

# «Русские качели»®

## ДЕЛАЮТ ЖИЛЬЕ ДОСТУПНЫМ

*Авторам данной статьи удалось создать ручной электрифицированный инструмент, пригодный для уплотнения грунтово-бетонных смесей и других строительных маловлажных смесей, который позволит каждому, имеющему земельный участок, изготавливать большинство деталей для дома непосредственно на месте строительства, а для стен использовать ту же землю.*

### Суть вопроса

Потребность в жилье относится к основным потребностям человека. При нынешнем экономическом укладе, главным фактором, влияющим на обеспеченность жилплощадью, является соотношение между ценой дома и доходом семьи. Естественно, что для людей с низкими доходами жилищный вопрос стоит наиболее остро. Кроме того, из-за нынешнего многократного завышения цены на квартиры (по сравнению с их реальной стоимостью) даже достаточно состоятельные люди – так называемый средний класс – ощущают нехватку доступного жилья. Эта проблема на сегодняшний день является одной из центральных для нашего общества.

Авторы статьи не в силах повлиять на рост доходов, но использование разработанной нами технологии, известной как «Русские качели», или СПРИТ [см. Королев Н. Е., Зубкин В. Е., Коновалов В. М. *Технология «Русские качели®»: самоуплотнение порошков в результате индуцированного течения или «СПРИТ»*. // Популярное бетоноведение, 2005, №6(8). С. 78–73], существенно снижает затраты на строительство жилья. Технология особенно хорошо «вписывается» в стратегию, предусматривающую выполнение работ частными застройщиками и добровольными объединениями на уровне общин и неправительственных организаций. При строительстве непосредственно будущими домовладельцами цена дома практически соответствует себестоимости, которую тоже можно снизить за счет использования местного сырья (в первую очередь, грунта).

### Грунт как строительный материал

Грунт (или земля), используемый как строительный материал, это один из древнейших

видов бетона, где в качестве вяжущего выступают глинистые частицы.

Строительство сооружений из грунта имеет историю, уходящую в глубь веков. Отличительной особенностью этого материала является то, что он есть везде. Но используют его мало, что не в последнюю очередь объясняется несовершенством всех известных технологий обработки грунта. В то же время известно, что правильно обработанный грунт ничуть не хуже, а по ряду показателей даже превосходит традиционно применяемые ныне материалы (особенно при строительстве одно-, двух-этажных сооружений).

### Преимущества строительства из грунта

*Дешевизна.* Это следует из многовековой практики земляного строительства.

*Пожаробезопасность.* Постройки из земли не только не горят, но от действия огня становятся еще крепче.

*Гигиеничность.* Такие дома сухи и вполне комфортны для проживания.

*Малая теплопроводность.* Здания из грунта теплее кирпичных. Для поддержания нормальной комнатной температуры в них требуется израсходовать топлива меньше, чем при аналогичных условиях в каменных и бетонных сооружениях.

*Экологическая безопасность.* Использование земли для строительства способствует сохранению леса, снижению энергозатрат для изготовления и транспортирования строительных материалов (а также, как отмечалось выше, для эксплуатации).

Самая известная в России постройка из земли – Приоратский дворец в Гатчине (рис. 1), возведенный под руководством вы-



Рис. 1. Приоратский дворец (1798–1799)

дающего русского архитектора Н. А. Львова (1751–1803).

Этот дворец стоит уже в течение 207 лет на берегу Черного озера и служит неоспоримым аргументом в пользу надежности и долговечности строений из грунта. Н. А. Львов подобрал такой состав грунтомассы, что прочность землебита через 20–30 лет после возведения здания составила 10–12 МПа, хотя цемента в этом составе не было. Были использованы следующие компоненты (в процентах по объему): гравий крупностью от 3 до 7 мм – 4; песок – 58; пыль (мелкая земля) – 20; глина – 18. Органические примеси не добавлялись.

