1. **Газосиликат: современная гибкая технология материала и изделий.**

В кризисный период функционирования строитель­ного комплекса силикатный ячеистый бетон автоклав­ного твердения (газосиликат) остался одним из немно­гих конкурентоспособных стеновых материалов и в настоящее время весьма востребован. Материал успеш­но вписался в современные архитектурно-строитель­ные системы мало- и многоэтажных зданий, возводи­мых по монолитной, сборно-монолитной и сборной технологиям. Активизировались работы по вопросам технического регулирования автоклавных ячеистых бе­тонов нового поколения, нормирования и стандартиза­ции их качества. Для дальнейшего формирования рын­ка стеновых строительных материалов, выбора альтер­нативных заводских и построечных технологий, ориен­тированных на безавтоклавные и бестепловые принци­пы организации твердения различных видов ячеистых бетонов, целесообразно обратиться к ретроспективе становления технологии производства и применения изделий из газосиликата (табл. 1).

Технология отечественного газосиликата впервые разработана учеными Воронежского инженерно-строительного института и в промышленном масшта­бе начала реализовываться в 1958—1959 гг. в Вороне­же на заводе ЖБИ № 3. Первыми изделиями из газо­силиката средней плотностью 900—1000 кг/м3 были крупные индивидуально формуемые неармированные блоки для несущих стен двухрядной разрезки че­тырех- и пятиэтажных домов, которые возводились в Воронеже в 1959-1961 гг. (рис. 1). С 1961 г. ЖБИ № 3 (впоследствии завод № 1) треста № 6 «Стройдеталь» перешел на выпуск наружных стеновых ленточных навесных панелей из газосиликата средней плотнос­тью 700 кг/м3 для жилых пятиэтажных домов серии 1 -467, а с 1967 г. — для девятиэтажных домов серии 1-467Д (рис. 2). Навесные панели применяли также для строительства детских садов и школ. Годовой объем производства газосиликата до 1974 г. составлял от 7 до 10 тыс. м3.

Накопленный опыт исследований и реализации тех­нологии, эффективного использования газосиликатных изделий стимулировал создание в 1974 г. подобного про­изводства на Лискинском комбинате «Стройдеталь», где был организован выпуск ленточных стеновых панелей для строительства магазинов, складских и производственных помещений в системе Роспотребсоюза; на комбинате бы­ло налажено также изготовление теплоизоляционных плит из газосиликата средней плотностью 400 кг/м3. Годо­вой выпуск продукции составлял от 25 до 35 тыс. м3.

Таблица 1, Этапы применения газосиликата в ограждающих конструкциях (опыт Воронежского региона)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Годы | Виды зданий с применением газосиликата | Номенклатура газосиликатных изделий | Толщина стены, мм | Конструктивные характеристики материала в изделии | | |
| Средняя плотность, кг/м3 | Прочность при сжатии, МПа, или класс бетона | Коэффициент теплопроводности, Вт/(м\*°С) |
| 1958-1961 | 5-этажные жилые дома крупноблочные | Крупные неармированные блоки | 380 | 900-1000 | 3,5-4,5 | 0,2-0,22 |
| 1961-1967 | 5-этажные жилые дома с несущим железобетонным каркасом | Ленточные армированные стеновые панели | 250 | 700 | 4,5-5,5 | 0,14 |
| 1967-1997 | 9-этажные жилые дома, детские сады, школы, торговые центры с несущим железобетонным каркасом | Ленточные армированные стеновые панели | 250 | 600-700 | 3,5-5 | 0,09-0,12 |
| G 1984 г. по настоящее время | Сельские дома с несущими газосиликатными стенами | Мелкие стеновые блоки | 300 | 600 | 5 | 0,09 |
| В 3,5 |
| С 1994 г. по настоящее время | 4-5-этажные дома с продольными несущими стенами из газосиликатных блоков в стенах с кирпичом | Мелкие стеновые блоки | 530 (400 + пол­кирпича) | 600 1900 | В 3,5 М 150 | 0,09 0,73 |
| С 1994 г. по настоящее время | Многоэтажные дома с применением туннельной опалубки | Мелкие стеновые блоки | 400 | 600 | В 3,5 | 0,09 |
| С 2000 г. по настоящее время | Многоэтажные жилые дома на ос­нове сборного и сборно-монолит­ного каркаса с заполнением наруж­ных стен блоками | Мелкие стеновые блоки | 400 | 500 | В 2,5 | 0,065 |
| 600 | В 3,5 | 0,09 |

