the condition of the probability of the output of one of the indicators of the quality of manufactured products beyond the limits that established in the design and technological documentation. As part of the study, causal relationships in the formation of defects in the erected structures were revealed.

**Key words:** permanent formwork, concrete mix, reliability, quality, technological system.

### REFERENCES

1. Krawczyńska-Piechna A. Comprehensive approach to efficient planning of formwork utilization on the construction site. *Procedia Engineering*. 2017. No. 182. Pp. 366–372.
2. Talantova K.V. Nes''emnaya opalubka iz stalefibrobetonnykh gnutykh profiley [Retained formwork of steel fiber concrete bent sections]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2017. No. 7. Pp. 13–20. (in Russian)
3. Friedrich D. An analytic algorithm-based method to assess the long term structural performance of wood-polymer composites. *Journal of Building Engineering*. 2018. No. 20. Pp. 367–376.
4. Wang L., Chen S.S., Tsang D.C.W., Chi-Sun P., Jian-Guo D. CO<sub>2</sub> curing and fibre reinforcement for green recycling of contaminated wood into high-performance cement-bonded particleboards. *Journal of CO<sub>2</sub> Utilization*. 2017. No. 18. Pp. 107–116.
5. Soroushian P., Jong-Pil W., Hassan M. Durability and microstructure analysis of CO<sub>2</sub>-cured cement-bonded wood particleboard. *Cement and Concrete Composites*. 2013. No. 41. Pp. 34–44.
6. Mendes R.F., Vilela A.P., Farrapo C.L., Mendes J.F., Tonoli G.H.D., Mendes L.M. 1: Lignocellulosic residues in cement-bonded panels. Sustainable and nonconventional construction materials using inorganic bonded fiber composites. 2017. Pp. 3–16.
7. Karade S.R. Cement-bonded composites from lignocellulosic wastes. *Construction and Building Materials*. 2010. No. 24. Pp. 1323–1330.
8. Svintsov A.P., Koen A.R., Bisiyev Z.A., Arsamakov I.Yu., Naumova T.N. Vozvedeniye zhilykh zdaniy v nes''emnoy opalubke iz tsementno-struzhechnykh plit [The construction of residential houses with use of permanent formwork]. *Zhilishchnoye stroitel'stvo* [Housing construction]. 2018. No. 5. Pp. 34–39. (in Russian)

9. Svintsov A.P., Koen A.R., Bisiyev Z.A., Arsamakov I.Yu. Nadezhnost' tekhnologicheskoy sistemy vozvedeniya zhilykh zdaniy v nes''emnoy opalubke iz tsementno-struzhechnykh plit [The reliability of the technological system of construction of residential buildings in a permanent form of cement-bonded particleboards]. Vestnik RUDN. Seriya: Inzhenernyye issledovaniya [RUDN Journal of Engineering researches]. 2018. No. 2. Pp. 214–227. (in Russian)
10. Shalobyta N.N., Shalobyta T.P., Derkach Ye.A., Naumenko Yu.N. Eksperimentalnoye opredeleniye parametrov kontakta v monolitnykh konstruktivnykh vklucheniye v rabotu nes''emnoy opalubki iz tsementno-struzhechnoy plity [Experimental determination of parameters of contact in monolithic constructions with inclusion in work of fixed form from a cement-bonded particleboard]. Vestnik Grodnenskogo gosudarstvennogo universiteta im. Yanki Kupaly [Vestnik of Yanka Kupala State University of Grodno]. 2016. No. 6. Pp. 58–65. (in Russian)
11. Ryazanova G.N., Kamburg V.G. Opisaniye i model'nyy podkhod v tekhnologii vozvedeniya samonesushchikh ograzhdayushchikh konstruktivnykh iz krupnoporistogo keramzitobetona v nes''emnoy opalubke iz tsementno-struzhechnykh plit [Description and model approach in technologies of mounting filler structures in permanent forms with macroporous expanded-clay concrete filling]. Vestnik Khmel'nitskogo natsional'nogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki [Herald of Khmelnytsk National University]. 2014. No. 3. Pp. 183–187. (in Russian)
12. Huang B.T., Li Q.H., Xu S.L., Li C.F. Development of reinforced ultra-high toughness cementitious composite permanent formwork: Experimental study and digital image correlation analysis. Composite structures. 2017. No. 180. Pp. 892–903.
13. Bayburin A.Kh. Obespecheniye kachestva i bezopasnosti vozvodimykh grazhdanskikh zdaniy [Ensuring the quality and safety of constructed civil buildings]. Moscow, 2015. 335 p. (in Russian)
14. Svintsov A.P., Panin O.V. Nadezhnost' tekhnologicheskoy sistemy vozvedeniya monolitnykh zhelezobetonnykh sten [Reliability of technological systems of the monolithic reinforced concrete wall construction]. Vestnik RUDN. Seriya: Inzhenernyye issledovaniya [RUDN Journal of Engineering researches]. 2011. No. 2. Pp. 43–47. (in Russian)
15. Nazarko L. Technology assessment in construction sector as a towards sustainability. Procedia Engineering. 2015. No. 122. Pp. 290–295.
16. Bayburin A.Kh. Otsenka kachestva stroitel'stva pri nedostatke informatsii [Assessment of the construction quality under the informative information]. Arkhitektura, gradostroitel'stvo i dizayn [Architecture, urbanism & design]. 2018. No. 3. Pp. 17–22. (in Russian)
17. Rose C., Smith M.D. Mathematical statistics with mathematica. New York: Springer. 2002. 481 p.
18. Gnedenko B.V., Belyayev Y.K., Solovyev A.D. Mathematical methods of reliability theory. Probability and mathematical statistics. Academic Press, 2014. 518 p.