



DOI: 10.15593/2224-9826/2019.3.07

УДК 691.215.1

## К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ РАКУШЕЧНИКА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

**А.В. Болотин<sup>1</sup>, А.А. Лунегова<sup>2</sup>, Г.Г. Жукова<sup>2</sup>, Д.Н. Овсянникова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Северо-Восточный государственный университет, Политехнический институт, Магадан, Россия

<sup>2</sup>Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Лысьвенский филиал, Лысьва, Россия

### О СТАТЬЕ

Получена: 02 апреля 2019

Принята: 28 июня 2019

Опубликована: 7 октября 2019

### Ключевые слова:

ракушечник, использование ракушечника в строительстве, характеристики ракушечника, характеристики строительных материалов, расчет нагрузок, теплотехнический расчет.

### АННОТАЦИЯ

Строительная отрасль сегодня использует широчайший ассортимент материалов, применение многих из них стало возможным благодаря достижениям в технологиях и химической промышленности. В настоящее время все чаще при строительстве загородных домов во внешней отделке зданий предпочитают использовать натуральные камни. В связи с растущим спросом на загородные дома самым распространенным и недорогим материалом для строительства и оформления фасадов становится ракушечник.

К натуральным камням предъявляются определенные требования, и показатели ракушечника соответствуют большинству из них. Главными требованиями являются эстетичность внешнего вида, экологическая чистота, долговечность. Ракушечник – материал особенный; его уникальные свойства – регулировать микроклимат в доме и насыщать воздух морской солью и йодом – обусловлены природным происхождением и абсолютной натуральностью. Доля участия человека в производстве ракушечника ограничивается лишь нарезкой камня на куски требуемых размеров. Единственное воздействие на ракушечник – гидрофобизация, так как материал очень гигроскопичен. Как строительный материал ракушечник применяется в самых различных областях. Ракушечник прекрасно подходит для возведения наружных стен, межкомнатных перегородок и декоративной внутренней отделки.

В строительстве также отдают предпочтение таким материалам, как кирпич, пенобетон и газобетон. Для того чтобы понять, какой материал больше подходит для строительства, выполнен анализ их основных характеристик. В статье произведен расчет нагрузок, которые способны выдержать стены из ракушечника и кирпича. Также выполнен теплотехнический расчет наружной стены здания из ракушечника.

Являясь красивым материалом и обладая при этом хорошими эксплуатационными характеристиками, ракушечник идеально подходит для строительства и оформления жилья.

© ПНИПУ

© **Болотин Александр Викторович** – кандидат химических наук, доцент, e-mail: alexandr\_bolotin@mail.ru.

**Лунегова Анастасия Антоновна** – кандидат экономических наук, доцент, e-mail: laaru@rambler.ru.

**Жукова Галина Георгиевна** – старший преподаватель, e-mail: galinageorgievna2013@yandex.ru.

**Овсянникова Дарья Николаевна** – студентка, e-mail: dasha.ovsyannikova.1998@mail.ru.

**Aleksandr V. Bolotin** – Ph.D. in Chemistry, Associate Professor, e-mail: alexandr\_bolotin@mail.ru.

**Anastasiya A. Lunegova** – Ph.D. in Economics, Associate Professor, e-mail: laaru@rambler.ru.

**Galina G. Ghukova** – Senior Lecturer, e-mail: galinageorgievna2013@yandex.ru.

**Daria N. Ovsyannikova** – Student, e-mail: dasha.ovsyannikova.1998@mail.ru.

## TO THE QUESTION OF THE USE OF COQUINA IN CONSTRUCTION

**A.V. Bolotin<sup>1</sup>, A.A. Lunegova<sup>2</sup>, G.G. Zhukova<sup>2</sup>, D.N. Ovsyannikova<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Northeast State University, Polytechnic Institute, Magadan, Russian Federation

<sup>2</sup>Perm National Research Polytechnic University, Lysva Branch, Lysva, Russian Federation

---

### ARTICLE INFO

Received: 02 April 2019  
Accepted: 28 June 2019  
Published: 7 October 2019

#### Keywords:

coquina, the use of coquina in construction, coquina characteristics, characteristics of building materials, load calculation, heat engineering calculation.

### ABSTRACT

The construction industry today uses a wide range of materials, many of which were made possible thanks to advances in technology and the chemical industry. In our days, more and more often, in the construction of country houses, natural stones are preferred in the exterior decoration of buildings. In connection with the growing demand for country houses, the most popular and inexpensive material for the construction and design of facades becomes a coquina.

Certain requirements are imposed on natural stones, and the values of the coquina correspond to most of them. The main requirements are aesthetic appearance, environmental friendliness, durability. Coquina is a special material, its unique properties are regulation the microclimate in the house and saturation the air with sea salt and iodine, due to its natural origin and absolute naturalness. The share of human participation in the production of coquina is limited only by cutting the stone into pieces of the required size. The only effect on the coquina is hydrophobization because the material is very hygroscopic. As a building material, coquina is used in a wide variety of areas. Coquina is perfect for the construction of exterior walls, interior partitions and decorative interior decoration.

Also in construction prefer materials such as brick, foam concrete and aerated concrete. In order to understand which material is more suitable for construction, an analysis of their main characteristics is performed. The article calculates the loads that can withstand walls of coquin and brick. Also performed thermal calculation of the outer wall of the building from the coquin.

Being beautiful material and having at the same time good operational characteristics, a coquina is ideally suited for construction and registration of housing.

© PNRPU

---

## Введение

В последнее время все чаще в процессе строительства домов и во внешней отделке зданий отдают предпочтение натуральным материалам. В тот или иной период популярностью пользуются многие материалы, но среди них есть те, которые востребованы в течение длительного времени. В связи с растущим спросом на загородные дома, самым распространенным и недорогим материалом для строительства и оформления фасадов стал ракушечник [1].

## Основная часть

Ракушечник – это разновидность известняковой пористой породы, имеющей осадочный тип образования. Состоит преимущественно из раковин морских животных и их обломков [2].

Основные месторождения этого природного камня расположены в южных районах, где раньше находились доисторические моря. Со временем эти моря высыхали, берега и дно обнажались вместе с осевшими в них останками морских существ. Даже сейчас на срезах плит из ракушечника можно встретить скелеты этих доисторических животных. За долгие годы под тяжестью собственного веса сформировалась слоистая, пористая, но довольно плотная порода [3].

