

**АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО**

УДК 691: 035.267

**СОРБЦИОННАЯ ВЛАЖНОСТЬ СТЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ  
НА ОСНОВЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОТХОДОВ**

**А.В. ДОЛЖОНОК**, канд. техн. наук, доц. **А.А. БАКАТОВИЧ**,  
канд. техн. наук, доц. **Н.В. ДАВЫДЕНКО**  
(Полоцкий государственный университет)

*Рассмотрен вопрос влияния сорбционной влажности на долговечность стеновых блоков с наполнителем из соломы и костросоломенной смеси. С этой целью определена сорбционная влажность стеновых блоков при относительной влажности воздуха 40 – 97%, а также исследована кинетика сорбции водяных паров композитными материалами с учетом временного параметра. Изучены условия возможного появления плесневых грибов на поверхности наполнителя.*

**Ключевые слова:** сорбционная влажность, кинетика сорбции, наполнитель, солома, костра льна, костросоломенная смесь, стеновые блоки.

**Введение.** В настоящее время неуклонно растет интерес к использованию натурального растительного сырья при производстве строительных материалов. Это обусловлено требованием найти альтернативу применяемым сегодня материалам, часто оказывающим негативное влияние на окружающую среду и здоровье человека. Отходы сельскохозяйственной промышленности, включая солому зерновых культур и костру льна, формируют значительный сырьевой ресурс. Одним из путей рационального использования таких отходов является их применение в качестве сырья в производстве стеновых материалов для малоэтажного городского и сельского строительства. Солома, как и костра льна, является возобновляемым ресурсом и доступна в регионах выращивания зерновых культур как сопутствующий продукт сельскохозяйственного производства. Технологии по утилизации отходов растениеводства в виде наполнителей композиционных материалов реализуются во многих странах [1, 2], что указывает на значительный интерес и востребованность данного направления в строительной отрасли.

Одним из важнейших показателей стеновых материалов, совмещающих ограждающую функцию с тепловой защитой зданий и сооружений, является коэффициент теплопроводности. Изменение коэффициента теплопроводности связано не только с характером структуры материала, но и с явлениями, возникающими в процессе эксплуатации. Так, негативным фактором, изменяющим свойства стеновых материалов в период эксплуатации, является воздействие влаги [3].

Данному вопросу посвящено ряд исследований, указывающих на важность проблемы. В университете Орлеана (Франция) выполнялась работа по установлению влияния влаги на теплотехнические свойства материалов на основе древесных опилок и соломы эксикаторным методом [4]. Для получения теплоизоляционного материала использовалась комплексное связующее «Tradical PF70» представляющее собой смесь воздушной, гидравлической извести и пуццолана. Сорбционная влажность стенового материала на основе наполнителей пшеничной или ячменной соломы на известковом вяжущем при относительной влажности воздуха 97% составляет 23 – 25%. В то же время при использовании в качестве связующего гипса, показатель сорбционной влажности равен 14 – 16%. По результатам исследований выявлено, что использование в качестве наполнителя пшеничной или ячменной соломы не оказывает существенного влияния на сорбционную влажность композитных материалов, а основным определяющим фактором является вид используемого вяжущего.

Под руководством С.Н. Солдатова разработаны составы и исследованы свойства эффективных теплоизоляционных материалов с использованием в качестве наполнителя многотоннажных отходов растительного сырья Пензенской области [5]. В ходе исследований по определению сорбционной влажности выявлено, что с применением в качестве наполнителя овсяной лузги при относительной влажности воздуха 90% показатель сорбционной влажности равен 23%, что на 35% меньше в сравнении с теплоизоляционным материалом на основе гипсоцементнопуццоланового вяжущего без растительного наполнителя. По результатам экспериментов установлено, что при одинаковой относительной влажности воздуха на кинетику сорбции значительное влияние оказывает структура композитного вяжущего, а также количественное содержание вяжущего и растительного наполнителя.

**Основная часть.** В настоящее время в Полоцком государственном университете проводятся комплексные исследования по разработке стеновых блоков с повышенными теплоизоляционными свойствами. Для получения блоков используется дробленая солома и костра льна в качестве наполнителей. Цемент вводится как вяжущий компонент. В виде добавки применяется известь.