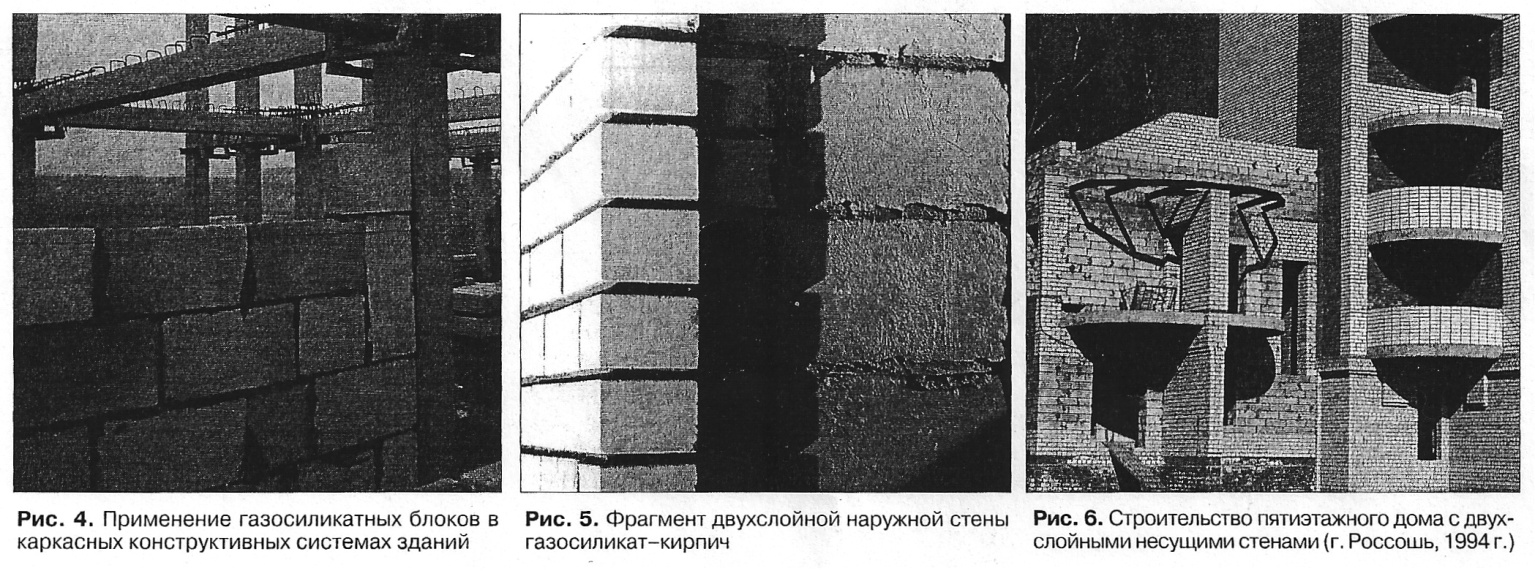
В те годы на фоне масштабного строительства объ­емы производства и применения ячеистого бетона в це­лом оставались небольшими, что не соответствовало эффективности данного материала, здания из которого были наиболее экономичными и комфортными. Толь­ко к середине 80-х гг. прошлого века стала очевидной необходимость приоритетного развития производства ячеистых бетонов автоклавного твердения.

