

УДК 63(075.8)

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ КИРПИЧНОГО ЩЕБНЯ ИЗ  
ФРАГМЕНТОВ КИРПИЧНЫХ СТЕН СНОСИМЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ**

*к.т.н., доц. Дмитренко И.С., к.т.н., доц. Несевря П.И.,*

*к.т.н., доц. Дикарев К.Б.*

*ГВУЗ Приднeпровская государственная академия строительства и  
архитектуры, г. Днепропетровск*

Существенную часть строительного рынка Украины занимают работы связанные с ремонтом или реконструкцией жилых и общественных зданий городской застройки. В первую очередь это касается двух-трех этажных зданий, которые были построены 60-100 лет назад и на момент постройки не имели централизованного водоснабжения. Подключение этих зданий к водопроводным и канализационным сетям при сравнительно слабых фундаментах, расположенных на просадочных грунтах, привело к появлению трещин а, иногда, и к авариям. В первую очередь, это было результатом местных утечек воды и неравномерного замачивания основания здания. По данным анализа состояния жилого фонда в городе Днепропетровске до 83% указанного типа зданий находятся в аварийном состоянии и нуждаются в капитальном ремонте с отселением жильцов. По данным отдела капитального строительства Днепропетровского горисполкома в настоящий момент существует около 80 полностью аварийных зданий с необходимостью полного отселения жильцов, которые подлежат срочному сносу или реконструкции в ближайшее время. Кроме аварийных строений есть еще большое количество зданий, которые морально устарели и будут снесены в процессе естественного развития архитектурного облика города. К этой категории относятся так называемые «хрущевки», разговор о судьбе которых идет не первый год. Основным материалом при возведении стен этих зданий является кирпич, перекрытия выполнены по деревянным, реже железобетонным балкам.

Похожая ситуация с состоянием жилого фонда характерна и для других крупных городов Украины. Кроме того, ликвидация промышленных и сельскохозяйственных предприятий, закрытие не рентабельных производств увеличивает объемы использования бывших в употреблении строительных материалов.

Был выполнен анализ реконструкции ветхих зданий в городе Днепропетровске, который показал, что около 90% зданий либо полностью сносятся, либо сохраняется только фасад, выходящий на «красную линию». Технология работ по сносу указанного типа зданий по имеющимся данным была однотипна. Сначала обрушивали здание с помощью крана и клин-бабы, а затем, убирали полученные фрагменты здания мощными экскаваторами и вывозили их на свалку. Это самый простой и, соответственно, дешевый на

сегодняшний день способ сноса зданий. В настоящее время работы по разборке кирпичных зданий требуют больших затрат. В то же время бывший в употреблении кирпич и особенно старинный, «екатерининский», цена которого колеблется от 5 гривен за штуку и выше (обычный от 0,5 гривен за штуку) достаточно широко используется для архитектурной выразительности новой индивидуальной застройки. В целом ситуация по утилизации строительного мусора требует неотложного решения.

Уже сейчас очевидно, что захоронение такого большого количества строительного мусора вызовет большую нагрузку на окружающую среду и требует строительства заводов по переработке отходов строительного производства и соответствующих промышленных мощностей. Как показывает зарубежный опыт, строительство подобных заводов может быть рентабельно, но это требует больших единовременных затрат к которым Украина в условиях экономического кризиса не готова. Существует альтернативный вариант решения проблемы утилизации строительного мусора. Это вторичное использование битого кирпича и раствора в качестве ингредиентов для низкомарочных бетонов, которые могут использоваться в новом строительстве для подготовок под полы, стяжек, отмосток и т. п. Кроме того, при соответствующей сортировке и очистке возможно вторичное применение кирпича для внутренней версты и забутовке каменной кладки.

Несмотря на то, что все технические вопросы по использованию щебня из битого кирпича для приготовления бетонов решены и описаны в соответствующей литературе, в повседневную практику строительства этот метод не вошел. Так, по данным наблюдений авторами сноса 21 строительного объекта в городе Днепропетровске, нигде не применялось повторное использование кирпича. Причин этому несколько.