Сорбционную влажность стеновых блоков определяли по ГОСТ 24816 [6]. Предварительно высушенные до постоянной массы образцы с наполнителем из соломы и костросоломенной смеси, отобранные из стеновых блоков, помещали в эксикаторы. Паровоздушная среда в эксикаторах создавалась искусственно с помощью химического раствора серной кислоты различной концентрации, обеспечивающего относительную влажность воздуха 40 – 97%. Влажность образцов определялись путем взвешивания через каждые 15 дней в течение первых 2-х месяцев испытаний, затем через каждые 10 дней до достижения образцами постоянной массы на электронных весах марки ВК – 300. При определении сорбционной влажности образцов температура воздуха в эксикаторах и помещении соответствовала  $+20\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ .

По результатам испытаний построены изотермы сорбции водяного пара экспериментальными образцами (рис. 1). Сорбционная влажность всех образцов достигает 2,4% в эксикаторах при относительной влажности воздуха 40%. Показатель сорбционной влажности образцов на основе соломы выше на 28% в сравнении с образцами на наполнителе из костросоломенной смеси равной 3,6% при относительной влажности воздуха 60%. Поддержание в эксикаторе относительной влажности воздуха на уровне 80% способствует повышению сорбционной влажности образцов на основе соломы до 5,6%, что на 31% больше, чем у образцов на основе костросоломенной смеси. Сорбционная влажность материала, содержащего костросоломенную смесь при влажности 90% равна 6,7%, а образцов на основе соломы 8,1%, то есть возрастает на 21%. Относительная влажность воздуха 97%, вызывает возрастание сорбционной влажности образцов на наполнителе из соломы до 14,5%, что превышает на 38%, показатель образцов на основе костросоломенной смеси соответствующий 10,5%.

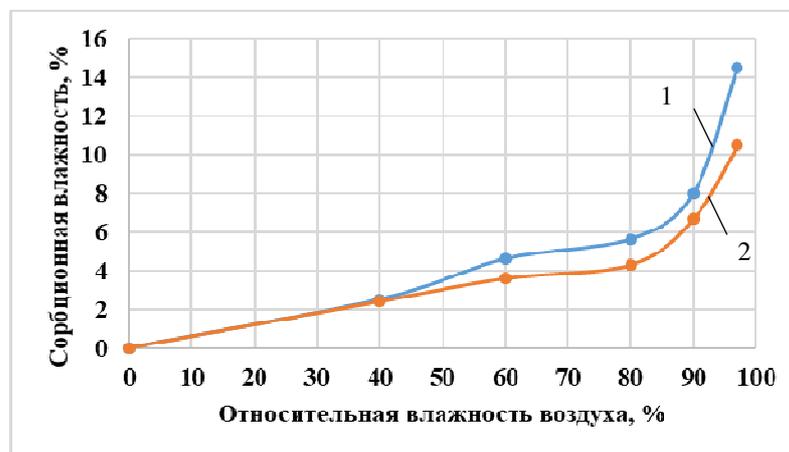


Рисунок 1. – Изотермы сорбции водяного пара:

1 – стеновой материал на основе соломы; 2 – стеновой материал на основе соломы и костры льна

К важным характеристикам стеновых материалов обеспечивающих теплоизоляционные свойства ограждающих конструкций относится кинетика сорбции водяных паров при определенном значении относительной влажности воздуха. Кинетика сорбции водяных паров образцами, отобранными из экспериментальных стеновых блоков, представлена на рисунках 2-6.

При относительной влажности воздуха 40% за первые 20 суток показатель сорбционной влажности образцов из костросоломенной смеси достиг 1,8%, что меньше на 20% в сравнении с образцами из соломы за тот же период времени. Максимальная сорбционная влажность образцов на наполнителе из соломы составляет 2,5% в возрасте 68 суток, а образцов из костросоломенной смеси достигает 2,4 % через 80 суток (рис. 2).

При относительной влажности воздуха 60% сорбция водяных паров образцами интенсивно растет первые 30 суток (рис. 3). Показатель сорбционной влажности образцов на основе соломы за данный временной период равен 3,5%, что выше на 13% при сравнении с образцами из костросоломенной смеси. Поглощение водяных паров образцами на основе соломы продолжается 78 суток и составляет 4,6%. Период сорбции образцов на наполнителе из смеси костры и соломы длится 90 суток и равен 3,6%. Также отмечается, что после 78 суток сорбционная влажность образцов на наполнителе из костросоломенной смеси меньше на 28% в сравнении с образцами на наполнителе из соломы.