Преимущества жилья из грунта очевидны, и поэтому интерес к нему проявляют в достаточно богатых, по мировым меркам, странах. В частности, в Бельгии, Германии, Италии, США, Франции ведется пропаганда использования грунта для строительства различных типов зданий: домов для семей с низкими и средними доходами, роскошных апартаментов, зданий для офисов, церквей, соборов и других сооружений. Причем строят не только отдельные здания. Например, вблизи города Альбукерке (штат Нью-Мексико, США) есть целое жилое поселение Ла Луз площадью 200 га. На этом участке земли в 1969–1974 годах было построено 92 блокированных жилых дома и объекта различного социально-культурного

назначения. Этому поселку присвоили статус национального достояния.

Не менее значимым является опыт проектирования и строительства экспериментального жилого квартала в городе Иль д'Або (вблизи Лиона, Франция) в 1982–1986 годах. 11 архитектурных групп в своих проектах для строительства 65 жилых домов применили различные конструктивные методы и схемы с использованием грунта в качестве строительного материала. В отличие от американского опыта французские архитекторы предусмотрели и жилые многоквартирные дома.

Благодаря Интернету имеется прекрасная возможность посмотреть разнообразные архитектурные решения подобных строений, от довольно скромных до весьма дорогих (см. например, <http://www.apparatus.com/>, <http://www.rammedearthworks.com/>, <http://www.rammedearth.com/>).

Следует отметить, что в целом ряде стран к строительству из грунта относятся с большой серьезностью, к исследованиям в этой области привлекаются даже ученые. Так, в США специалисты из университетов Нью-Йорка и Сан-Франциско проводят стендовые испытания, позволяющие выявить критические нагрузки, которые могут выдерживать сооружения, построенные из этого материала.

Наиболее удобным и рациональным при строительстве сооружений является использование грунта в виде грунтоблоков.

### Требования, предъявляемые к грунтоблокам

В настоящее время в России и за рубежом производят грунтоблоки самых разных размеров: от 220x105x60 мм до 390x190x90 мм. При этом в отечественной и иностранной литературе рекомендуется использовать грунтоблоки большего размера, чем стандартные кирпичи. Это объясняется двумя причинами: увеличение производительности работы каменщиков по сооружению стен и снижение количества строительного раствора, используемого для кладки блоков. Но чаще всего на выбор размера производимых грунтоблоков влияют возможности имеющегося формовочного оборудования.

Многочисленные исследования ученых показали, что прочность и долговечность этих блоков увеличиваются с ростом плотности, а их плотность и прочность – с ростом уплот-

няющей нагрузки (давления). Однако это увеличение происходит до определенного предела, после которого данные показатели остаются более или менее постоянными. При этом максимальные прочности и уплотняющие нагрузки для грунтов различного минералогического состава не одинаковы.

Очень важно применять такие способы формирования, которые обеспечивают производство однородных грунтоблоков. Стена, сложенная из блоков с разной плотностью, может со временем начать неравномерно разрушаться от эрозии. Также важно, чтобы эти способы обеспечивали получение блоков одинаковых размеров, что, в свою очередь, способствует последующей качественной укладке.

### **Недостатки традиционных методов формирования грунтоблоков**

Центральной операцией в изготовлении блоков из грунта является формирование. С его помощью можно получить блок предельно высокой плотности и заданных размеров. Прочность изделия зависит от плотности, а плотность достигается сжатием рыхлой грунтовой смеси. Что касается размеров блока, то его длина и ширина фиксируются стенками формы, а толщина – обрабатывающим инструментом.

Для формирования грунтоблоков традиционно применяют, главным образом, различные варианты одноосевого прессования. При этом существуют два основных метода: при постоянном давлении и при постоянном объеме.

При применении метода постоянного давления пуансон пресс сжимает грунтовую смесь до заранее фиксированного постоянного давления. При этом частицы грунта, двигаясь относительно друг друга, сближаются и сдавливаются, а воздушные поры уменьшаются. Это внутреннее движение продолжается до тех пор, пока в смеси не разовьется противодействие, равное приложенному извне. Тогда сжатие грунта прекращается.