1. Несовершенство законодательства, где не предусмотрены жесткие санкции на захоронение строительного мусора.
2. Особенности экономики, когда порой заказчик и подрядчик не заинтересованы в снижении сметной стоимости строительства.
3. Отсутствие нормативной базы технологических процессов сортировки строительного мусора, дробления и переборки фрагментов каменной кладки, вторичного использования кирпича.

В данной статье сделана попытка оценить трудоемкость сортировки фрагментов разрушенных зданий с удалением органических включений (доски, рубероид, бумага и пр.) и трудоемкость дробления фрагментов каменной кладки с использованием ручного инструмента. По известной трудоемкости можно рассчитать соответствующие затраты на заработную плату и издержки по организации рабочих мест, оценить возможную прибыль, полученную от вторичного использования кирпича. Проектно-технологические решения по устройству участка переработки строительного мусора следует принимать на стадии разработки проекта производства работ, хотя возможно организовать выполнение работ уже в процессе разборки здания. Следует заметить, что существующая нормативная база по использованию дробленого кирпича при производстве бетона разработана много лет назад. Она предусматривает большие объемы производства работ с

применением высокопроизводительных дробилок, расположенных на территории растворобетонного узла, которая не может быть достоверно использована для оценки трудоемкости утилизации кирпича раствора при сносе и разборке каменных зданий. Нет норм на дробление, сортировку и транспортирование строительного мусора в пределах строительной площадки, не разработаны организационно-технологические схемы увязки процессов приготовления и укладки в конструкцию бетонов на кирпичном щебне с производством работ по возведению нового здания. Решение этих вопросов позволит организовать маломощный РБУ непосредственно на строительной площадке, экономить на стоимости части бетонной смеси, которую можно заменить на смесь с использованием дробленого кирпича, экономить на вывозе строительного мусора, получить экологические и социальные выгоды. Для определения затрат труда на производство бетонной смеси на маломощной бетономешалке можно использовать существующие нормы ЕНиР. При обосновании общей целесообразности организации участка по производству бетона на кирпичном щебне следует учесть затраты на складирование фрагментов разрушенных стен, затраты на сортировку и удаление органических остатков, затраты связанные с транспортировкой и складированием ингредиентов для бетона, обслуживанием бетономесительной установки. Эти затраты можно рассчитать, пользуясь существующей нормативной базой. Проблема возникает при определении параметров технологических процессов, связанных с сортировкой строительного мусора, удаления органических остатков, дробление кирпича до необходимых фракций средствами малой механизации или ручными инструментами.

При разработке методики оценки технологических параметров приведенных выше процессов использовался метод анкетного опроса квалифицированных специалистов, знакомых с проблемами сноса кирпичных стен и приготовления бетонной смеси на приобъектных бетономешалках. Всего было опрошено 28 человек. Из них 18 человек занимали должность прораба или начальника участка, 4 человека – научные работники, 6 человек – высококвалифицированные рабочие. В задании предлагалось выявить и проранжировать по степени важности факторы, которые влияют на технологические параметры процессов сортировки и удаления органических остатков, дробление фрагментов каменной кладки ручным и механизированным инструментом. После обсуждения и уточнения формулировок, отбраковки случайных или заведомо малозначимых факторов, а также выявления взаимозависимых факторов были установлены наиболее значимые. Для процесса сортировки фрагментов разрушенных стен и удаления органических остатков в дальнейшем анализировались следующие факторы: X1 – прочность кирпича; X2 – прочность раствора кладки; X3 – средний размер кусков фрагментов разрушенных стен; X4 – удельный вес органических включений; X5 – объем фрагментов стен, заскладеированных на 1 м<sup>2</sup> площадки хранения и переработки снесенного здания, X6 – размер свободной площадки для сортировки и дробления фрагментов кирпичных стен; X7 – опыт сортировки у рабочих, занятых на процессах сортировки

фрагментов кирпичных стен; X8 – погода во время производства работ. Аналогичные исследования, проведенные для процесса дробления фрагментов каменной кладки ручным и механизированным инструментом, позволили выявить и проанализировать следующие факторы: Y1 – прочность кирпича; Y2 – прочность раствора; Y3 – средний размер кусков фрагментов разрушенных стен; Y4 – использование механизированного инструмента; Y5 – погода во время производства работ; Y6 – размеры свободной площадки для производства работ; Y7 – опыт рабочих, занятых на процессе дробления; Y8 – отбор в процессе дробления фрагментов разрушенных стен целых кирпичей с целью их дальнейшего использования.

