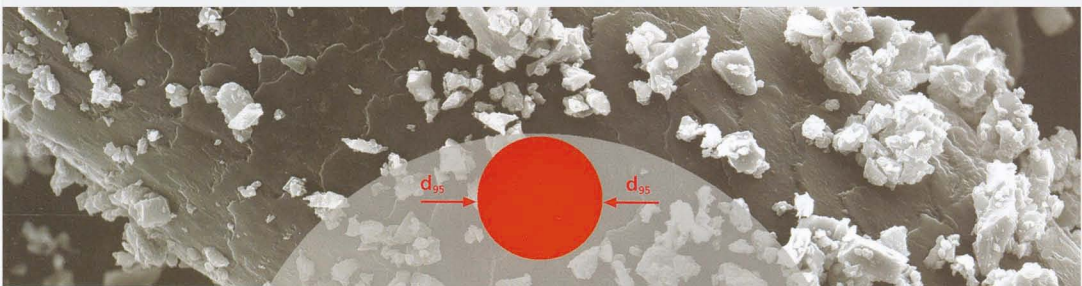


Панченко А. И. Харченко И. Я. Алексеев С. В.

МИКРОЦЕМЕНТЫ



MIKRODUR® марка X

l_{95}

Цемент I 52,5 R

d_{95}

**Б
А
К
А
Л
А
В
Р**

А.И. Панченко, И.Я. Харченко, С.В. Алексеев

МИКРОЦЕМЕНТЫ

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов РФ
по образованию в области строительства в качестве учебного
пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по программе бакалавриата по направлению
подготовки 270800 – «Строительство»*



Издательство АСВ
Москва
2014

Рецензенты:

научный руководитель ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации»
д.т.н., проф., заслуженный строитель РФ, почетный деятель науки и
техники Москвы *В.Е. Меркин*;

заведующий лабораторией № 16, д.т.н., проф. *С.С. Каприелов*;

профессор кафедры ТВиБ, д.т.н. *Л.А. Алимов*;

профессор кафедры ТВиБ, д.т.н. *В.В. Воронин*.

Панченко А. И., Харченко И. Я., Алексеев С. В.

Микроцементы: Учебное пособие. – М.: Издательство АСВ, 2014.
– 76 с.

ISBN 978-5-4323-0032-4

В учебном пособии приводятся общие сведения о микроцементах, их свойствах, эффективных областях применения и особенностях технологий использования при новом строительстве и ремонтно-восстановительных работах.

В работе дан анализ методов изготовления микроцементов и изложены технологические приемы приготовления инъекционных суспензий на их основе и последующего использования суспензий для возведения грунтобетонных массивов в подземном строительстве и восстановления несущей способности существующих зданий и сооружений. Освещены требования к оборудованию, используемому при производстве инъекционных работ.

Приведены примеры практического использования инъекционных технологий суспензий на основе микроцементов при проектировании и выполнении работ на реальных объектах. Дан анализ технико-экономической эффективности использования этих технологий.

Книга предназначена для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Строительство», а также будет полезна для инженерно-технических работников проектных, строительных и научно-исследовательских организаций.