Фиксированное внешнее давление, содержание влаги в смеси, количество материала, засыпанного в форму, и равномерность его распределения по объему формы определяют качество уплотнения и толщину блока. Таким образом, для производства одинаковых блоков требуется, чтобы перечисленные параметры оставались постоянными для каждого цикла процесса формирования. На практике это невыполнимо, и толщина блоков, отфор-

мованных из смеси, имеющей приблизительно одинаковую влажность и объем (или массу), получается различной. Поэтому в ходе производства постоянно контролируют толщину блоков и удерживают ее в пределах допусков изменением дозы засыпаемой в форму грунтосмеси.

При использовании метода постоянного объема, при котором пуансон доводят до фиксированного размера, колебания в количестве и качестве грунтосмеси приводят к изменению плотности и прочности произведенных блоков.

Таким образом, традиционными методами формирования получить блок с предельно высокой плотностью по всей высоте и объему изделия и точными размерами в принципе невозможно.

И в том, и в другом случае для обеспечения приемлемого уплотнения грунтовых масс приходится применять достаточно высокие давления. При этом до 90% энергии расходуется впустую: на трение между частицами, на трение материала о стенки формы, на сжатие заземленного воздуха, на создание устройств дозирования и контроля управления, а также на изготовление тяжелых и прочных форм, которые больше по объему по сравнению с объемами формируемых блоков.

### **Сравнение «Русских качелей» с традиционными технологиями**

В развитии технологии строительства из грунта специалисты в основном уделяли внимание способам оптимизации данного материала для производства строительных изделий, разработке различных добавок для стабилизации грунта, разработке норм и правил проектирования и строительства зданий и сооружений. Гораздо меньше задумывались над созданием и производством машин и механизмов для изготовления строительного материала из грунта, а принцип работы существующих был основан на традиционном способе прессования путем уменьшения объема.

На основе исследований механизма образования плотных структур из любых порошкообразных материалов и смесей была предложена принципиально новая технология «Русские качели» для изготовления изделий и сооружений из различных сыпучих материалов, в том числе из грунта. Эта разработка заменяет традиционные технологии прессования, укатки, трамбования. При этом расход

Процессы	Традиционное оборудование	Машины «Русские качели»
«Русские качели» <sup>®</sup> в сравнении с прессованием	Высота формы больше толщины формируемого изделия в 1,5–5 раз	Высота формы равна толщине формируемого изделия
	Количество засыпаемого материала в форму подбирается опытным путем пробным прессованием	Количество нагнетаемого материала соответствует требуемой плотности и обеспечивается машиной непосредственно в ходе нагнетания
	Уплотняемый материал засыпается в форму до прессования	Уплотняемый материал подается в форму непосредственно в ходе нагнетания.
	Пуансон при прессовании входит внутрь формы	Рабочий орган не заходит форму
	Величина усилия прессования больше предела прочности уплотняемого материала в 10–100 раз и подбирается опытным путем так, чтобы оно соответствовало требуемому качеству уплотнения	Величина нагнетающего усилия равна пределу прочности уплотняемого материала и устанавливается самопроизвольно в каждый момент процесса нагнетания
	При прессовании пуансон перекрывает всю форму, что вызывает защемление воздуха в уплотняемом материале	При нагнетании форма всегда частично открыта, защемления воздуха не происходит, что позволяет получить изделие с минимальной теоретически возможной пористостью
«Русские качели» <sup>®</sup> в сравнении с трамбованием	Уплотняемый материал выкладывают до трамбования (вручную или укладчиком)	Уплотняемый материал укладывает машина непосредственно в ходе нагнетания
	Высота выкладываемого слоя подбирается опытным путем пробного трамбования экспериментального участка	Высота укладываемого слоя равна проектной и обеспечивается соответствующей установкой рабочего органа
	Трамбовка многократно падает на уплотняемый слой, пока слой перестанет осаживаться под трамбовкой	Машина однократно проходит по укладываемой полосе, оставляя за собой уплотненный слой
	Трамбовка опирается на уплотняемый слой	Машина опирается на элементы опалубки или на уже уплотненный или подстилающий слой
	Трамбовка при трамбовании проседает ниже, чем верхняя поверхность трамбуемого слоя	Рабочий орган вывешен и только касается будущей проектной поверхности уплотняемого слоя.
	Величина контактного давления, передаваемого трамбовкой на материал, определяется массой трамбовки и высотой падения (скоростью удара) и подбирается опытным путем так, чтобы она не была выше прочности слоя материала в уплотненном состоянии	Величина контактного давления соответствует прочности уплотняемого слоя и устанавливается самопроизвольно в каждый момент процесса нагнетания