Отобранные факторы ранжировались по степени значимости на трудоемкость соответствующего процесса. Для выявленных факторов каждый эксперт, из числа опрошенных, присваивал наиболее значимому фактору ранг 1, наиболее значимому из числа оставшихся – ранг 2, и так далее для каждого из анализируемых процессов. Согласованность мнений экспертов оценивалась методами ранговой корреляции. Для этого рассчитывался коэффициент конкордации W, который при высокой степени согласования мнений экспертов должен быть больше 0,7. Критерий  $\chi^2$  оценивал вероятность случайного совпадения согласованности мнений экспертов. Значения  $\chi^2$  рассчитывалось по соответствующим формулам для групп факторов каждого исследуемого процесса. Эти значения должны быть выше, чем граничные точки распределения  $\chi^2$  при уровне значимости 0,05 и числе степеней свободы  $k = n - 1$ , где  $n$  – число экспертов. На этапе оценки значимости факторов участвовал 21 эксперт. Для определения удельного веса и значимости каждого фактора, полученные каждым экспертом, оценочные матрицы преобразовывались. В матрице преобразованных рангов наиболее значимому фактору, который имел ранг 1, присваивался ранг  $m - 1$ , следующему по значимости – ранг  $m - 2$  и так далее, где  $m$  – количество факторов, оцениваемых экспертами по соответствующему процессу. Наименее значимый фактор в этой матрице принимал значение 0. После этого для каждого фактора рассчитывалась общая сумма рангов, присвоенная всеми экспертами этому фактору –  $R_i$  и весомость этого фактора  $W_i$  по отношению к общей сумме весомостей по всем факторам –  $\Sigma R_i$ , где  $i$  – оцениваемый фактор. Показатель весомости указывает на важность влияния фактора на исследуемый параметр согласно коллективному мнению экспертов. Чем выше удельный вес фактора, тем, соответственно, существеннее его влияние. По результатам обработки мнений экспертов факторы, влияющие на трудоемкость процесса сортировки фрагментов разрушенных стен, по степени значимости расположились в следующем порядке: X4, X3, X2, X1, X8, X7, X5, X6. Для процесса дробления каменной кладки факторы расположились следующим образом: Y1, Y2, Y4, Y3, Y8, Y7, Y5, Y6. Используя удельную весомость каждого фактора  $W_i$  можно составить многокритериальную модель исследуемых процессов. Однако эта модель может только качественно оценить организационно-технологические параметры процесса при различных комбинациях проявления факторов, а необходимо найти количественную взаимосвязь между степенью проявления факторов и

трудоемкостью. Стоимость работ при известной трудоемкости можно рассчитать. Для построения этой аналитической зависимости необходимо для каждого фактора разработать критерий количественной оценки степени его проявления, то есть показатель. Эти показатели должны быть безразмерными, охватывать всю область изменения фактора и изменяться в одинаковых пределах. Наиболее удобно если показатель фактора изменяется в интервале от 0 до 1. Значение 0 – при минимальной из наблюдаемых случаев степени проявления фактора, а 1 – при максимальной. Трудоемкость процесса в конкретных условиях его протекания, то есть с фиксированными значениями показателей, определялась прямым хронометрированием затрат времени. Согласно требованиям корреляционно-регрессионного анализа количество наблюдений для 8 независимых переменных – факторов, должно быть не менее 64, что позволит установить корреляционную взаимосвязь между ними и зависимой переменной – трудоемкостью. Если в процессе наблюдений установлено, что некоторые показатели существенно не меняются и их можно условно считать фиксированными, то эти факторы можно исключить из многофакторной модели. Для более простой модели требуется меньшее количество статистических наблюдений.