ISBN 978-5-4323-0032-4

© Издательский дом АСВ, 2014

© Панченко А.И., Харченко И.Я.,
Алексеев С.В., 2014

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1. СВОЙСТВА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОЦЕМЕНТОВ	10
1.1. Общие положения.....	10
1.2. Основные марки ОТДВ «Микродур», свойства и характеристики	10
1.3. Области применения.....	15
2. ИНЪЕКЦИОННАЯ СУСПЕНЗИЯ МИКРОЦЕМЕНТА: ОСОБЕННОСТИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ, ХАРАКТЕРИСТИКИ, КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА	17
3. КРИТЕРИИ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ	22
3.1. Устройство грунтобетонных массивов и закрепление грунта	22
3.1.1. Схемы применения инъекционного закрепления грунта в строительстве	23
3.1.2. Оценка пригодности грунтов для инъекционного закрепления суспензией микроцементов	27
3.2. Конструктивные схемы и технология восстановления свойств материалов и конструкций	31
3.3. Подбор рецептуры инъекционной суспензии	31
3.3.1. Рецептуры суспензии для закрепления грунтов	34
3.3.2. Рецептуры суспензии для восстановления свойств материалов и конструкций	35
3.4. Расчет объема суспензии для инъекции	36
3.4.1. Инъекция в грунты.....	36
3.4.2. Инъекция в структуру строительного материала.....	38
4. КОНСТРУКЦИИ ИНЪЕКТОРОВ И ТЕХНОЛОГИЯ ИНЪЕКЦИОННЫХ РАБОТ	40
4.1. Инъекторы и способы их установки	40
4.2. Последовательность и параметры инъекции.....	46
4.2.1. Последовательность инъекции при закреплении грунтов	46
4.2.2. Параметры инъекции суспензии в грунты.....	47
4.3. Последовательность и параметры инъекции при восстановлении эксплуатационных свойств конструкций	49
5. ПРОИЗВОДСТВО ИНЪЕКЦИОННЫХ РАБОТ С ПРИМЕНЕНИЕМ СУСПЕНЗИИ МИКРОЦЕМЕНТА	50
5.1. Оборудование и оснастка.....	50
5.1.1. Смесительное оборудование.....	50

5.1.2. Насосное оборудование	52
5.1.3. Контрольно-измерительное оборудование	52
6. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ВЕДЕНИЯ ИНЪЕКЦИОННЫХ РАБОТ СУСПЕНЗИЕЙ МИКРОЦЕМЕНТА	53
6.1. Технология инъекционных работ при закреплении грунтов	53
6.1.1. Подготовка инъекционных скважин и установка манжетных иньекторов в проектное положение.....	53
6.1.2. Приготовление инъекционной суспензии.....	53
6.1.3. Иньекционные работы.....	54
6.2. Технология инъекционных работ по восстановлению свойств конструкций	54
6.2.1. Подготовка инъекционных шпуров и установка запирающих пакеров	54
6.2.2. Приготовление инъекционной суспензии.....	55
6.2.3. Иньекционные работы.....	55
6.4. Контроль качества инъекционного закрепления грунтов и конструкций	56
6.4.1. Контроль свойств грунта и закрепленных массивов грунта.....	57
6.4.2. Контроль свойств конструкций	57
6.4.3. Контроль суспензии	58
6.4.4. Контроль процесса иньекции.....	59
7. ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОЦЕМЕНТОВ В КАЧЕСТВЕ МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ К БЕТОНАМ	59
8. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОЦЕМЕНТОВ ПРИ ЗАКРЕПЛЕНИИ ГРУНТОВ	61
8.1. Общие положения	61
8.2. Оценка и оптимизация затрат на выполнение работ	62
8.3. Организация работ по укреплению грунтов.....	64
8.4. Сравнительная оценка эффективности	65
8.4.1. Применение свай с опорной иньекционной грунтобетонной пятой вместо висячих буронабивных или буроиньекционных свай.....	67
8.4.2. Применение грунтобетонных иньекционных массивов для наращивания фундаментов существующих зданий вместо устройства буроиньекционных свай.....	71
8.4.3. Применение грунтобетонных иньекционных массивов в качестве свайного основания для фундаментных плит при новом строительстве	74
Литература	76

ВВЕДЕНИЕ

Особо тонкодисперсные гидравлически активные порошки (микроцементы), основной объем частиц которых имеет диаметр менее 5,0–15,0 мкм, в качестве основных вяжущих для приготовления бетонов практически не используются. Обусловлено это, с одной стороны, высокими затратами на производство микроцементов, а с другой – необходимостью иметь в затвердевшем цементном камне (бетоне) некоторое количество, так называемого «клинкерного фонда», ответственного за обеспечение эффекта самозалечивания бетона в процессе эксплуатации и повышение его долговечности. Однако в ряде случаев микроцементы используются в качестве активных минеральных добавок к обычным цементам с целью снижения водопотребности бетонной смеси, ускорение набора прочности в начальный период твердения и повышения марочной прочности бетона.