Значительные залежи находятся на полуострове Крым, в Молдавии, в Средней Азии, на Кавказе (Дагестан) и в Украине (Одесская и Донецкая области) [4].

Химический состав этого строительного камня содержит только органические вещества. Это кальций (содержание его практически равно 100 %), кремний, йод и углерод. Благодаря такому составу ракушечник относят к экологически чистым материалам. В помещении, который отделан этим материалом, возникает специфичный состав воздуха, усиливающий иммунитет и укрепляющий здоровье в целом. На нем также не размножается грибок, он не гниет, не взаимодействует с другими материалами, обладает гипоаллергенными свойствами и препятствует проникновению чужеродных химических веществ в помещение, играя роль фильтра [4]. В довершение ко всему этот камень не вызывает аллергических реакций. Как утверждают люди, живущие в домах из ракушечника, у человека в них поднимаются настроение и жизненный тонус, улучшается общее состояние организма [5]. Еще одно очень важное преимущество перед другими строительными материалами – дом из ракушечника не любят мыши и крысы. Для загородного дома это существенный показатель [3].

По внешним признакам строительный ракушечник подразделяют на две группы: желтый, имеющий предел прочности при сжатии 5–15 кгс/см<sup>2</sup>, и белый, с пределом прочности при сжатии 10–20 кгс/см<sup>2</sup>. Объемный вес ракушечника составляет 700–2300 кг/м<sup>3</sup> [6].

За счет высокой пористости ракушечник имеет низкий показатель теплопроводности – 0,2–0,6 Вт/(м·К) – и обеспечивает хорошую шумоизоляцию. К тому же у ракушечника очень высокая морозостойчивость – до 70 циклов. Благодаря «дышащей» структуре лишняя влага там не задерживается, а сам ракушечник долгое время остается прочным и невредимым. Немалым его достоинством является и непроницаемость для радиоактивных излучений. Все вышеперечисленные достоинства делают ракушечник в своем роде уникальным [3].

По плотности, весу и прочности ракушечник делят на три марки – М15, М25 и М35. Самая прочная и наименее пористая марка – М35, используется, например, для строительства цоколя, фундамента. Вес одного такого блока доходит до 25 кг [4].

Из блоков марки М25 (вес кирпича от 14 до 17 кг), обладающих средней плотностью и пористостью, кладут одно-, двух- и трехэтажные жилые дома, а также возводят внутренние стены помещений [4].

Самые легкие (вес до 12 кг) и непрочные, с самой высокой теплопроводностью, а следовательно, наименее способные сохранять тепло – блоки марки М15. Из них выкладывают хозяйственные помещения, гаражи, ограды [4].

Хотя ракушечник является одним из самых простых строительных материалов, вопросы, связанные с его сохранением, сложны. При работе с этим материалом человек сталкивается с широким спектром угроз этому хрупкому материалу – от естественной эрозии до повреждения от вибрации, вызванной движением транспорта [6].

Стойкость к ударному воздействию у данных камней оставляет желать лучшего, поэтому следует обязательно соблюдать осторожность при обращении с ракушечником, как при доставке, так и на строительной площадке [7].

Для того чтобы на место возведения дома ракушечные блоки прибыли целыми, перевозить их следует на грузовых автомобилях с ровными кузовами, в поддонах, скрепленных лентами или тросами [7].

Добывается материал карьерным способом при помощи специальных машин, которые режут пласты ракушечника. Добыча ведется в несколько этапов. Сначала землеройная техника освобождает от грунта и выравнивает ракушечный массив. После этого на площадке устанавливают машину с огромной фрезой, которая медленно движется по рельсам и нарежет пласты нужной толщины [8]. Доля участия человека в производстве ракушечника ограничивается лишь нарезкой камня на куски требуемых размеров [9]. Несмотря на свою прочность, ракушечник легко пилится даже ручной пилой и можно без особых затруднений получать плиты и блоки самых разных размеров. По этой же причине доступно изготовление деталей различных форм и размеров, например колонн. Стандартный размер блоков – 18×18×38 см либо 20×20×40 см. В одном блоке ракушечника 5,5 кирпичей. При обработке плит им придают разные виды поверхностей: обычная пиленая, полированная, шероховатая [2].

При добыче ракушечник достаточно мягкий. Эта мягкость позволяет легко удалить его из карьера и вырезать его в форму. Тем не менее камень поначалу слишком мягкий, чтобы его можно было использовать для строительства. Для применения ракушечника в качестве строительного материала камень оставляют насухо в течение определенного времени, в процессе чего камень затвердевает в пригодную для использования форму [10].

Как строительный материал ракушечник применяется в самых различных областях. Ракушечник прекрасно подходит для возведения наружных стен, межкомнатных перегородок и декоративной внутренней отделки. Его жаропрочные свойства позволяют использовать этот камень при наружной отделке очагов и каминов.

Самое объемное применение, конечно, в строительстве домов. Блоки с необработанной пиленой поверхностью можно использовать в возведении стен, заборов, арок. Дом из ракушечника получается теплым и не пропускает лишнего шума с улицы, поэтому не требует дополнительной изоляции, что значительно снижает затраты на строительство. В районах с повышенной влажностью, частыми дождями, обильными снегопадами после окончания строительства стены необходимо обработать гидроизолирующими средствами [3].

Если дом уже построен, но предстоит работа по его «внешности», то стоит задуматься об отделке ракушечником. Причем ископаемое совершенно универсально, им можно отделать стены изнутри, создав «морской климат» или же – снаружи, придав постройке и повышенные технические свойства, такие как непроницаемость по всем показателям, и презентабельный «дорогой» вид [11].

Плитка из ракушечника идеальна для наружной отделки фасадов. Малый вес не создает дополнительной нагрузки на фундамент. Полированная поверхность плитки не нуждается в дополнительной обработке [2].

Шероховатая поверхность плит из ракушечника устойчива к истиранию, и поэтому используется для облицовки ступеней лестниц, крыльца, дорожек, площадок внутри двора [2].

Камни из ракушечника предлагают богатую текстуру и уникальную визуальную привлекательность при использовании в архитектуре, поэтому ресурсы ракушечника стремительно сокращаются из-за его высокой популярности в декоре зданий и оформлении внутреннего интерьера [12].

В строительстве также отдают предпочтение таким материалам, как кирпич, пенобетон и газобетон. Для того чтобы понять, какой материал больше подойдет для строительства, необходимо проанализировать их характеристики (табл. 1).