Для процесса сортировки фрагментов стен факторы X1 –прочность кирпича и X2 – прочность раствора кладки, опосредственно влияют на фактор X3 – средний размер фрагментов разрушенных стен, а на процесс сортировки практически не влияют. Фактор X5 – объем фрагментов стен, заскладированных на 1 м<sup>2</sup> площадки хранения, то есть высота штабеля, практически не изменяется, если фрагменты привозятся на площадку складирования автосамосвалами. Фактор X6 – размер свободной площадки, существенно повысит трудоемкость работ при стесненной рабочей зоне. Но по наблюдаемым авторами объектам разрушения стен зданий практически везде можно было организовать площадку для сортировки необходимых размеров. Фактор X7 – опыт сортировки у рабочих, в принципе важен, но поскольку этот процесс не получил широкого распространения, то, соответственно, и нет опытных рабочих, а фактор можно считать неизменяемым. Фактор X8 – погода во время производства, решили отбросить как малозначимый. Таким образом в расчетную модель трудоемкости сортировки фрагментов разрушенных стен были включены факторы X3 - средний размер кусков фрагментов разрушенных стен и X4 – удельный вес органических включений.

Для процесса дробления фрагментов каменной кладки фактор Y3 – средний размер кусков фрагментов разрушенных стен, был признан малозначимым, поскольку фрагменты кладки можно легко дробить прямо в штабеле до относительно небольших кусков, а основные затраты труда приходятся на дробление до размеров щебня. Фактор Y4 – использование механизированного инструмента, существенно влияет на трудоемкость процесса дробления. Однако в процессе исследования не удалось набрать достаточное количество статистических данных по использованию для дробления фрагментов каменной кладки при сносе зданий стационарных дробилок или механизированного инструмента. Учитывая большую градацию

значений производительности дробилок разных типов и механизированного инструмента, предполагается провести дополнительные исследования по влиянию этого фактора. Поэтому в предлагаемой ниже модели расчета трудоемкости этот фактор не включен. Эта модель разработана только для случая дробления фрагментов кирпичных стен ручным инструментом. Факторы Y5 – погода во время производства работ; Y6 – размеры свободной площадки для производства работ; Y7 – опыт рабочих, занятых на дроблении было решено отбросить по соображениям, изложенным при анализе факторов X6, X7, X8. Фактор Y8 – отбор в процессе дробления фрагментов разрушенных стен целых кирпичей с целью их дальнейшего использования, решили в модель не включать, так как, если предполагается повторное использование кирпича, то стены надо не разрушать при сносе здания, а разбирать кладку по кирпичам. Исследование этого процесса выходит за рамки данной статьи. В итоге, в расчетную модель трудоемкости дробления фрагментов каменной кладки были включены факторы Y1 – прочность кирпича; Y2 – прочность раствора.

Для количественной оценки степени проявления отобранных факторов были разработаны соответствующие показатели (смотри табл.1). Хотя, как было сказано выше, ни в одном случае из 21 исследованных случаев сноса гражданских зданий не выполнялись процессы сортировки и дробления фрагментов кирпичных стен, проводились соответствующие эксперименты по хронометрированию затрат времени на сортировку и дробление фрагментов каменных стен. Рассчитывались фактическая трудоемкость для конкретного случая проявления отобранных факторов, то есть для конкретных значений соответствующих показателей. По исследованным объектам не удалось выявить случаев дробления кладки на растворе, имеющим марку более 60. Учитывая тот факт, что в ближайшее время будут сноситься кирпичные здания, построенные в 50 – 60-е годы, которые сложены на более прочном растворе, в процессе экспериментов дробились специально изготовленные образцы кирпичной кладки, имеющие прочность раствора до марки 100.