В 1982 г. по инициативе Воронежского ИСИ при поддержке руководства области были приняты шаги к расширению производства и применения газосиликата в регионе. Лискинский комбинат к 1984 г. увеличил мощность и освоил выпуск мелких стеновых блоков по резательной технологии для строительства индивиду­ального жилья на селе. В этот же период было принято решение о строительстве в г. Россоши в системе Воронеж-агропромстроя завода газосиликатных мелких блоков мощностью 80 тыс. м3 в год. Оригинальную технологию для данного завода разработали совместно Воронеж­ский ИСИ и головная в то время в стране организация НИПИСиликатобетон (Таллинн, Эстония); проект заво­да выполнили специалисты Воронежского института ГИПРОПРОМ. Завод начал выпускать продукцию в 1988 г. и к 1991 г. превысил проектную мощность.

В это же время цех газосиликата из состава завода ЖБИ № 1 был передан в систему ДСК на завод КПД N91, была проведена реконструкция цеха, предусматривавшая вы­пуск не только ленточных панелей, но и мелких блоков по резательной технологии.

В конце 80-х гг. прошлого века было начато строи­тельство Россошанского завода КПД, в составе которого планировалось производство изделий из газосиликата для серии жилых домов нового поколения — индивиду­альных, малоэтажных для плотной застройки, а также вы­сокоэтажных. При этом рассматривалась также возмож­ность строительства малоэтажных зданий полностью из газосиликата. С началом экономического кризиса 90-х гг. прошлого века строительство заводов ячеистого бетона и Россошанского завода КПД остановилось.

С введением в действие Изменений № 3 к СНиП П-3-79\* «Строительная теплотехника» газосиликат оказался од­ним из немногих конкурентоспособных стеновых ма­териалов. Расширение востребованности материала проходило на фоне переоценки эффективности архи­тектурно-строительных систем зданий прежних серий, активного перехода к новым системам, в том числе с использованием технологии туннельной опалубки (рис. 3), ригельного и безригельного каркаса (рис. 4) и др. В этих системах газосиликат применялся как само­несущий материал в виде мелких блоков. Интересными и эффективными оказались также четырех-пяти- этажные здания с несущими двухслойными стенами газосиликатные блоки—кирпич, строительство ко­торых развернулось по инициативе Россошанского ЗАО «Коттедж-индустрия» (рис. 5, 6). Показательно, что производство газосиликатных панелей на Воро­нежском ДСК и Лискинском комбинате «Стройдеталь» к 2000 г. прекратилось.



В то же время были приняты меры по расширению производства газосиликатных блоков. Воронежский комбинат строительных материалов (бывший Воро­нежский завод силикатного кирпича) ввел в 2005 г. цех по производству газосиликатных блоков средней плотностью 500—600 кг/м3 с годовым выпуском до 40 тыс. м3; строительная фирма «КИТ» построила цех мощностью до 25 тыс. м3; в настоящее время Воро­нежский ДСК завершает в г. Лиски строительство предприятия по выпуску 200—220 тыс. м3 газосиликат­ных блоков в год.

При полном освоении мощностей в регионе будет производиться в год до 350—400 тыс. м3 газосиликата, который уже в настоящее время стал продуктом меж­регионального экспорта.

К началу 2007 г. в Воронежской обл. произведено более 1,7 млн м3 газосиликатных изделий и построено более 6 млн м2 жилых и других зданий.

Особо отметим, что с самого начала становления в конце 60-х гг. прошлого века технологии и организа­ции заводского производства газосиликата, примене­ния его в строительстве, мониторинга эксплуатационного ресурса материала в длительно эксплуатируемых зданиях было обеспечено научное сопровождение всех решаемых проблем, что отражено в кандидатских дис­сертациях А.Т. Дворядкина, Е.М. Чернышова, Е.И. Шмитько, Б.М. Зуева, А.М. Синотова, А.М. Кро- хина, А.В. Уколовой, Е.С. Шинкевич, JI.H. Адоньевой, В.А. Попова, Е.И. Дьяченко, Н.Д. Потамошневой, И.И. Акуловой, А.И. Воронина, Е.В. Баутиной, Е.А. Лаппо, в докторских диссертациях А.А. Федина, Е.М. Чернышова, Е.И. Шмитько, И.И. Акуловой.