Таблица 1

Сравнительные характеристики строительных материалов

Table 1

Comparative characteristics of building materials

Параметр	Единицы измерения	Ракушечник	Пенобетон	Газобетон	Полнотельный кирпич М150
Размер	мм	180×180×380	200×300×600	200×300×600	250×120×65
Объемный вес	кг/м <sup>3</sup>	700–2 300	300–1200	600–800	1650–1730
Предел прочности на сжатие	кгс/см <sup>2</sup>	5–20	20–150	25–150	150
Показатель морозостойкости	цикл	F50–70	F35	F35	F35–100
Показатель теплопроводности	Вт/(м·К)	0,2–0,6	0,05–0,38	0,18–0,28	0,4–0,7
Стоимость материала по состоянию на 01.01.2018 г. на складе в Пермском крае*	руб./м <sup>3</sup>	3240*	2700	3000	3400

\*Стоимость приведена с учетом транспортных расходов.

### **Сравнительные характеристики ракушечника и других строительных материалов**

Поскольку пеноблок и газоблок являются искусственными материалами, их качества полностью зависят от производителя. Пеноблоки производятся из смеси цемента, песка, воды и пенообразователя, газоблоки – из кварцевого песка и цемента. Такая доступность производства приводит к появлению на рынке откровенно плохой продукции [13].

Поскольку пеноблок, газоблок и кирпич можно производить в любом регионе, их стоимость стабильна и зависит от марки плотности. Стоимость ракушечника зависит от региона. В местах добычи ракушечник является одним из самых дешевых строительных материалов. По мере удаления от карьера его цена растет [13].

Несмотря на все свои преимущества, ракушечник обладает одним существенным недостатком – материал очень гигроскопичен, что необходимо учитывать перед началом строительства [14].

Существует несколько особенностей, которые связаны с гигроскопичностью ракушечника и часто игнорируются [14]:

1. Строительство дома ведется не один год. Незавершенные объекты в периоды межсезонья и зимы подвергаются не только активному воздействию атмосферных осадков, но и температурным перепадам, в результате чего камень начинает разрушаться еще до окончания строительных работ.

2. Теплопроводность ракушечника зависит от его влажности, от того, содержится ли в его порах воздух или вода. При намокании она резко возрастает, так как воздух в порах замещается водой, которая имеет гораздо более высокий коэффициент теплопроводности.

3. Использование пенопластов (как и минеральной ваты) приводит к образованию плесени и грибка, а также нарушает микроклимат внутри помещений, так как отделочный слой с более низкой паропроницаемостью приводит к накоплению влаги в толще самого ракушечника.

Эффективным решением, позволяющим учесть описанные выше особенности ракушечника, является использование кремнийорганических гидрофобизаторов.

Кремнийорганические гидрофобизаторы – это жидкости, придающие поверхности минеральных строительных материалов водозащитные свойства. Достаточно поверхность/конструкцию обработать такой жидкостью – и камень не будет намокать даже во время сильного дождя со снегом.

Принцип действия гидрофобизаторов таков: проникая в глубь пор и капилляров, составы полимеризуются, выстилая их поверхность тончайшей пленкой, которая и обеспечивает камню водозащитные свойства. Пленка настолько тонка (несколько десятков молекул), что практически не снижает паропроницаемости строительного материала [10].

### Расчет нагрузок, которые способны выдержать стены из ракушечника и кирпича

Произведем сбор нагрузок на обрез фундамента под несущую стену по оси Б двухэтажного жилого дома (рис. 1). В качестве примера нами выбран район строительства г. Перми, так как здесь на рынке строительных материалов ракушечник завоевал свою нишу.

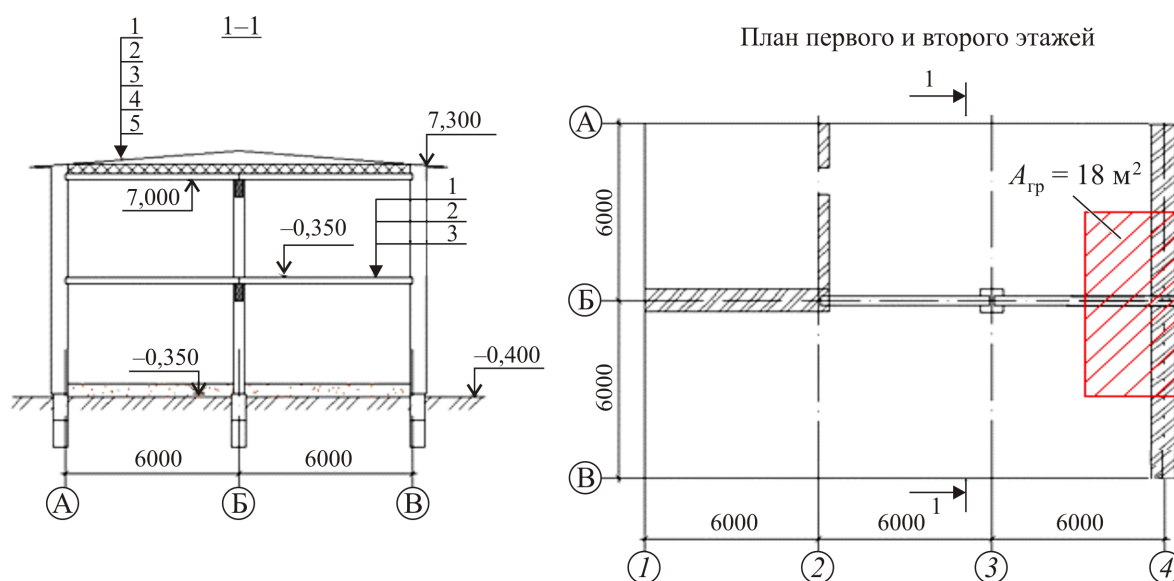


Рис. 1. Разрез здания, план первого и второго этажей  
Fig. 1. Section of the building, the plan of the first and second floors

Состав покрытия: двухслойный направляемый ковер, удельная нагрузка  $10 \text{ кг/м}^2$ ; асбоцементная плита размером  $1 \times 2 \text{ м}$ , массой  $36 \text{ кг}$ ; плита ППЖ в два слоя, толщина одного слоя  $5 \text{ см}$ , плотность  $200 \text{ кг/м}^3$ , пароизоляция, удельная нагрузка  $4,5 \text{ кг/м}^3$ , железобетонная плита массой  $2,5 \text{ т}$ , размером  $5,98 \times 1,19 \text{ м}$ .