Временной период интенсивного роста сорбции в 30 суток сохраняется для относительной влажности воздуха 80%. Сорбционная влажность образцов на основе соломы равна 5% и превышает показатель сорбции образцов из костросоломенной смеси на 22%. Установлено, что за 95 суток максимальная сорбционная влажность образцов на основе соломенного наполнителя на 31% больше, чем у образцов на основе костросоломенной смеси за тот же период и равна 4,3%. Период сорбции образцов на наполнителе из смеси костры с соломой заканчивается на 110 сутки (рис. 4).

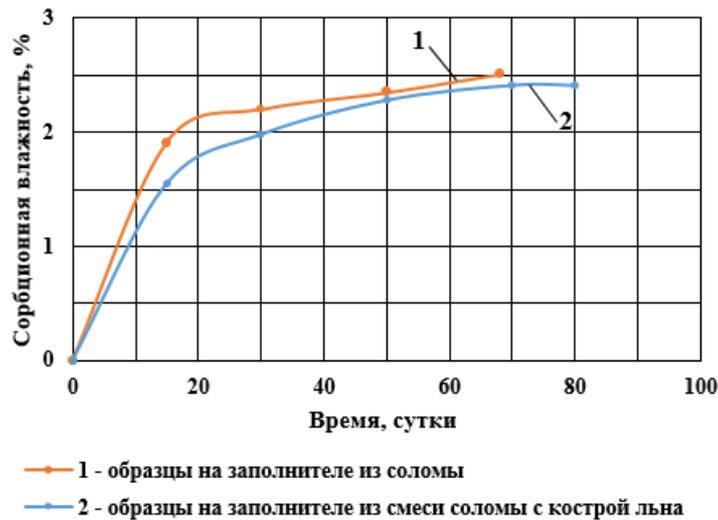


Рисунок 2. – Кинетика сорбции водяных паров образцами при относительной влажности воздуха 40%

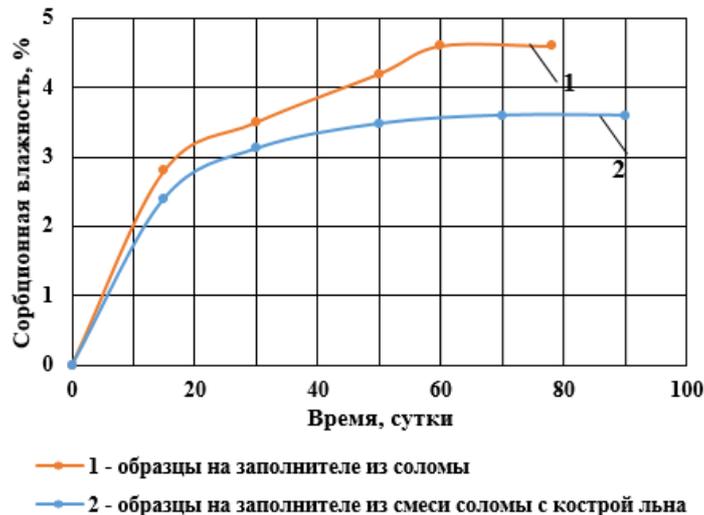


Рисунок 3. – Кинетика сорбции водяных паров образцами при относительной влажности воздуха 60%

При относительной влажности воздуха 90% наблюдается значительный рост сорбционной влажности за первые 18 суток (рис. 5). Так, для образцов на основе соломы показатель влажности равен 6,5%, что на 30% меньше в сравнении с образцами из костросоломенной смеси. Период сорбции образцов на соломе продолжается 100 суток, что на 10 суток меньше в сравнении с образцами на основе смеси костры и соломы (рис. 5). Сорбционная влажность образцов на основе соломы составляет 8,0%, что на 20% больше показателя образцов на заполнителе из костросоломенной смеси.