Оценивая в целом положительно процесс формирова­ния строительной базы региона с ориентацией на газосили­кат, нельзя не отметить, что потенциальные возможности материала и его технологии использованы не полностью.

**Концепция современной гибкой технологии газосиликата.**

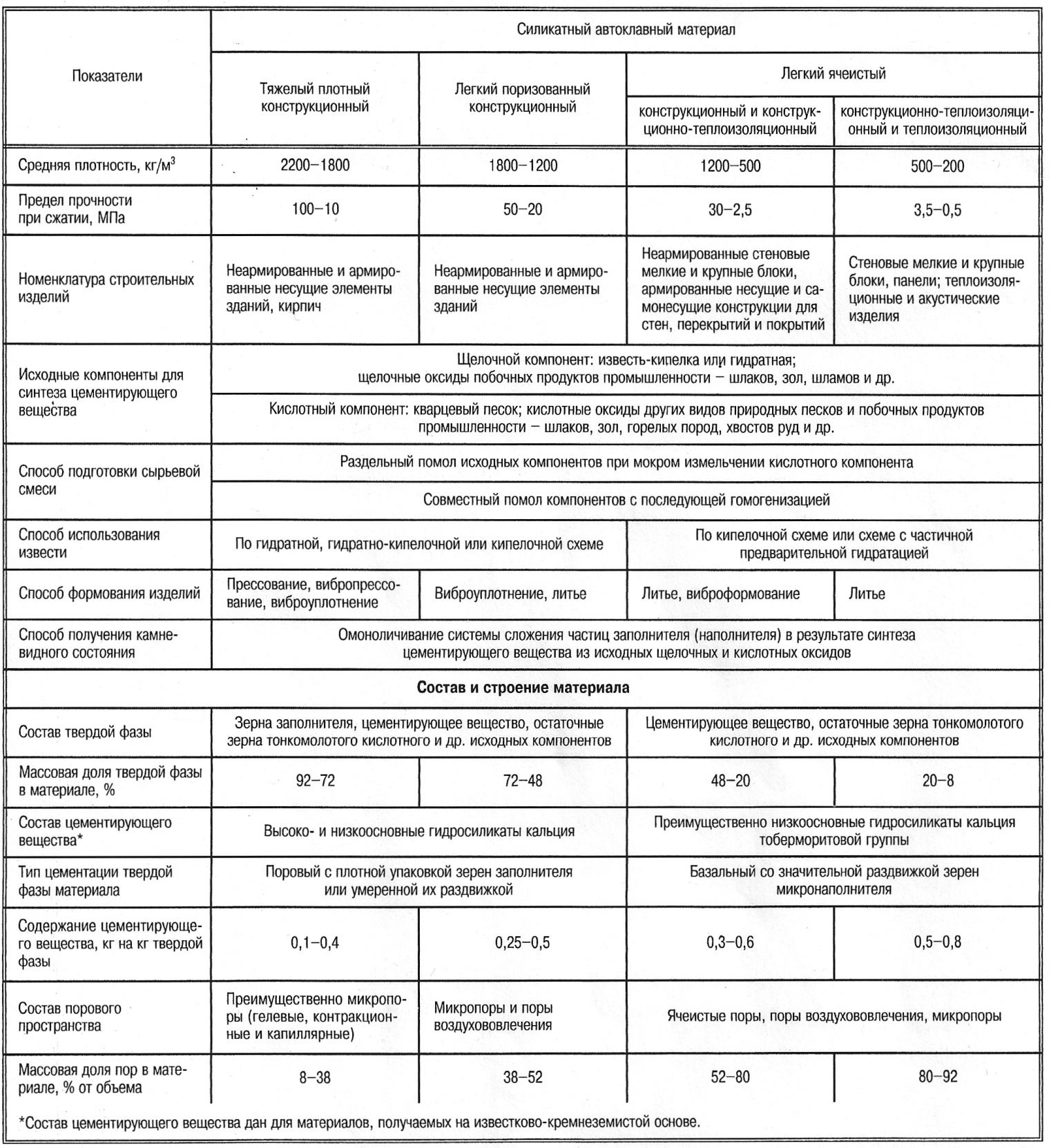
Формирование концепции гибкой технологии пред­полагает прежде всего рассмотрение характерных черт и признаков, критериев гибкости технологии, их сущест­ва и прикладного значения.