Состав перекрытия: паркет с удельной нагрузкой  $9 \text{ кг/м}^3$ ; пробковое покрытие плотностью  $120 \text{ кг/м}^3$ , толщиной  $30 \text{ мм}$ ; железобетонная плита массой  $2,5 \text{ т}$ , размером  $5,98 \times 1,19 \text{ м}$ . Балки перекрытия железобетонные, сечением  $200 \times 400 \text{ мм}$ .

Собираем нагрузку на  $1 \text{ м}$  покрытия (табл. 2).

Собираем нагрузку на  $1 \text{ м}$  перекрытия (табл. 3).

Таблица 2

Сбор нагрузок на 1 м покрытия

Table 2

Collecting loads on 1 meter of coverage

№ п/п	Нагрузки	Подсчет	Нормативная нагрузка, кПа	$\gamma_f$	Расчетная нагрузка, кПа
<i>Постоянные нагрузки</i>					
1	Железобетонная плита	$\frac{2,5 \cdot 10}{5,98 \cdot 1,19}$	3,513	1,1	3,864
2	Пароизоляция	$4,5 \cdot 10^{-2}$	0,045	1,3	0,058
3	Утеплитель – плита ППЖ в два слоя	$200 \cdot 10^{-2} \cdot 0,05 \cdot 2$	0,2	1,3	0,26
4	Асбоцементная плита	$\frac{36 \cdot 10^{-2}}{2}$	0,18	1,3	0,234
5	Двухслойный направляемый ковер	$10 \cdot 10^{-2}$	0,1	1,3	0,13
<i>Временные нагрузки</i>					
1	Снеговая нагрузка	$S_n = S_0 \cdot \mu \cdot 0,7 = 3,2 \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot 0,7$	2,8	1,4	3,92
<i>Всего</i>		$q_{\text{покрытия}}^n = 6,838$		$q_{\text{покрытия}} = 8,467$	

Таблица 3

Сбор нагрузок на 1 м перекрытия

Table 3

Collecting loads on 1 meter of overlap

№ п/п	Нагрузки	Подсчет	Нормативная нагрузка, кПа	$\gamma_f$	Расчетная нагрузка, кПа
<i>Постоянные нагрузки</i>					
1	Железобетонная плита	$\frac{2,5 \cdot 10}{5,98 \cdot 1,19}$	3,513	1,1	3,864
2	Цементная стяжка	$1800 \cdot 10^{-2} \cdot 30 \cdot 10^{-3}$	0,54	1,3	0,702
3	Пробковое покрытие	$120 \cdot 10^{-2} \cdot 10 \cdot 10^{-3}$	0,012	1,3	0,0156
4	Паркет	$9 \cdot 10^{-2}$	0,09	1,3	0,117
<i>Временные нагрузки</i>					
1	Нагрузка на перекрытие (кинотеатр)	–	1,5	1,2	1,8
<i>Всего</i>		$q_{\text{перекрытия}}^n = 5,655$		$q_{\text{перекрытия}} = 6,4986$	

Собираем нагрузку на низ кирпичной стены по оси Б:

$$N_{\text{стены}}^n = \rho \cdot 1 \cdot h \cdot H = 1800 \cdot 10^{-2} \cdot 1 \cdot 0,38 \cdot 7,35 = 50,274 \text{ кН}, \quad (1)$$

где  $N_{\text{стены}}^n$  – нормативная нагрузка кирпичной стены, кН;  $\rho$  – плотность кирпичной стены, кг/м<sup>3</sup>;  $h$  – толщина кирпичной стены, м;  $H$  – высота этажа, м.

$$N_{\text{стены}} = N_{\text{стены}}^n \cdot \gamma_f = 50,274 \cdot 1,1 = 55,3 \text{ кН}, \quad (2)$$

где  $N_{\text{стены}}$  – расчетная нагрузка кирпичной стены, кН;  $\gamma_f$  – коэффициент надежности по нагрузке.

$$N_{\text{балки}}^n = b \cdot h \cdot l \cdot \gamma = 0,2 \cdot 0,4 \cdot 6 \cdot 25 = 12 \text{ кН}, \quad (3)$$

где  $N_{\text{балки}}^n$  – нормативная нагрузка балки, кН;  $b$  – ширина балки, м;  $h$  – толщина балки, м;  $l$  – длина балки, м;  $\gamma$  – удельный вес балки, кН/м<sup>3</sup>.

$$N_{\text{балки}} = N_{\text{балки}}^n \cdot \gamma_f = 12 \cdot 1,1 = 13,2 \text{ кН}, \quad (4)$$

где  $N_{\text{балки}}$  – расчетная нагрузка балки, кН;  $\gamma_f$  – коэффициент надежности по нагрузке.

Нормативная нагрузка на низ кирпичной стены:

$$\begin{aligned} N_n &= q_{\text{перекрытия}}^n \cdot A_{\text{гр}} + q_{\text{покрытия}}^n \cdot A_{\text{гр}} + n_{\text{балок}} \cdot N_{\text{балки}}^n + N_{\text{стены}}^n = \\ &= 5,655 \cdot 18 + 6,838 \cdot 18 + 1 \cdot 12 + 50,274 = 287,148 \text{ кН}, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $N_n$  – нормативная нагрузка на низ кирпичной стены, кН;  $q_{\text{перекрытия}}^n$  – нормативная нагрузка от перекрытия, кН;  $q_{\text{покрытия}}^n$  – нормативная нагрузка от покрытия, кН;  $A_{\text{гр}}$  – грузовая площадь, м<sup>2</sup>;  $n_{\text{балок}}$  – количество балок, опирающихся на стену;  $N_{\text{балки}}^n$  – нормативная нагрузка балки, кН;  $N_{\text{стены}}^n$  – нормативная нагрузка кирпичной стены, кН.

Расчетная нагрузка:

$$\begin{aligned} N &= (q_{\text{перекрытия}} \cdot A_{\text{гр}} + q_{\text{покрытия}} \cdot A_{\text{гр}} + n_{\text{балок}} \cdot N_{\text{балки}} + N_{\text{стены}}) \cdot \gamma_n = \\ &= 6,4986 \cdot 18 + 8,467 \cdot 18 + 1 \cdot 13,2 + 55,3 = 337,88 \text{ кН}, \end{aligned} \quad (6)$$

где  $N$  – расчетная нагрузка на низ кирпичной стены, кН;  $q_{\text{перекрытия}}$  – расчетная нагрузка от перекрытия, кН;  $q_{\text{покрытия}}$  – расчетная нагрузка от покрытия, кН;  $A_{\text{гр}}$  – грузовая площадь, м<sup>2</sup>;  $n_{\text{балок}}$  – количество балок, опирающихся на стену;  $N_{\text{балки}}$  – расчетная нагрузка балки, кН;  $N_{\text{стены}}$  – расчетная нагрузка кирпичной стены, кН.