В последние 10–15 лет в России и других ведущих странах мира весьма активно развиваются технологии с использованием разбавленных водных суспензий микроцементов для пропитки рыхлых или малопрочных пористых структур, например, песчаных, обломочных или трещиноватых грунтов, а также каменных, бетонных и бутобетонных конструкций с целью восстановления утраченной со временем прочности и непроницаемости. Чаще всего после инъекции водной суспензии микроцемента в структуру материала конструкций прочность существенно превышает прочность, которой обладал материал в момент возведения этой конструкции (стен, несущих элементов, фундаментов и др.). Пропитка природной структуры грунтов осуществляется путем инъекции водной суспензии микроцементов при низком давлении, не допускающем разрывов в грунте. В этом случае появляется возможность устройства конгломерата в виде грунтобетона необходимой формы и размера на требуемой глубине от дневной поверхности грунта. При этом имеется возможность регулировать прочность грунтобетона в достаточно широких пределах: от 2,0 до 20,0 МПа, а в отдельных случаях и выше. В зависимости от поставленной цели такой массив из грунтобетона может выполнять несколько функций.

Наиболее эффективными областями применения микроцементов можно считать:

- устройство противодиффузионных завес (горизонтальных и вертикальных), а также для противодиффузионных инъекций за отделку подземных сооружений;
- возведение временных грунтобетонных массивов в водонасыщенных нестабильных грунтах с целью их стабилизации

(«целиков») и последующего устройства в этих массивах подземных сооружений (тоннелей, технологических каналов, сбоек и др.);

- устройство свайных фундаментов мелкого заложения с грунтобетонной опорной пятой повышенной несущей способности;
- закрепление оснований фундаментов существующих зданий и сооружений с целью предотвращения осадок;
- заглубление подошвы существующих фундаментов с устройством подвала вместо технического подполья или увеличения высоты существующих подвалов;
- уплотнение и закрепление грунта контактной зоны в туннелях и подземных сооружениях;
- укрепление рыхлых и проницаемых грунтов вокруг нефтегазовых скважин для предотвращения затрубного выхода и ухода в грунт нефти и газа;
- укрепление, упрочнение и обеспечение водонепроницаемости песчаных и обводнённых грунтов (от пылеватых до крупнозернистых песков, супеси) при устройстве фундаментов, подпорных стен, ремонте и строительстве метрополитенов, подземных гаражей, подвалов и других подземных сооружений;
- восстановление несущей способности и непроницаемости конструкций эксплуатирующихся зданий и сооружений;
- в качестве минеральных добавок при приготовлении тяжелых, в том числе и мелкозернистых бетонов, для повышения прочности, снижения водопотребности или повышения подвижности бетонной смеси.

Основной объем выпускаемых микроцементов используется в геотехническом строительстве, так как для получения 1 м³ грунтобетона необходимо около 300 л водной суспензии или 70–100 кг микроцемента. Ежегодно в мире выполняются работы по укреплению грунтов и возведению грунтобетонных массивов в объеме 250–300 тыс. м³. Хотя количество микроцементов, используемых для восстановления несущей способности конструкций, в разы меньше, это ни в коей мере не снижает значимость этой области их применения. В подавляющем большинстве случаев именно инъекция суспензии микроцемента позволяет восстановить эксплуатационную надежность здания или сооружения взамен их сноса. В качестве минеральной добавки в последнее время

микроцементы успешно используются при приготовлении высокопрочных самоуплотняющихся бетонов.

В настоящее время в мире производится несколько видов микроцементов, которые могут быть использованы в указанных выше областях. Основные из них приведены в табл. I, а на рис. 1 показан вид зерен микроцемента $D_{95} \leq 9,5 \text{ мкм}$ в сравнении с зернами высокопрочного портландцемента.

Таблица I

Производители микроцементов и их основные свойства

Тип микроцемента	Размер зерна D_{95} , мкм	Удельная поверхность, $\text{м}^2/\text{кг}$
UGC Int. RHEOCЕМ 650 (Германия)	16,0	650
Cementa Ultrafin cement 16 (Италия)	16,0	800–1200
Spinor A16 (Франция)	16,0	1200
Mikrodur P-F (R-F) (Германия)	16,0	1200
UGC Int. RHEOCЕМ 800 (Германия)	13,0	820
Cementa Ultrafin cement 12 (Италия)	12,0	2200
Spinor A12 (Франция)	12,0	1500
Alofix-МС (Япония)	10,0	800
UGC Int. RHEOCЕМ 900 (Германия)	8,0	875–960
Mikrodur P-U (R-U) (Германия)	9,5	1600
Mikrodur P-X (R-X) (Германия)	6,0	1900

Производители, приведенные в таблице, применяют один из трех способов изготовления микроцемента:

– домол исходного цемента повышенного класса СЕМ 52,5 различными способами;

– улавливание мелкой части цемента, которая удаляется в процессе изготовления вместе с перегретым воздухом через газоотводящие трубы;

– воздушная сепарация исходного высокомарочного цемента в специальных сепарационных установках по запрограммированному режиму с отделением наиболее мелких зерен и разделением их на фракции.