Понятие «гибкость» в приложении к гибким про­изводственным системам соотносится с их быстрой приспособляемостью, адаптивностью, легкой перена- лаживаемостью, относительно простой сочетаемостью с другими системами и встраиваемостью в них, с уни­версальностью и разносторонностью. Понятие «гиб­кость» следует рассматривать как возможность получе­ния многовариантных решений задачи с сохранением высокой эффективности без изменений принципов технологии. Обобщенно существо гибкой технологии заключается в диалектическом единстве ее унифициро­ванности и многовариантности.

Главным в качественных критериях гибкости явля­ется применимость технологии с ее сохраняющимися неизменными основными признаками к разным на­чальным условиям и выдвигаемым требованиям.

В отношении газосиликата как материала и техноло­гии газосиликата можно говорить о следующих неиз­менных основных признаках (табл. 2): характерный со­став и структура матрицы материала, имеющей типич­ную цементирующую связку, конгломератное строение и включающей характерные структурные элементы; принцип гидротермального (автоклавного) синтеза цементирующей связки из смеси щелочных и кислот­ных оксидов; единая последовательность и совокуп­ность химико-технологических этапов получения бето­на из исходного сырья, включающая измельчение, механохимическую активацию сырьевых компонентов, получение однородной многокомпонентной сырьевой смеси, формование сырца бетона, проведение процес­сов синтезного твердения; единая совокупность приме­няемых аппаратов и оборудования для реализации эта­пов технологии и ее процессов.

По нашему мнению, обсуждение сторон гибкости технологии газосиликата необходимо вести, имея в ви­ду возможные разновидности материала, разнообразие Номенклатуры изделий, расширение областей примене­ния материала и изделий, многовариантные реализации технологии при применении разного по качеству и со­ставу природного и техногенного сырья. Важным пред­ставляется обсуждение и таких вопросов гибкости, как вариантность компоновочных решений, масштаб и мощность технологических линий, возможности встраи­вания технологии в инфраструктуру предприятий других отраслей, создания комплексов взаимосвязанных мало­отходных и безотходных производств, относящихся к различным отраслям промышленности.

Таблица 2. Силикатные автоклавные материалы и технологические особенного их получение 

Если рассматривать возможные варианты газосили­ката как материала, то необходимо говорить о газосили­кате конструкционном, конструкционно-теплоизоля­ционном и теплоизоляционном. Каждая из этих разно­видностей имеет соответствующую область примене­ния, что ясно из самой классификации. Однако допол­нительно следует сказать о ряде неочевидных на первый взгляд новых возможных областей использования газо­силиката, а именно в качестве акустического и отделоч­ного материала, в том числе интерьерного декоративно- акустического и фасадного декоративно-отделочного и теплоизолирующего.