Собираем нагрузку на низ стены из ракушечника толщиной 0,4 м по оси Б:

$$N_{\text{стены}}^n = \rho \cdot l \cdot h \cdot H = 1500 \cdot 10^{-2} \cdot 1 \cdot 0,4 \cdot 7,35 = 44,1 \text{ кН}, \quad (7)$$

где  $N_{\text{стены}}^n$  – нормативная нагрузка стены из ракушечника, кН;  $\rho$  – плотность стены из ракушечника, кг/м<sup>3</sup>;  $h$  – толщина стены из ракушечника, м;  $H$  – высота этажа, м.

$$N_{\text{стены}} = N_{\text{стены}}^n \cdot \gamma_f = 44,1 \cdot 1,1 = 48,51 \text{ кН}, \quad (8)$$

где  $N_{\text{стены}}$  – расчетная нагрузка стены из ракушечника, кН;  $N_{\text{стены}}^n$  – нормативная нагрузка стены из ракушечника, кН;  $\gamma_f$  – коэффициент надежности по нагрузке.

$$N_{\text{балки}}^n = b \cdot h \cdot l \cdot \gamma = 0,2 \cdot 0,4 \cdot 6 \cdot 25 = 12 \text{ кН}, \quad (9)$$

где  $N_{\text{балки}}^n$  – нормативная нагрузка балки, кН;  $b$  – ширина балки, м;  $h$  – толщина балки, м;  $l$  – длина балки, м;  $\gamma$  – удельный вес балки, кН/м<sup>3</sup>.

$$N_{\text{балки}} = N_{\text{балки}}^n \cdot \gamma_f = 12 \cdot 1,1 = 13,2 \text{ кН}, \quad (10)$$

где  $N_{\text{балки}}$  – расчетная нагрузка балки, кН;  $\gamma_f$  – коэффициент надежности по нагрузке.



Нормативная нагрузка:

$$\begin{aligned} N_n &= q_{\text{перекрытия}}^n \cdot A_{\text{тр}} + q_{\text{покрытия}}^n \cdot A_{\text{тр}} + n_{\text{балок}} \cdot N_{\text{балки}}^n + N_{\text{стены}}^n = \\ &= 5,655 \cdot 18 + 6,838 \cdot 18 + 1 \cdot 12 + 44,1 = 280,974 \text{ кН}, \end{aligned} \quad (11)$$

где  $N_n$  – нормативная нагрузка на низ стены из ракушечника, кН;  $q_{\text{перекрытия}}^n$  – нормативная нагрузка от перекрытия, кН;  $q_{\text{покрытия}}^n$  – нормативная нагрузка от покрытия, кН;  $A_{\text{тр}}$  – грузовая площадь, м<sup>2</sup>;  $n_{\text{балок}}$  – количество балок, опирающихся на стену;  $N_{\text{балки}}^n$  – нормативная нагрузка балки, кН;  $N_{\text{стены}}^n$  – нормативная нагрузка стены из ракушечника, кН.

Расчетная нагрузка:

$$\begin{aligned} N &= (q_{\text{перекрытия}} \cdot A_{\text{тр}} + q_{\text{покрытия}} \cdot A_{\text{тр}} + n_{\text{балок}} \cdot N_{\text{балки}} + N_{\text{стены}}) \cdot \gamma_n = \\ &= 6,4986 \cdot 18 + 8,467 \cdot 18 + 1 \cdot 13,2 + 48,51 = 331,091 \text{ кН}, \end{aligned} \quad (12)$$

где  $N$  – расчетная нагрузка на низ стены из ракушечника, кН;  $q_{\text{перекрытия}}$  – расчетная нагрузка от перекрытия, кН;  $q_{\text{покрытия}}$  – расчетная нагрузка от покрытия, кН;  $A_{\text{тр}}$  – грузовая площадь, м<sup>2</sup>;  $n_{\text{балок}}$  – количество балок, опирающихся на стену;  $N_{\text{балки}}$  – расчетная нагрузка балки, кН;  $N_{\text{стены}}$  – расчетная нагрузка стены из ракушечника, кН.

Полученные значения нормативных и расчетных нагрузок на кирпичную стену оказались незначительно больше, чем нагрузки на стену из ракушечника.

### **Теплотехнический расчет наружной стены здания из ракушечника**

#### *1. Сбор исходных данных для г. Перми*

1. Расчетная температура наиболее холодных пяти суток (табл. 3.1, столб. 5 СП 131.13330.2012 «Строительная климатология»):

$$t_{\text{н}} = -35 \text{ }^\circ\text{C}.$$

2. Средняя температура отопительного периода (табл. 3.1, столб. 12 СП 131.13330.2012 «Строительная климатология»):

$$t_{\text{от.пер.}} = -9,3 \text{ }^\circ\text{C}.$$

3. Продолжительность отопительного периода (табл. 3.1, столб. 11 СП 131.13330.2012 «Строительная климатология»):

$$z_{\text{от.пер.}} = 225 \text{ дней}.$$

4. Расчетная температура внутреннего воздуха:

$$t_{\text{в}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}.$$

5. Относительная влажность воздуха:

$$\varphi = 50 \text{ } \%$$

6. Влажностный режим помещения (прил. В, СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»): сухой.

7. Зона влажности (табл. 1, СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»): нормальная.

8. Условия эксплуатации (табл. 2, СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»): А.

II. *Определение градусо-суток отопительного периода*

$$ГСОП = (t_{в} - t_{от.пер}) \cdot z_{от.пер} = (20 - 9,3) \cdot 225 = 6592,5 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут/год}, \quad (13)$$

где ГСОП – градусо-сутки отопительного периода,  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут/год}$ ;  $t_{в}$  – расчетная температура внутреннего воздуха;  $t_{от.пер}$  – средняя температура отопительного периода,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $z_{от.пер}$  – продолжительность отопительного периода, дни.