При относительной влажности воздуха 97% в первые 18 суток происходит ускоренный рост сорбционной влажности как для соломенных, так и для костросоломенных образцов. При этом показатель сорбции образцов на основе соломы равен 9%, что на 29% выше значения образцов из костросоломенной смеси. Продолжительность сорбции образцами на основе соломы составляет 132 суток, что на 18 суток меньше, чем у образцов из смеси костры и соломы. Показатели сорбционной влажности образцов на заполнителе из соломы и из костросоломенной смеси составляют 14,5% и 10,5% соответственно (рис. 6). Также необходимо отметить, что по окончании поглощения водяных паров сорбционная влажность образцов на заполнителе из костросоломенной смеси меньше на 41% в сравнении с образцами на основе соломы. После окончания процесса сорбции во всех случаях наблюдается стабилизация поглощения водяных паров образцами.

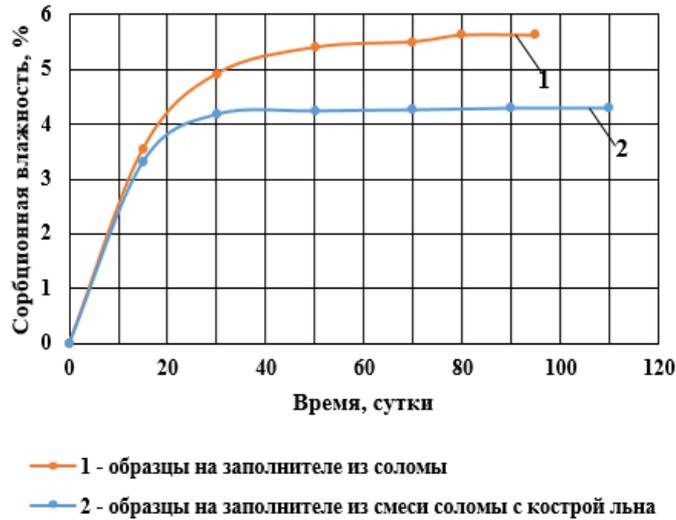


Рисунок 4. – Кинетика сорбции водяных паров образцами при относительной влажности воздуха 80%

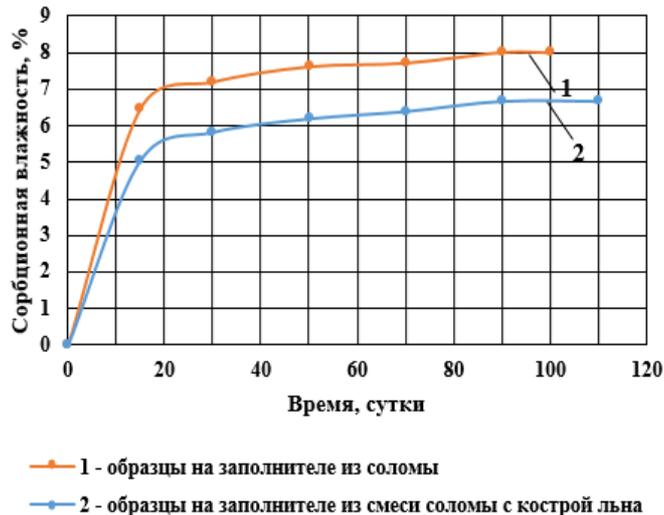


Рисунок 5. – Кинетика сорбции водяных паров образцами при относительной влажности воздуха 90%

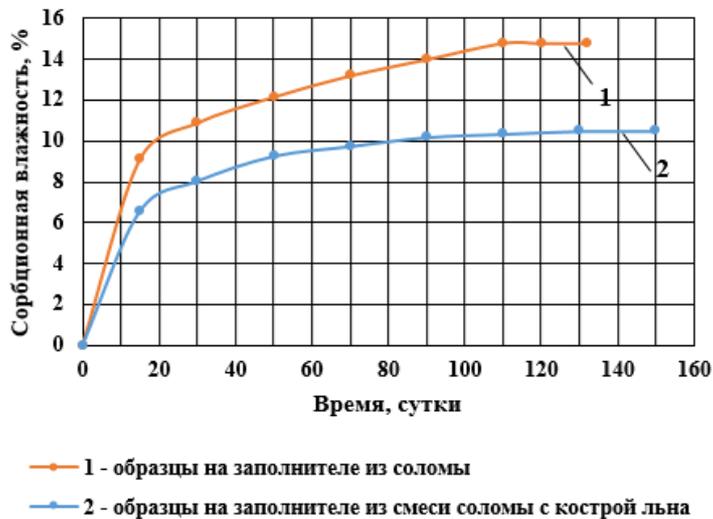


Рисунок 6. – Кинетика сорбции водяных паров образцами при относительной влажности воздуха 97%