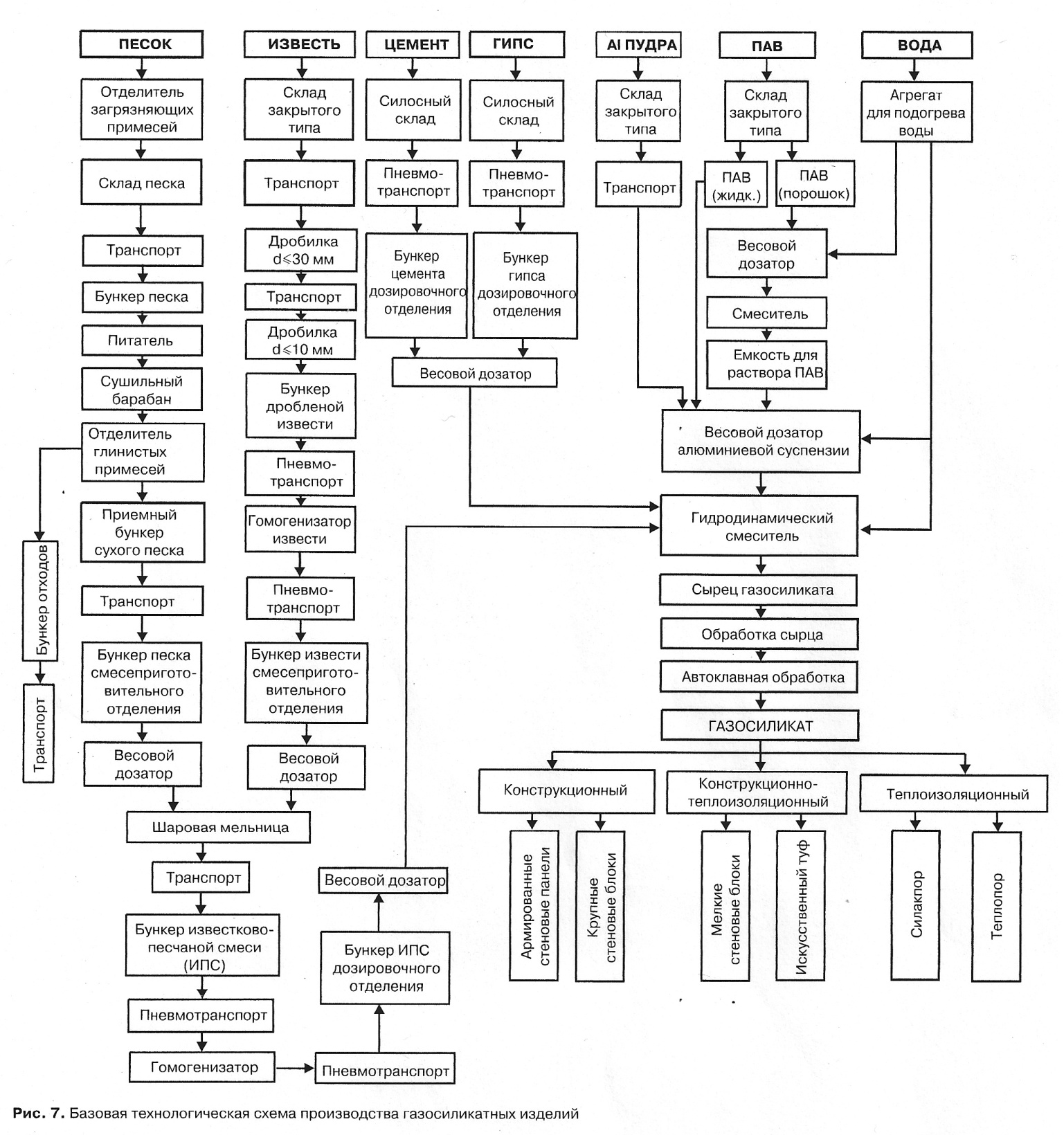
Классификация вариантов решений технологии, при использовании которых может быть произведен любой из представленных вариантов материала и изде­лий, показана на рис. 7. И здесь, во-первых, следует ос­тановиться на альтернативных составах вяжущего для синтезного автоклавного твердения. В связи с этим можно выделить известково-песчаное бесцементное, известково-песчаное с добавкой цемента, известково- цементно-песчаное вяжущее, известково-шлаковое, известково-зольное и др. вяжущие, в составе которых могут быть использованы природные и техногенные сырьевые материалы, содержащие щелочные и кислот­ные оксиды. К числу этих материалов относятся квар­цевые, полевошпатные пески, лессовые породы, а также, как показывают исследования, большинство не­органических попутных, побочных продуктов, про­мышленных отходов — шлаки, золы, хвосты обогаще­ния различных руд, нефелиновые и другие шламы, го­релые породы и т. п.