Таблица 1. Преимущества оборудования «Русские качели»<sup>®</sup> по сравнению с традиционным оборудованием



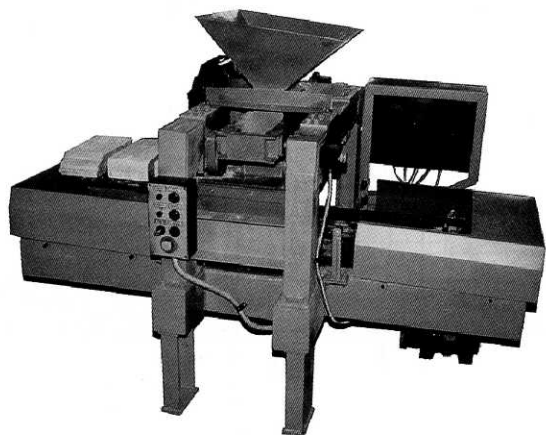


Рис. 2. Машина для изготовления грунтоблоков РК 250

энергии на единицу продукции снижается не менее чем в два раза.

Технология «Русские качели» позволяет обрабатывать любые применяемые для строительства грунты влажностью от 6 до 16% и изготавливать из них строительные изделия с предельно плотной структурой материала и точными размерами одним непрерывным действием, как в виде слоя, так и в отдельных формах. В отличие от традиционного прессования, применение предложенной технологии позволяет отказаться от весового и объемного дозирования, уменьшить давление, воздействующее на формируемый порошкообразный материал, на порядок и более и, не контролируя его, получать точные изделия без свилеобразования, без трещин перепрессовки и упругого последействия.

Преимущества оборудования, реализующего технологию «Русские качели», по сравнению с традиционным сведены в *таблице 1*.

### **РК 250 как представитель нового класса формовочных машин**

Технология «Русские качели» осуществляется посредством нового класса высокоэффективных машин – нагнетателей сыпучих сред. Это простое, дешевое и надежное технологическое оборудование с меньшими металлоемкостью (в 3–5 раз) и мощностью (в 2–3 раза) по сравнению, например, с традиционным прессованием. Такие машины работают без вибрации и сверхнормативного шума, имеют минимальный износ деталей, взаимодействующих с обрабатываемым грунтом. При этом материал распределяется и уплотняется равномерно без защемления воздуха и влаги. Достигается высокая точность размеров изделия, так как форма заполняется вровень с краями.

Представителем нового класса высокоэффективных нагнетателей являются мобильные машины для изготовления грунтоблоков типа РК.

Одна из них – РК 250 (то есть «Русские качели» производительностью 250 блоков в час», см. *рис. 2*), ныне выпускаемая серийно ООО «Интеллект-Капитал» (Москва). В ней сочетаются наиболее удачные конструктивные решения, опробованные в ранее созданных машинах.

РК 250 предназначена для изготовления стеновых блоков из разнообразных маловлажных сыпучих материалов (в основном из грунтопесчаных и грунтоцементных мелкозернистых смесей) как на месте строительства, так и в производственных условиях.

С помощью этой машины можно производить сплошные и пустотелые грунтоблоки, а также разнообразные фасонные блоки (*рис. 3*).

Конструктивная схема РК 250 представлена на *рис. 4*. Машина включает основание 1 и опорный элемент 9. На основании смонтированы четырехместная форма 4, каждая ячейка которой оснащена подъемным дном с выталкивателем для немедленной распалубки отформованных блоков, механизм перемещения формы 2, стабилизирующее устройство 5, механизм распалубки изделий 3, обеспечивающий подъем и опускание доньев формы, элементы электрооборудования.

На опорном элементе размещены нагнетатель 6 типа «Русские качели», привод нагнетателя 8, бункер-точка 10, элементы электрооборудования.