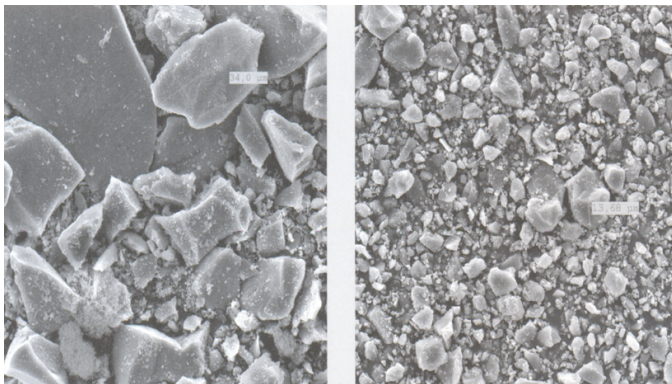


Рис. 1.1. Размер зерен микроцемента по сравнению с зернами высокопрочного портландцемента.

В России промышленное производство микроцементов не налажено. Выпускаются отдельные партии микроцементов в экспериментальном порядке по технологии домола.

При домоле исходного цемента трудно получить микроцемент требуемого фракционного состава и, что важно, исключить наличие в нем части зерен более крупных размеров, которые в процессе инъекции суспензии в грунт или структуру каменного материала будут выполнять роль «пробок», закупоривающих капилляры и поры и замедляющих процесс инъекции. Тем более сложно говорить о каком-либо нормируемом фракционном составе цементной пыли, которая улавливается фильтрами, установленными на газоотводящих трубах.

С точки зрения обеспечения качества, стабильности свойств и возможности регулировать свойства производимого продукта в требуемом диапазоне предпочтительнее использовать технологию воздушной сепарации (рис. 2). Эта технология позволяет выделить из исходного цемента особо тонкодисперсную часть, разделив её на фракции. Конечный продукт приготавливается путем смешивания полученных фракций в количестве, необходимом для обеспечения тех или иных свойств микроцемента за счет нормированного фракционного состава.

По технологии сепарации изготавливается, например, микроцемент Mikrodur[®] («Микродур») марок R-X(P-X), R-U(P-U), R-F(R-F) (AG Dyckerhoff, Германия). Используя указанные выше возможности этой технологии, AG Dyckerhoff выпускает шесть основных марок микроцементов (см. в табл. 1) и семь сопутствующих. Такая, достаточно широкая номенклатура, позволяет более целенаправленно и с большей эффективностью решать проблемы геотехнического

строительства и восстановления несущей способности материалов и конструкций. В связи с этим в дальнейшем целесообразно рассматривать технологию применения микроцементов в строительстве на примере особо тонкодисперсного вяжущего (ОТДВ) «Микродур».

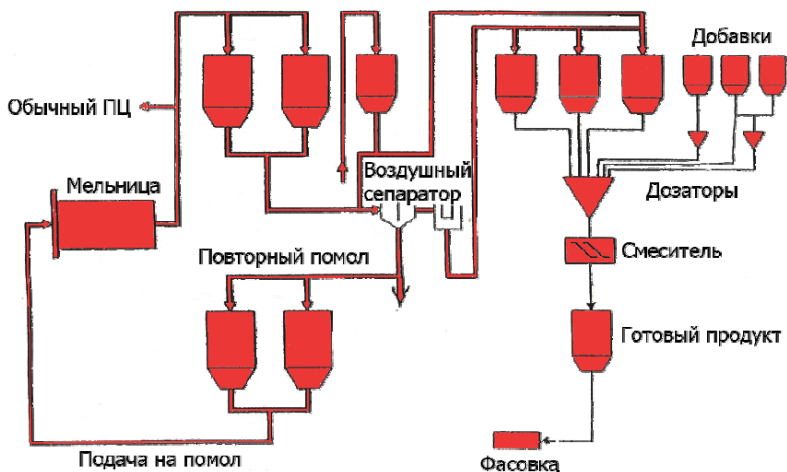


Рис. 2. Технологическая схема производства микроцемента методом воздушной сепарации