Все виды сырья должны пройти предварительную подготовку, после чего из них может быть получена щелочно-кислотная по составу сырьевая смесь. При этом может быть применено несколько технологических ва­риантов, каждый из которых может оказаться наиболее эффективным в соответствующих исходных условиях. К этим вариантам следует отнести решения с мокрым и сухим, раздельным или совместным помолом компо­нентов и их смесей или комбинированные решения, со­четающие указанные выше.

Сырьевые смеси могут быть использованы для полу­чения формовочной смеси и формования как способом литья в индивидуальных формах, так и путем литья блок-массива с последующей его доавтоклавной раз­резкой или же послеавтоклавной распиловкой.

Гибкость технологического этапа формования вы­ражается не только в способах получения заданной геометрии изделия отливкой, разрезкой или распи­ловкой, но и в вариантах создания макропористости газосиликата за счет газовыделения, воздухововлече­ния и пенообразования, а также за счет комбинации этих вариантов.

Значительный потенциал гибкости технологии газо­силиката заключен в решениях технологических линий по мощности, компоновке, степени универсальности по номенклатуре продукции и др. В зависимости от ти­па применяемого основного оборудования возможно компоновать технологические линии с годовой произ­водительностью от 5—10 до 80—200 тыс. м3 продукции не только однотипной, но и различной номенклатуры. Технологические линии могут компоноваться приме­нительно к агрегатно-поточному, конвейерному или даже стендовому способу организации производствен­ного процесса. Технологические



линии могут встраи­ваться в существующие производства, например на заводах силикатного кирпича, родственных газосили­катному производству; они могут встраиваться и в инфраструктуру промышленных предприятий других отраслей, и выступать как заводы-спутники по отно­шению к основному производству. Технологические линии, разумеется, могут составлять основу самостоя­тельного предприятия с собственной инфраструктурой. Последняя, как правило, включает подготовительное отделение щелочно-кислотного вяжущего, однако не исключается возможность получения такого вяжущего с другого предприятия, в том числе специализирован­ного по выпуску вяжущего для материалов синтезного автоклавного твердения.

Представленная концепция и положения гибкой технологии газосиликата демонстрируют ее широкие инновационные возможности, которые должны учиты­ваться в перспективных инвестиционных процессах развития строительного комплекса.

В методологическом отношении рациональные ре­шения технологического процесса газосиликата бази­руются на структурно-физической концепции управле­ния показателями качества материала и предусматрива­ют учет условий минимизации соответствующих затрат при обеспечении заданного уровня качества по ком­плексу эксплуатационных свойств, определяемых его назначением в строительных конструкциях.

Применительно к ячеистому бетону как конструк­ционному и теплоизоляционному материалу такой комплекс свойств включает показатели сопротивле­ния механическому разрушению (вязкость разруше­ния, удельная работа разрушения, прочность, пре­дельная сжимаемость и растяжимость), теплопровод­ности, влажностной усадки, морозостойкости и др. Значение этих показателей на момент изготовления устанавливается техническими условиями и требова­ниями к бетону и строительным изделиям. При опре­делении уровня качества материала важен учет требо­ваний и в отношении стабильности его свойств во времени как условия надежной работы материала в строительной конструкции

Критериями этих требований выступают характери­стики сопротивления бетона действию физико-клима­тических и химических факторов эксплуатационной среды - стойкость при увлажнении-высыхании, хими­ческая (карбонизационная и др.) стойкость, эксплуата­ционная трещиностойкость и т. п.

Обеспечение требуемого уровня качества достигает­ся управлением формирования состава, структуры, со­стояния твердой фазы и порового пространства матери­ала.