Нагнетатель выполнен в виде механизма шарнирного параллелограмма, на его шатуне закреплен решетчатый рабочий орган 7, пластинами которого осуществляется нагнетание грунта. Привод нагнетателя состоит из связанных ремненной передачей электродвигателя и

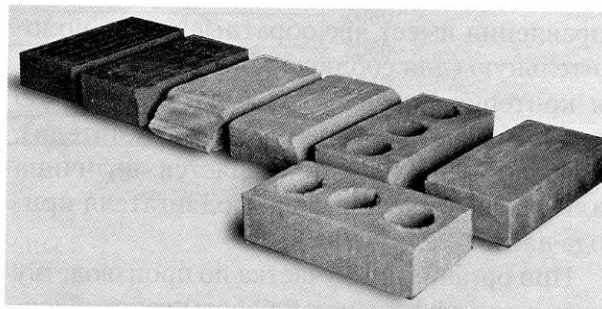
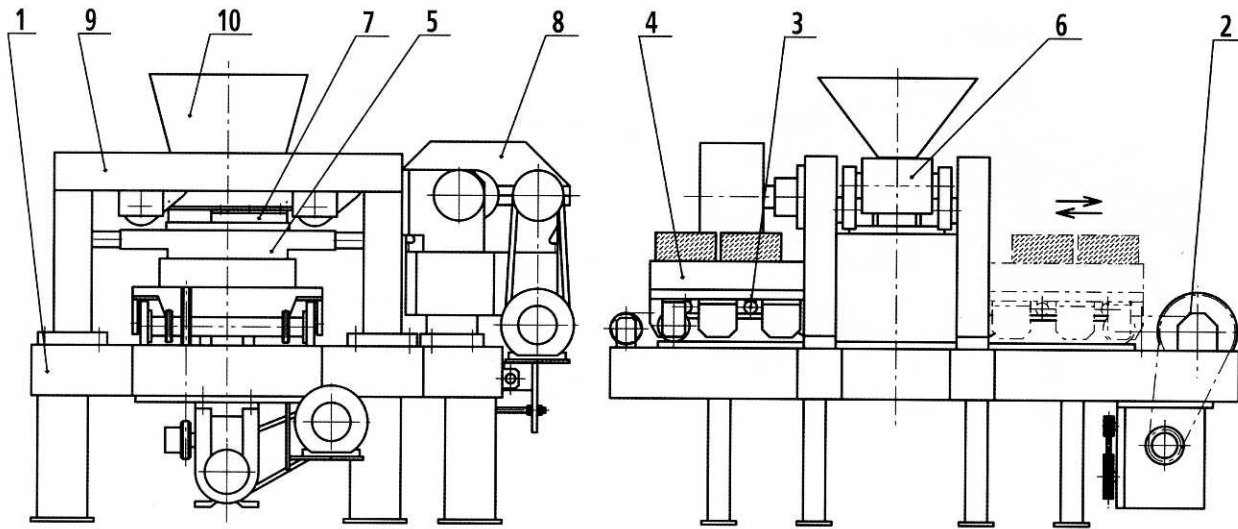


Рис. 3. Образцы грунтоблоков, отформованных на РК 250



1 – основание, 2 – механизм перемещения формы, 3 – механизм распалубки изделий, 4 – четырехместная форма, 5 – стабилизирующее устройство, 6 – нагнетатель, 7 – решетчатый рабочий орган, 8 – электромеханический привод рабочего органа, 9 – опорный элемент, 10 – бункер-течка

Рис. 4. Конструктивная схема машины РК 250

редуктора, тихоходный вал которого соединен муфтой с кривошипно-шатунным механизмом. Последний шарнирно соединен с нагнетателем и приводит его в качательное движение.

С помощью механизма передвижения форма может осуществлять челночное перемещение под нагнетателем, двигаясь по закрепленным на нижней раме направляющим.

Стабилизирующее устройство установлено на основании с возможностью возвратно-поступательного движения поперек перемещения формы, оно начинает двигаться от соприкосновения с работающим нагнетателем. Это устройство имеет две заглаживающие подошвы, которые охватывают нагнетатель с двух сторон. С других сторон вертикальные стенки ограждают зону подачи формуемого материала и предотвращают его просыпание наружу.