По табл. 3 СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» определяем  $R_0^{тр}$ , используя интерполирование таблицы:

$$\begin{aligned} R_0^{тр} &= R_{0min}^{тр} + \frac{(ГСОП - ГСОП_{min})}{ГСОП_{max} - ГСОП_{min}} \cdot (R_{0max}^{тр} - R_{0min}^{тр}) = \\ &= 3,5 + \frac{6592,5 - 6000}{8000 - 6000} \cdot (4,2 - 3,5) = 3,707 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C/Вт}, \end{aligned} \quad (14)$$

где  $R_0^{тр}$  – требуемое сопротивление теплопередаче,  $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C/Вт}$ ;  $R_{0min}^{тр}$  – минимальное сопротивление теплопередаче в табл. 3 СП 131.13330.2012 «Строительная климатология»,  $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C/Вт}$ ;  $R_{0max}^{тр}$  – максимальное сопротивление теплопередаче в табл. 3 СП 131.13330.2012 «Строительная климатология»,  $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C/Вт}$ ;  $ГСОП_{min}$  – минимальные градусо-сутки отопительного периода в табл. 3 СП 131.13330.2012 «Строительная климатология»,  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут/год}$ ;  $ГСОП_{max}$  – максимальные градусо-сутки отопительного периода в табл. 3 СП 131.13330.2012 «Строительная климатология»,  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут/год}$ .

III. *Определение толщины утеплителя и приведенного сопротивления теплопередаче многослойной ограждающей конструкции*

В табл. 4 представлены характеристики материалов принятой стены здания.

Таблица 4

Характеристики материалов

Table 4

Characteristics of materials

№ п/п	Наименование материала	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\delta$ , м	$\lambda$ , Вт/м $\cdot^{\circ}\text{C}$	$R$ , м <sup>2</sup> $\cdot^{\circ}\text{C/Вт}$
1	Ракушечник	1500	0,2	0,3	0,67
2	Плита минераловатная	125	$\delta_2$	0,064	$\delta_2/0,064$
3	Облицовочный кирпич	1300	0,12	0,3	0,4

Находим требуемые условные сопротивления теплопередаче по формуле

$$R_0^{тр.усл} = \frac{R_0^{тр}}{r} = \frac{3,707}{0,87} = 4,261 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C/Вт}, \quad (15)$$

где  $R_0^{тр.усл}$  – требуемое условное сопротивление теплопередаче,  $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C/Вт}$ ;  $R_0^{тр}$  – требуемое сопротивление теплопередаче,  $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C/Вт}$ ;  $r$  – коэффициент теплотехнической одно-

родности, принимаемый равным 0,87 (табл. 6 СП 23-10-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий»).

Определяем требуемые значения сопротивления теплопередаче слоя утеплителя по формуле

$$R_{\text{утеп}}^{\text{тр}} = R_0^{\text{тр.усл}} - (R_B + \sum R_K + R_H), \quad (16)$$

где  $R_{\text{утеп}}^{\text{тр}}$  – требуемое сопротивление теплопередаче слоя утеплителя,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ;  $R_0^{\text{тр.усл}}$  – требуемое условное сопротивление теплопередаче,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ;  $\sum R_K$  – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции:  $\sum R_K = R_1 + R_3$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ;  $R_B$  – сопротивление тепловосприятию. В данном выражении заменяется коэффициентом теплоотдачи внутренней поверхности (табл. 4 СНиП II-3–79\*):

$$R_B = \frac{1}{\alpha_B} = \frac{1}{8,7}, \quad (17)$$

$R_H$  – сопротивление теплоотдаче на наружной поверхности, заменяется коэффициентом теплоотдачи наружной поверхности ограждения  $\alpha_H$ :

$$R_H = \frac{1}{\alpha_H} = \frac{1}{23}. \quad (18)$$

Определяем требуемое сопротивление теплоотдаче слоя утеплителя:

$$R_{\text{утеп}}^{\text{тр}} = 4,261 - \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,2}{0,3} + \frac{0,12}{0,3} + \frac{1}{23} \right) = 3,151 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}. \quad (19)$$

Рассчитываем толщину утеплителя:

$$\delta_{\text{утеп}} = R_{\text{утеп}}^{\text{тр}} \cdot \lambda_{\text{утеп}} = 3,151 \cdot 0,064 = 0,21 \text{ м}, \quad (20)$$

где  $\delta_{\text{утеп}}$  – толщина слоя утеплителя, м;  $R_{\text{утеп}}^{\text{тр}}$  – требуемое сопротивление теплопередаче слоя утеплителя,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ;  $\lambda_{\text{утеп}}$  – коэффициент теплопроводности слоя утеплителя,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ .

#### IV. Определение приведенного сопротивления теплопередаче наружной стены

$$R_0^{\text{пр}} = R_B + \sum R_K + R_H = \frac{1}{8,7} + \frac{0,2}{0,3} + \frac{0,21}{0,064} + \frac{0,12}{0,3} + \frac{1}{23} = 4,506 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}, \quad (21)$$

где  $R_0^{\text{пр}}$  – приведенное сопротивление теплопередаче наружной стены,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ;  $R_B$  – сопротивление тепловосприятию;  $R_H$  – сопротивление теплоотдаче на наружной поверхности;  $\sum R_K$  – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ :  $\sum R_K = R_1 + R_3$ .

$$R_0 = R_0^{\text{пр}} \cdot r = 4,506 \cdot 0,87 = 3,92 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}, \quad (22)$$

где  $R_0$  – сопротивление теплопередаче наружной стены,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ;  $R_0^{\text{пр}}$  – приведенное сопротивление теплопередаче наружной стены,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ;  $r$  – коэффициент теплотехнической однородности, принимаемый равным 0,87.

Проверяем условие:  $R_0 \geq R_0^{тп} \Rightarrow 3,92 > 3,707$  – условие сопротивления теплопередаче выполнено, значит, толщина утеплителя подобрана верно.

*V. Проверка конструкции на невыпадение конденсата на внутренней поверхности ограждения*

Определяем температуру внутренней ограждающей конструкции:

$$\tau_b = t_b - \frac{n \cdot (t_b - t_h)}{R_0 \cdot \alpha_b} = 20 - \frac{1 \cdot (20 - (-35))}{3,92 \cdot 8,7} = 18,39 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (23)$$

где  $\tau_b$  – температура внутренней поверхности ограждающей конструкции,  $^\circ\text{C}$ ;  $t_b$  – расчетная температура внутреннего воздуха,  $^\circ\text{C}$ ;  $t_h$  – расчетная температура наиболее холодных пяти суток,  $^\circ\text{C}$ ;  $R_0$  – сопротивление теплопередаче наружной стены,  $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;  $\alpha_b$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности;  $n$  – коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху ( $n = 1$ ).