Таблица 1

№	Фактор	Показатель	Наименование критерия показателя	Формула расчета показателя	Границы изменения критерия показателя
1	X3	Xк	Средний размер кусков каменной кладки Рк	$X_k = \frac{P_k - 0,1}{0,4}$	От 0,1 м <sup>3</sup> до 0,5 м <sup>3</sup>
2	X4	Xп	Удельный вес посторонних (органич.) включений Вп.	$X_p = \frac{B_p - 10}{240}$	От 10 кг/м <sup>3</sup> до 240 кг/м <sup>3</sup>
3	Y1	Yк	Прочность кирпича в фрагментах каменной кладки Мк	$Y_k = \frac{M_k - 20}{100}$	От 20 кг/см <sup>2</sup> до 120кг/см <sup>2</sup>

№	Фактор	Показатель	Наименование критерия показателя	Формула расчета показателя	Границы изменения критерия показателя
4	Y2	Yp	Прочность раствора в фрагментах каменной кладки Mr	$Yp = \frac{Mp - 5}{95}$	От 5 кг/см <sup>2</sup> до 100 кг/см <sup>2</sup>

Всего была собрана статистика для процесса сортировки фрагментов разрушенных стен – 37 наблюдений, а для процесса дробления каменной кладки ручными инструментами – 29 наблюдений, что вполне достаточно для двухкритериальной регрессионной модели для каждого процесса. Используя стандартную программу корреляционно-регрессионного анализа Excel, получены следующие корреляционные зависимости:

$$T_c = 0,81 \cdot X_k + 1,42 \cdot X_p + 1,07(X_k)^2 + 0,08(X_p)^2 + 0,35 \cdot X_p \cdot X_k + 1,52 \quad (1)$$

$$T_d = 0,19 \cdot Y_k + 0,84 \cdot Y_p + 0,72 \cdot (Y_k)^2 - 0,59 \cdot (Y_p)^2 + 1,02 \cdot Y_k \cdot Y_p + 2,24 \quad (2),$$

Где  $T_c$  и  $T_d$  – соответственно трудоемкости процесса сортировки фрагментов разрушенных стен и процесса дробления каменных стен ручными инструментами;  $X_k$  – показатель среднего размера кусков;  $X_p$  – показатель удельного веса посторонних (органических) включений;  $Y_k$  – показатель прочности кирпича в фрагментах каменной кладки;  $Y_p$  – прочность раствора в фрагментах каменной кладки. Коэффициент множественной корреляции соответственно  $R = 0,91$  и  $0,89$ . По результатам наблюдений наиболее распространенные значения имели  $X_k$  при  $R_k = 0,18 \text{ м}^3$ ,  $X_p$  при  $V_p = 43 \text{ кг/м}^3$ ,  $Y_k$  при  $M_k = 54 \text{ кг/см}^2$ ,  $Y_p$  при  $M_p = 28 \text{ кг/см}^2$ .

Трудоемкости сортировки и дробления 1 м<sup>2</sup> фрагментов кирпичных стен при этих значениях были соответственно  $T_c = 1,95$  человеко-часов и  $T_d = 2,53$  человеко-часа. Трудоемкость приготовления бетонной смеси в бетономешалке с барабаном на 150 литров составит, согласно ЕНиР Е-4-14-7, 1,81 человеко-часов. Общая трудоемкость приготовления 1 м<sup>3</sup> бетона на кирпичном щебне составит для наиболее распространенного случая  $T = 6,29$  человеко-часов. При уровне зарплаты 24 гривень за час зарплата составит 151,2 гривень, а общие затраты с учетом стоимости цемента, песка, электроэнергии не превысят 500 гривень на 1 м<sup>3</sup>. При этом отпускная цена 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси на РБУ превышает 700 гривень.

Вывод. Использование фрагментов кирпичных стен снесенных зданий для изготовления и использование бетона на кирпичном щебне принесет не только социальный и экологический, а и экономический эффект.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Белецкий Б.Ф. Технология и механизация строительного производства. – Ростов-на-Дону, «Феникс», 2003. – 745с.
2. Единые нормы и расценки. Сборники 1,3,4.