Машина РК 250 оснащена электронным блоком управления, который реализует автоматический и полуавтоматический режимы работы. Для автоматического регулирования скорости передвижения формы схема управления имеет две обратные связи: положительную (для соблюдения должного уровня критерия управления) и отрицательную (для защиты от перегрузки нагнетателя). Критерием управления является величина силы тока в обмотках электродвигателя привода нагнетателя.

При организации участка по производству блоков для эффективной работы грунтоблочная машина может быть укомплектована раз-

личным дополнительным серийно выпускаемым оборудованием, например, смесителем, питателем и т. д.

### Результаты испытаний грунтоблоков, отформованных на РК 250

Проверка формующей способности РК 250 была проведена в НИИ транспортного строительства (ОАО «ЦНИИС», Москва). При помощи машин РК было изготовлено необходимое количество блоков размером 90x190x390 мм, которые затем подверглись испытаниям. Определялись: плотность блоков, пределы их прочности при сжатии и изгибе, а также теплопроводность в высушенном до постоянной массы состоянии в соответствии с существующими стандартами (действующими нормативными документами).



Рис. 5. Зависимость предела прочности на сжатие  $R_{сж}$  и изгиб  $R_{изг}$  блоков от количества цемента в грунтопесчаной смеси

Исходная влажность смеси, %	Возраст образца, сутки	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность, МПа	
			Сжатие	Изгиб
10	1	2080	1,8	0,20
	3	2060	2,3	0,25
	30	1970	4,7	0,21
11	1	2200	2,3	0,37
	3	2190	2,7	0,68
	30	2090	7,3	0,64

Таблица 2. Результаты испытаний грунтоблоков, отформованных на РК 250

Работы проводились на грунтопесчаной смеси из глины Бескудниковского кирпичного завода (Москва) и карьерного песка с соотношением компонентов по массе 1:0,75 соответственно. Для стабилизации использовался портландцемент. Влажность смеси изменялась от 6 до 18 %. Большая часть нестабилизированных блоков формовалась при влажности 10, 11 и 12 %, стабилизированных – при влажности 13–14 %. Стабилизированные блоки изготавливались с добавлением в грунтопесчаную смесь 5, 8, 12, 15 % цемента по массе.

После изготовления блоки хранились в помещении при температуре 20–25 °С. Испытания проводились в различные сроки хранения: от 1 до 90 суток.

В ходе работы опробованы два алгоритма управления машиной: в одном случае скорость передвижения формы была постоянна, в другом – функционально зависела от нагрузки на приводе нагнетания.

Все отформованные на РК блоки имели точные размеры и хороший внешний вид (рис.3). Их распалубочная прочность колебалась от 1,0 до 2,0 МПа. По мере хранения в результате высыхания плотность блоков сни-

жается, при этом предел прочности на сжатие возрастает. Соответствующие средние значения представлены в таблице 2.

В случае применения первого алгоритма управления машиной РК плотность отформованных нестабилизированных блоков в возрасте 30 суток в зависимости от исходной влажности смеси колебалась от 1840 до 2100 кг/м<sup>3</sup> и коррелировалась с пределом прочности на сжатие, изменявшимся соответственно от 2,0 до 8,3 МПа.

Установлено, что при использовании второго алгоритма управления, когда передвижение формы под нагнетателем осуществляется при достижении заранее заданной нагрузки на приводе нагнетателя, плотность блоков зависит в большей степени от этой задаваемой величины. Причем изменение влажности смеси не влияет так сильно на получаемую плотность блоков, как это происходит при первом режиме формования.

Плотность нестабилизированных блоков, отформованных при втором алгоритме управления, была в среднем на 7 % выше, чем при первом, и варьировалась от 2080 до 2230 кг/м<sup>3</sup> в зависимости от задаваемой величины.