Температура точки росы  $t_{т.р}$  равна  $10,7 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Проверяем условие:  $\tau_b > t_{т.р} \Rightarrow 18,39 > 10,7$  – условие невыпадения конденсата на внутренней поверхности ограждения выполняется.

*VI. Определение толщины промерзания ограждающей конструкции (графическим методом)*

$$\frac{1}{\alpha_b} = \frac{1}{8,7} = 0,12; \quad \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0,2}{0,3} = 0,67; \quad \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0,21}{0,064} = 3,28; \quad \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0,12}{0,3} = 0,4;$$

$$\frac{1}{\alpha_h} = \frac{1}{23} = 0,04.$$

Строим график и определяем глубину промерзания конструкции (рис. 2).

Из графика видим, что глубина промерзания ограждающей конструкции  $\delta_{пром} = 0,25 \text{ м}$ .

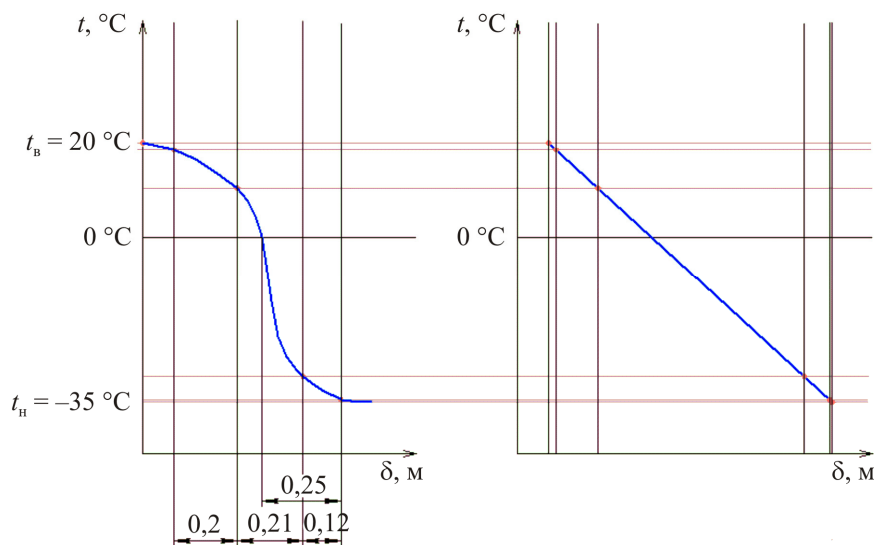


Рис. 2. График промерзания стены  
Fig. 2. The chart of freezing of the wall

### III. Выполнение проверки ограждающей конструкции на температурный перепад

Температурный перепад между температурой воздуха внутри помещения  $t_{в}$  и температурой ограждающей конструкции  $\tau_{в}$  не должен превышать нормированный  $\Delta t_{н}$ .

Проверяем условие:  $\Delta t_{н} \geq t_{в} - \tau_{в} \Rightarrow \Delta t_{н} \geq 20 - 18,39 \Rightarrow \Delta t_{н} \geq 1,61$ .

$\Delta t_{н} = 4^{\circ}\text{C} \Rightarrow 4 > 1,61$  – условие выполняется.

Таким образом, температурный перепад выполнен.

## Заключение

Подводя итоги, можно с уверенностью сказать, что, являясь красивым материалом и обладая при этом хорошими эксплуатационными характеристиками, ракушечник идеально подходит для строительства и оформления жилья.

## Библиографический список

1. Kapitel-1.ru. Ракушечник – отличный стеновой и отделочный материал [Электронный ресурс]. – URL: <http://kapitel-1.ru/materialy/stroitelnye-materialy/rakushechnik-otlichnyj-stenovoj-material> (дата обращения: 3.09.2018).
2. Granitexpert.ru. Ракушечник [Электронный ресурс]. – URL: <https://granitexpert.ru/rakushechnik/> (дата обращения: 3.09.2018).
3. Tvoi-velirr.ru. Что такое ракушечник? Свойства ракушечника. Применение ракушечника [Электронный ресурс]. – URL: <https://tvoi-velirr.ru/chto-takoe-rakushechnik-svoystva-rakushechnika-primenenie-rakushechnika/> (дата обращения: 4.09.2018).
4. Karatto.ru. Ракушечник – характеристики камня и где он применяется [Электронный ресурс]. – URL: <https://karatto.ru/organicheskie-kamni/rakushechnik.html> (дата обращения: 10.09.2018).
5. Gemguide.ru. Строительный камень ракушечник [Электронный ресурс]. – URL: <http://gemguide.ru/organicheskie/kamen-rakushechnik.html> (дата обращения: 11.09.2018).
6. Web.archive.org. The conservation and preservation of coquina [Электронный ресурс]. – URL: <http://web.archive.org/web/20181125193629/https://pongpdf.com/the-conservation-and-preservation-of-coquina-.html> (дата обращения: 16.09.2018).
7. Superdom.ua. Насколько прочны стены из ракушечника? [Электронный ресурс]. – URL: <https://superdom.ua/view/5233-naskolko-prochny-steny-iz-rakushechnika.html> (дата обращения: 20.09.2018).
8. Greensector.ru. Ракушняк (камень-ракушечник): применение, плюсы и минусы, кладка [Электронный ресурс]. – URL: <https://greensector.ru/strojmaterialy/rakushnyak-kamen-rakushechnik-primenenie-plyusy-i-minusy-kladka.html> (дата обращения: 21.09.2018).
9. Stroyfora.ru. Ракушечник – природный камень для малоэтажного строительства [Электронный ресурс]. – URL: <http://stroyfora.ru/p/post-156> (дата обращения: 24.09.2018).
10. En.wikipedia.org. Coquina. – URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Coquina> (дата обращения: 30.09.2018).
11. Zastroyka.ru. Ракушечник камень. Описание, свойства, применение и цена ракушечника [Электронный ресурс]. – URL: <https://zastroyka.ru/rakushechnik-kamen-opisanie-svoystva-primenenie-i-cena-rakushechnika/> (дата обращения: 1.10.2018).

12. Makdrag.ru. Ракушечник – просто осадочная порода или строительный камень с неисчерпаемыми возможностями? [Электронный ресурс]. – URL: <https://makdrag.ru/kamni-po-zodiaku/rakushechnik-prosto-osadochnaya-poroda-ili-stroitelnyj-kamen-s-neischerpaemyimi-vozmozhnostyami.html> (дата обращения: 1.10.2018).