Дополнительно проведены исследования по определению сорбционной влажности дробленой соломы и костры льна в насыщенном состоянии в камере над водой при относительной влажности воздуха 97%. Исследования показали, что максимального значения равного 35% показатель сорбционной влажности соломы достигает через 15 суток, а предельная влажность костры льна составляет только 10 – 12% только на 9 сутки при температуре +20°C. Полученные результаты также подтверждаются исследованиями научных сотрудников Российского государственного аграрного университета [7]. Установлено, что сорбционная влажность костры зависит от размера частиц. Так для костры длиной 5 – 18 мм и диаметром 1,5 – 1,8 мм показатель влажности равен 15%, а для размолотой льняной костры фракцией до 1,5 мм сорбционная влажность увеличивается до 17%. Таким образом, можно утверждать, что, при замене части соломы кострой в стеновых блоках происходит замедление процессов поглощения материалом влаги из воздуха, а также уменьшение показателей сорбционной влажности образцов на основе костросоломенной смеси, за счет более низкой сорбционной влажности костры льна.

Кроме того, при формовке стеновых блоков на основе дробленой соломы происходят смятия и деформации соломенных трубок по всему объему заполнителя, что приводит к нарушению целостности внешних оболочек и микроструктуры трубок соломы [8]. Локальные разрушения внешнего плотного защитного слоя и ячеистой структуры способствуют увеличению сорбции водяных паров соломенными трубками.

После завершения изучения процесса сорбции образцы оставались в эксикаторах с относительной влажностью воздуха 80%, 90%, 97% для определения времени начала появления плесневых грибов на поверхности образцов. При относительной влажности воздуха 97% появление плесневых грибов на поверхности образцов из соломы зафиксировано на 140 суток, а на образцах из соломы с кострой через 180 суток. После 170 суток испытаний при относительной влажности воздуха 90 % появились плесневые грибы на поверхности соломенных образцов. Через 240 суток при влажности 90% плесневые грибы на поверхности костросоломенных образцов отсутствовали и испытания были завершены. Выдерживание в эксикаторах 240 суток при относительной влажности воздуха 80% не привело к появлению плесневых грибов на поверхности всех образцов.

**Заключение.** По итогам испытаний установлено, что показатели сорбционной влажности соломенных и костросоломенных блоков составляют 14,5% и 10,5% соответственно при относительной влажности воздуха 97%. Таким образом, блоки на основе соломы могут достичь граничных условий по показателю сорбционной влажности равному 15%, что в дальнейшем приведёт к снижению эксплуатационных характеристик, включая долговечность, путем запуска механизма биоразложения соломы, и станет причиной разрушения стеновых блоков и конструкции в целом. Для блоков на заполнителе из костросоломенной смеси с учетом максимальной сорбционной влажности подтверждена возможность долгосрочной эксплуатации в стеновой конструкции с сохранением целостности композитного материала.

Полученные данные по кинетике сорбции водяных паров стеновыми блоками дают возможность производить расчет влажностного режима конструкции. Также экспериментальные данные позволяют прогнозировать изменения теплотехнических характеристик и долговечности ограждающих конструкций из блоков на основе соломы и костросоломенной смеси при эксплуатации зданий и сооружений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лобанова А.В., Казимагомедов И.Э. Стеновые изделия из арболита на основе костры льна / А.В. Лобанова, И.Э. Казимагомедов // Комунальне господарство міст. – 2015. – № 124. – С. 18–20.
2. Mansour, A. Development of straw-cement composite sustainable building material for low-cost housing in Egypt / A. Mansour, J. Srebric, J. Burley // J Appl Sci Res. – 2007. – № 3. – P. 1571–1580.
3. Фокин, К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К.Ф. Фокин М., АВОК-ПРЕСС, 2006. – 252 с.
4. N. Belayachi, D. Hoxha, I. Redikutseva, N. Belayachi, D. Hoxha, and I. Redikutseva, “Etude Comparative du comportement hygrothermique des matériaux à base de fibres végétales,” Rencontres Universitaires de Génie Civil, Bayonne France, 2015.
5. Солдатов, С.Н. Создание и исследование свойств утеплителей на основе местного сырья : дис. ... канд. тех. наук : 05.23.05 / С.Н. Солдатов. – Пенза, 2001. – 138 л.
6. Материалы строительные. Метод определения равновесной сорбционной влажности: ГОСТ 24816-2014. – Введ. 01.07.2015. – М. : Стандартинформ. – 2015. – 7 с.
7. Барыкина Ю.А., Белопухов С.Л. Исследование сорбции паров воды целлюлозосодержащими материалами / А.Ю. Барыкина, С.Л. Белопухов // Изв. ТСХА. – 2016. – № 2. – С. 69–75.