Структурно-физическая концепция конструирова­ния силикатного ячеистого бетона как композицион­ного материала исходит при этом из целесообразности получения: оптимальной цементации твердой фазы межпорового материала по критерию максимума со­противления механическому разрушению; максималь­ной пространственной однородности распределения структурных элементов в твердой фазе по условию ми­нимизации локальных концентраций напряжений, воз­никающих в структуре при действии механических и других факторов эксплуатационной среды; рациональ­ного минералогического состава, морфологии и степе­ни дисперсности гидросиликатов кальция и других гид- ратных соединений в цементирующей связке твердой фазы по требованиям обеспечения прочности, пре­дельной растяжимости, трещиностойкости и др.; ра­циональной структуры микропористости материала мембран по требованиям к влажностной усадке и моро­зостойкости; оптимального соотношения объема ячеистых и капиллярных пор; рационального распреде­ления ячеистых пор по размерам, минимальной де­фектности мембран и анизотропии ячеистой пористос­ти по условиям наиболее эффективного использования свойств материала мембран в пространственной кон­струкции ячеистого бетона.

Базовый технологический процесс изготовления газосиликата имеет следующие элементы и отличи­тельные признаки. Изготовление известково-песча­ной смеси основывается на методе совместного помо­ла исходных компонентов с сушкой песка тепловым, а при использовании высокоактивной извести физико- химическим методом. Величина и кинетика тепловы­деления известково-песчаной смеси регулируется час­тичной гидратацией извести в процессе физико-хими­ческой сушки песка. Молотая известково-песчаная смесь подвергается гомогенизации. В сырьевой шихте принимается оптимальное по прочности соотношение щелочного и кислотного компонентов. Гранулометрия кремнеземистого компонента назначается по услови­ям формирования квазиоднородной структуры мате­риала межпоровых перегородок ячеистого бетона за­данной средней плотности. В состав сырьевой шихты вводятся в минимально необходимом количестве ми­неральные добавки, позволяющие регулировать рео­логические свойства формовочной смеси и модифи­цировать цементирующее вещество. Газообразователь при необходимости изменения размера макропор под­вергается дополнительной диспергации для разруше­ния агрегатов частиц алюминиевой пудры и получения ячеистых пор минимального диаметра. Приготовление раствора осуществляется в смесителях, обеспечиваю­щих интенсивный турбулентный режим течения и пе­редачу работы перемешивания, необходимой для до­стижения высокой однородности раствора за время, отведенное для его приготовления. Путем варьирова­ния В/Т и расхода газообразующей добавки ведется регулирование распределения микропор по размерам и объемного соотношения микро- и ячеистых пор в общем объеме порового пространства бетона. При формировании ячеистой пористости обеспечивается предельная, соответствующая объему газовыделения полнота вспучивания. Внутренние напряжения от дав­ления газа снимаются посредством виброожижения формуемой смеси механическими воздействиями на нее. Температурные условия гидротермальной обра­ботки назначаются из условия обеспечения максиму­ма эффективной энергии активации процесса синтеза цементирующего вещества, что отвечает условию ми­нимизации энергозатрат на автоклавирование. Про­должительность стадии изотермической выдержки для принятой температуры автоклавной обработки назначается по требованиям формирования цементи­рующего вещества в виде низко основных гидросили­катов кальция с соотношением С—S—Н(1) и тоберморита 11,3 А, морфологическим составом и степенью дисперсности, отвечающих условию обеспечения за­данного уровня качества по совокупности свойств как на момент изготовления, так и с учетом стабильности показателей качества во времени.

Технологический процесс рассчитан на получение строительных изделий широкой номенклатуры из кон­струкционного, конструкционно-теплоизоляционного силикатного ячеистого бетона средней плотностью от 900 до 200 кг/м3. Данный технологический процесс обеспечивает возможности изготовления материала высшего класса качества на уровне лучших мировых об­разцов (табл. 3).

Таблица 3.