13. Kladka-info.ru. Что лучше ракушняк или пеноблок? Два абсолютно разных материала [Электронный ресурс]. – URL: <http://kladka-info.ru/sravnienie-materialov/chto-luchshe-rakushnyak-ili-penoblok-122> (дата обращения: 2.10.2018).

14. Sazi-group.ru. Защита ракушняка от негативного воздействия воды [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.sazi-group.ru/articles/zashchita-rakushnyaka-ot-negativnogo-vozdeystviya-vody/> (дата обращения: 6.10.2018).

15. Superdom.ua. Дом из ракушечника: достоинства и недостатки [Электронный ресурс]. – URL: <https://superdom.ua/build/wall-roof/85-rakushechnik-sovremennuyu-material-iz-dalekogo-proshlogo> (дата обращения: 8.10.2018).

16. Лобатовкина Е.Г., Мягков М.С. Теплотехнический расчет ограждающих конструкций жилых и общественных зданий: учеб.-метод. пособие [Электронный ресурс] // Моск. архит. ин-т (гос. акад.). – М., 2016. – URL: [http://www.marhi.ru/kafedra/techno/physics/metod\\_teplo\\_tech\\_2016.pdf](http://www.marhi.ru/kafedra/techno/physics/metod_teplo_tech_2016.pdf).

## References

1. Kapitel-1.ru. Rakushechnik - otlichnyj stenovoj i otdelochnyj material. [Coquina is a great wall and decoration material]. availabl at: <http://kapitel-1.ru/materialy/stroitelnye-materialy/rakushechnik-otlichnyj-stenovoj-material> (accessed 3 September 2018).

2. Granitexpert.ru. Rakushechnik. [Coquina]. availabl at: <https://granitexpert.ru/rakushechnik/> (accessed 3 September 2018).

3. Tvoi-uvellir.ru. Chto takoe rakushechnik? Svoystva rakushechnika. Primenenie rakushechnika [What is a coquina? Properties of coquina. The use of coquina]. availabl at: <https://tvoi-uvellir.ru/chto-takoe-rakushechnik-svoystva-rakushechnika-primenenie-rakushechnika/> (accessed 4 September 2018).

4. Karatto.ru. Rakushechnik – harakteristiki kamnya i gde on primenyaetsya. [Coquina – the characteristics of the stone and where it's used]. availabl at: <https://karatto.ru/organicheskie-kamni/rakushechnik.html> (accessed 10 September 2018).

5. Gemguide.ru. Stroitel'nyy kamen' rakushechnik. [Building stone is coquina]. availabl at: <http://gemguide.ru/organicheskie/kamen-rakushechnik.html> (accessed 11 September 2018).

6. Web.archive.org. The conservation and preservation of coquina. availabl at: <http://web.archive.org/web/20181125193629/https://pongpdf.com/the-conservation-and-preservation-of-coquina-.html> (accessed 16 September 2018).

7. Superdom.ua. Naskol'ko prochny steny iz rakushechnika? [How strong are coquina walls?]. availabl at: <https://superdom.ua/view/5233-naskolko-prochny-steny-iz-rakushechnika.html> (accessed 20 September 2018).

8. Greensector.ru. Rakushnyak (kamen'-rakushechnik): primenenie, plyusy i minusy, kladka. [Coquina: application, pros and cons, masonry]. availabl at: <https://greensector.ru/strojmaterialy/rakushnyak-kamen-rakushechnik-primenenie-plyusy-i-minusy-kladka.html> (accessed 21 September 2018).

9. Stroyfora.ru. Rakushechnik – prirodnyj kamen' dlya maloetazhnogo stroitel'stva. [Shell rock is a natural stone for low-rise construction]. availabl at: <http://stroyfora.ru/p/post-156> (accessed 24 September 2018).

10. En.wikipedia.org. Coquina. availabl at: <https://en.wikipedia.org/wiki/Coquina> (accessed 30 September 2018).

11. Zastroyka.ru. Rakushechnik kamen'. Opisanie, svoystva, primenenie i tsena rakushechnika. [The coquina. Description, properties, application and price of coquina]. availabl at: <https://zastroyka.ru/rakushechnik-kamen-opisanie-svoystva-primenenie-i-cena-rakushechnika/> (accessed 1 October 2018).

12. Makdrag.ru. Rakushechnik – prosto osadochnaya poroda ili stroitel'nyy kamen' s neischerpaemymi vozmozhnostyami? [Is a coquina just a sedimentary rock or a building stone with inexhaustible possibilities?] availabl at: <https://makdrag.ru/kamni-po-zodiaku/rakushechnik-prosto-osadochnaya-poroda-ili-stroitelnyj-kamen-s-neischerpaemymi-vozmozhnostyami.html> (accessed 1 October 2018).

13. Kladka-info.ru. CHto luchshe rakushnyak ili penoblok? Dva absolyutno raznyh materiala. [What is the best: coquina or foam block? Two completely different materials]. availabl at: <http://kladka-info.ru/sravnenie-materialov/chto-luchshe-rakushnyak-ili-penoblok-122> (accessed 2 October 2018).

14. Sazi-group.ru. Zashchita rakushnyaka ot negativnogo vozdejstviya vody. [Protect coquina from the negative effects of water]. availabl at: <http://www.sazi-group.ru/articles/zashchita-rakushnyaka-ot-negativnogo-vozdejstviya-vody/> (accessed 6 October 2018).

15. Superdom.ua. Dom iz rakushechnika: dostoinstva i nedostatki. [A coquina house: advantages and disadvantages]. availabl at: <https://superdom.ua/build/wall-roof/85-rakushechnik-sovremenny-material-iz-dalekogo-proshlogo> (accessed 8 October 2018).

16. E.G. Lobatovkina, M.S. Myagkov. Uchebno-metodicheskoe posobie «Teplotekhnicheskij raschet ograzhdayushchih konstrukcij zhilyh i obshchestvennyh zdaniy». [Heat engineering calculation of enclosing structures of residential and public buildings]. FGBOU «Moskovskij arhitekturnyj institut (gosudarstvennaya akademiya)». Moskva, 2016. ([http://www.marhi.ru/kafedra/techno/physics/metod\\_teplotech\\_2016.pdf](http://www.marhi.ru/kafedra/techno/physics/metod_teplotech_2016.pdf)).