8. Долгонок, А.В. Влияние показателя влажности на коэффициент теплопроводности стеновых материалов из отходов растениеводства / А.В. Долгонок, А.А. Бакатович // Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров : материалы XXI Междунар. науч.-метод. семинара, Брест, 25-26 окт. 2018 г. / Брест. гос. техн. ун-т, 2018. – С. 39–43.

#### SORPTION HUMIDITY OF WALL MATERIALS BASED ON AGRICULTURAL WASTE

*A. DALZHONAK, A. BAKATOVICH, N. DAVYDENKO*

*The question of the influence of sorption moisture on the durability of wall blocks on a placeholder of straw and coally salied mixture is considered. For this purpose, the sorption moisture of wall blocks has been determined at a relative air humidity of 40–97%, and the kinetics of water vapor sorption by composite materials has been investigated taking into account the time parameter. The conditions for the possible occurrence of mold on the surface of the aggregate were studied.*

**Keywords:** *sorption moisture, straw-based aggregate, mix of straw and flax boon, sorption kinetics, wall blocks.*

УДК691.32

#### ОСОБЕННОСТИ ВОЗВЕДЕНИЯ МАССИВНЫХ ФУНДАМЕНТОВ С УЧЕТОМ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА БЕСПРЕРЫВНОЕ ПРОИЗВОДСТВО РАБОТ

*Н.Л. ШПИЛЕВСКАЯ, канд. техн. наук, доц. А.П. ШВЕДОВ  
(Полоцкий государственный университет)*

*При возведении массивных фундаментов необходимо тщательно прорабатывать проект производства работ, в котором следует учитывать ряд различных факторов, таких как: выбор метода бетонирования, определять, исходя из возможностей завода, количество транспортных средств, выбрать бетоноукладочные средства, толщину слоя, время перекрытия слоев и т.п.*

**Ключевые слова:** *рабочий шов, непрерывное бетонирование, массивные фундаменты, транспортирование и укладка бетонной смеси*

В последнее время наблюдается большой рост объемов строительства, особенно строительства высотных монолитных жилых и офисных зданий. Скорость возведения здания во многом определяется скоростью производства бетонных работ. Так же возрастает потребность в специализированных машинах по доставке бетонных смесей, в частности автобетоносмесителях, и машинах для укладки и распределения бетонной смеси, автобетононасосах. Основой повышения эффективности монолитного бетона, сокращения трудоемкости производства бетонных работ является широкое внедрение комплексномеханизированной технологии и высокопроизводительной строительной техники.

Приготовление бетонных смесей в зависимости от конкретных условий может осуществляться на бетонных заводах, бетоносмесительных установках предприятий железобетонных изделий (товарный бетон), на приобъектных бетоносмесительных установках.

В настоящее время производством бетонных смесей занимаются заводы Stetter, которые проектируют бетонные заводы – компактные, мобильные, вертикальные, горизонтальные. Производительность этих заводов колеблется от 30 м<sup>3</sup>/ч до 200 м<sup>3</sup>/ч [1].

Компактный бетонный завод монтируется на простой ленточный фундамент, что отвечает требованиям, которые предъявляются к установкам для производства бетона непосредственно на месте его укладки. Производительность - от 30 до 56 м<sup>3</sup>/ч жесткого бетона. Компактные бетонные заводы Stetter могут использоваться как для производства бетона, так и для строительных растворов. Мобильные бетонные заводы Stetter могут производить большое количество бетона за небольшой срок с последующим перемещением на другой строительный объект. Производительность - 56 до 100 м<sup>3</sup>/ч жесткого бетона. Устанавливаются мобильные бетонные заводы Stetter на уплотненную площадку без фундамента [1].

Вертикальные бетонные заводы состоят из основных компонентов подъемно-транспортного оборудования, складского оборудования, компонентов для дозирования и взвешивания, а также смеситель-