1 . СВОЙСТВА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОЦЕМЕНТОВ

1.1. Общие положения

Инъекционное закрепление грунтов является наиболее эффективным технологическим методом возведения грунтовых массивов, призванным решать различные задачи геотехнического строительства. Эффективность инъекционных технологий как в грунты, так и в структуру строительных материалов обусловлена низкими затратами и высокими темпами производства работ. В значительной степени эта эффективность обеспечена: использованием малогабаритного и легко транспортируемого оборудования; незначительным объемом буровых работ; возможностью выполнения работ на труднодоступных участках; высокой производительностью труда.

Проблемы инъекционного закрепления всегда состояли в гарантированном обеспечении долговечности и прочности закрепляемых массивов грунта или конструкций, в возможности создавать массивы со значительными габаритами, а также в экологической и санитарной безопасности применяемых инъекционных составов.

Применение микроцементов позволяет сочетать эффективность инъекционных технологий и устранение указанных проблем, так как, являясь минеральным вяжущим с долгим сроком сохранения инъекционных свойств, обеспечивает высокую прочность и долговечность закрепления, позволяет создавать массивы с большими габаритами и является экологически и санитарно безопасным материалом. Ограничением для применения микроцементов является проницаемость структуры грунта или материала для инъекционной суспензии.

Микроцемент, в частности «Микродур», позволяет применять инъекцию не только как способ укрепления грунта и повышения его несущей способности, но и как способ превращения грунта в конструктивные элементы сооружений, что обеспечивает, например, повышение несущей способности фундаментов здания и его элементов посредством увеличения его размеров по ширине и глубине залегания. Инъекционные грунтобетонные массивы могут выполнять также функции опорных фундаментных подушек для свай, ограждений котлованов, стен в грунте, противодиффузионных экранов и т.д.

1.2. Основные марки ОТДВ «Микродур», свойства и характеристики

Особо тонкодисперсное вяжущее «Микродур» – это минеральное гидравлическое вяжущее с особо тонким, постоянным и плавно

изменяющимся гранулометрическим, а также определенным и стабильным химико-минералогическим составом. «Микродур», в основном, состоит из обычного цементного сырья, как, например, портландцементный клинкер, доменный шлак, регуляторы твердения и минеральные добавки. Таким образом, «Микродур» является минеральным продуктом, который при различных водоцементных отношениях, как и обычные цементы, затвердевает после смешивания с водой вследствие протекания реакций гидратации и гидролиза.

По гранулометрическому составу «Микродур» подразделяется на три основные марки, в которых в качестве основного критерия принят максимальный размер частиц пробы микроцемента в количестве 95 % от всей массы. Диаметр частиц не должен превышать определенную величину. Этот показатель условно можно назвать «весовой процент d_{95} ». Обозначаются марки тремя буквами латинского алфавита «X», «U», и «F»:

$X - d_{95} < 6 \text{ мкм}$; $U - d_{95} < 9,5 \text{ мкм}$; $F - d_{95} < 16 \text{ мкм}$.

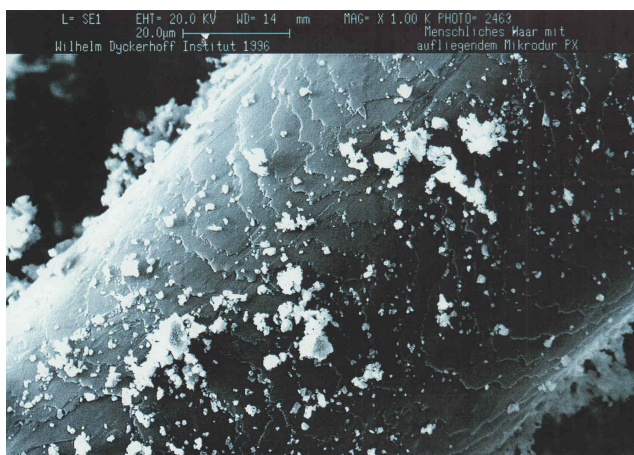


Рис. 3. Частицы «Микродура» на человеческом волосе

Распределение частиц микроцемента «Микродур» по фракциям приведено в табл. 2.