Рис. 6. Изменение плотности и прочности стабилизированных блоков с 12 % цемента во времени

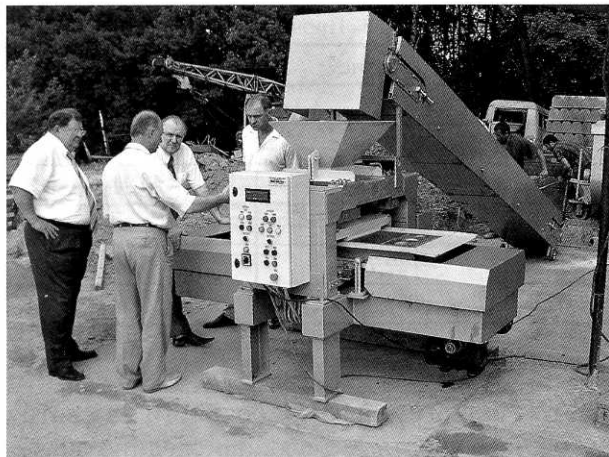


Рис. 7. Участок по производству грунтоблоков с использованием РК 250 на открытой площадке

Стабилизированные блоки формовали, используя первый алгоритм управления машиной РК. Влияние количества цемента, вводимого в грунтопесчаную смесь, на получаемую плотность блоков, на их предел прочности на сжатие и изгиб показано на рис. 5. Изменение этих характеристик в зависимости от времени представлено на рис. 6 на примере блоков, отформованных с 12% цемента.

#### «Русские качели» как одно из решений проблемы доступного жилья

Приведенные выше данные свидетельствуют о высоком качестве грунтоблоков, отформованных по технологии «Русские качели». В рамках решения проблемы доступного жилья немаловажным является еще одно их достоинство – низкие затраты на производство.

Управление РК 250 предельно простое, и обучиться работе на ней за пару часов может практически каждый. Для строительства дома площадью 12,8x8 м, толщиной наружных стен в 1,5 блока и внутренних в один блок потребуется около 20 тысяч грунтоблоков размером 390x190x90 мм. С учетом относительно недорогого сырья и невысоких энергозатрат при условии работы «на себя» (то есть без использования наемной рабочей силы) себестоимость производства стеновых материалов для такого дома составит порядка 5–6 тысяч рублей. Естественно, введение цементных добавок увеличит эту сумму.

На РК 250 такое количество блоков в «непромышленных» условиях можно изготовить за 2–3 недели. Следовательно, за 6 месяцев работы можно произвести блоков для строительства от 8 до 12 домов. А значит, существует возмож-

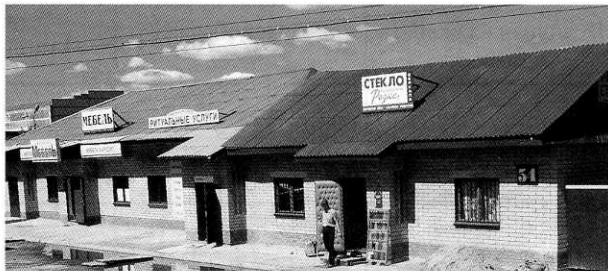


Рис. 8. Торговое здание, г. Малоярославец, ул. Калужская, д. 54 (Калужская обл.)

ность кооперативного (совместного) использования техники для решения проблемы обеспечения жильем, в том числе с помощью государства. С учетом улучшения экономической ситуации в России, желания со стороны власти уделять больше внимания «простым» проблемам ее граждан, а также с учетом необходимости оказания россиянам (мигрантам из ближнего зарубежья) помощи в обустройстве преимуществ такого варианта очевидны.

Естественно, необходимо и промышленное производство грунтоблоков с последующей их продажей потребителям: на рис. 8 представлено торговое здание, построенное из стабилизированных грунтоблоков, произведенных на РК 250. Качество самих блоков и кладки из них можно увидеть на рис. 9.

В заключении хотелось бы отметить, что приведенные в этой статье данные свидетельствуют о том, что сочетание естественно-го строительного материала – грунта – и технологии «Русские качели» является одним из наиболее эффективных путей решения задачи обеспечения населения дешевым, доступным и в то же время комфортабельным жильем.

**Валерий Ерахмиельевич Зубкин,  
Владимир Михайлович Коновалов,  
Николай Евдокимович Королев**



Рис. 9. Фрагмент стены