Разнообразие марок микроцемента «Микродур» по минеральному составу позволяет обеспечить укрепление грунтов и конструкций с учетом различных требований: прочность и противофильтрационные свойства укрепляемых массивов, стойкость к различным агрессивным воздействиям, твердение в условиях отрицательной температуры, регулирование сроков схватывания или скорости набора прочности и т.д.

Таблица 2

Гранулометрический состав «Микродура» различных марок

Марка	Количество частиц (%) диаметром (мкм)						Удельная поверх- ность, см ² /г	Водо- потреб- ность, %
	< 2 мкм	< 4 мкм	< 6 мкм	< 9,5 мкм	< 16 мкм	< 24 мкм		
R-F	19 %	45 %	60 %	80 %	95 %	–	~12 000	39,0
R-U	25 %	55 %	78 %	95 %	–	–	~16 000	47,0
R-X	45 %	80 %	95 %	–	–	–	~20 000	-

Ассортимент поставляемых марок ОТДВ «Микродур» по гранулометрическому и минеральному составу представлен в табл. 3.

Таблица 3

Марки ОТДВ «Микродур»

Весовой процент d_{95}	Марки				
$d_{95} < 6 \mu\text{м}$	R-X	P-X	R-X/E plus	–	R-X Finosol
$d_{95} < 9,5 \mu\text{м}$	R-U	P-U	R-U/E plus	R-U rock	R-U Finosol
$d_{95} < 16 \mu\text{м}$	R-F	P-F	R-F/E plus	–	R-F Finosol

Основополагающими свойствами «Микродура» являются:

- особо тонкодисперсный, стабильный и плавный гранулометрический состав, контролируемый по весовому проценту d_{95} и d_{50} ;
- подобранный минералогический состав, обеспечивающий замедленный рост размеров частиц вяжущего (не более 5 %) и сохранение начальных реологических свойств инъекционной суспензии на временном отрезке не менее 60 мин после затворения водой.

Качественные характеристики различных марок «Микродура» представлены в табл. 4. Следует заметить, что приведенные характеристики являются качественными показателями, определяемыми по перечням, принятым в стандартах для гидравлических вяжущих (в данном случае нормы ФРГ для качественных свойств цементов DIN EN 196). Указанные свойства различных марок предназначены для проверки качества материала и не являются свойствами рабочих рецептур.

Судить о прочности суспензии Микродура после затвердевания можно по данным, приведенным на рис. 4. Твердение образцов было обеспечено при 20°C и относительной влажности 60–70 %.

Литература

1. Предварительное укрепление грунтов при проходке горных тоннелей / Кнут Ф. Гарсхол. – BASF., Швейцария, 2007.
2. Ржаницын Б.А. Химическое закрепление грунтов в строительстве. – М., 1986.
3. Закрепление грунтов инъекцией цементных растворов / М.Н. Ибрагимов, И.И. Семкин. – М.: Издательство АСВ, 2012.
4. Панченко А.И., Харченко И.Я. Особо тонкодисперсное минеральное вяжущее «Микродур»: свойства, технология и перспективы использования // Строительные материалы, 2005 г., № 10.
5. Паспортные данные продукции фирмы «Dyckerhoff AG». Висбаден, Германия.

Учебное пособие

Александр Иванович **Панченко**
Игорь Яковлевич **Харченко**
Сергей Васильевич **Алексеев**

МИКРОЦЕМЕНТЫ

Компьютерная верстка: *Д.А. Матвеев.*

Редактор: *В.Ш. Мерзлякова.* Дизайн обложки: *Т.А. Негрозова*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98. Подписано к печати 25.07.14.
Формат 60х90/16. Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Бумага офсетная.
Усл. 4,75 п.л Тираж 500. Заказ № .

ООО «Издательство АСВ», 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел реализации к. 511, тел., факс: (499)183-56-83;
e-mail: iasv@iasv.ru, <http://www.iasv.ru/>