© М.В. Рыльникова, Д.Н. Радченко, А.Ф. Илимбетов, А.Н. Звягинцев, 2008

УДК 622.7

М.В. Рыльникова, Д.Н. Радченко, А.Ф. Илимбетов, А.Н. Звягинцев

ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ АПРОБАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ МЕДНО-КОЛЧЕДАННЫХ РУД

Семинар № 19

Повышение социально-экономической эффективности использования недр – государственная политика России, одним из приоритетных направлений которой является реализация стратегии рационального недропользования. В этой связи особую значимость приобретают вопросы комплексного, экологически безопасного освоения месторождений минерального сырья. При этом первоочередной задачей ставится снижение объемов отходов предприятий и вовлечение их в эффективное промышленное использование.

Проблема полезного использования отходов особо остро стоит на Урале, где эксплуатационные запасы кондиционных руд практически отработаны, и на поверхности горного отвода в хвостохранилищах накоплено значительное количество отходов, причем процесс их накопления непрерывен. Уральские медно-цинковые колчеданные руды, перерабатываемые Учалинским, Бурибаевским, Гайским ГОКом, Башкирским медно-серным комбинатами и другими, обогащаются со значительными потерями цветных и благородных металлов в пиритном концентрате и отвальных хвостах. В среднем, извлечение меди в медный концентрат составляет 80-95 %; попутное извлечение золота в медный концентрат не более 10–20 %; извлечение цинка в цинковый концентрат 65–73 %, в ряде случаев его потери с медным концентратом достигают 30 % от всей массы цинка в руде.

Хвостохранилища занимают значительные площади по земельному отводу, мощность хвостов, складированных в них, изменяется в пределах 18-40 м. При этом, большая часть хранилищ отходов уже законсервированы, а эксплуатируемые в настоящее время находятся на стадии завершения эксплуатации. Вместе с тем, масштабы добычи и переработки руд характеризуются нарастающей динамикой и непрерывным поступлением в хранилища отходов с высоким содер-жанием ценных компонентов.

Отходы обогащения Бурибаевской обогатительной фабрики в период 1942–1970 гг. складировались в старогоднее хвостохранилище, расположенное в 200 м к востоку от здания фабрики в небольшой ложбине на месте бывшего пруда, питающегося, в основном, атмосферными осадками. В настоящее время часть хвостохранилища затоплена водой. Кроме того, туда поступают карь-

*Работа выполнена при поддержке Гранта РФФИ 06-05-64541.

Таблица 1

Химический состав отходов переработки руд Учалинского и Узельгинского рудных полей

Cu	Zn	Au	Ag	Cd	Se	Te	In
0,3 %	0,8 %	1,16 г/т	17,44 г/т	3,50 г/т	4,50 г/т	0,50 г/т	0,62 г/т

Pb	B	St	Mn	Co	Ni	Hr	Fe
0,04 %	1,35 г/т	3,35 г/т	0,04 %	0,001 %	0,01 %	0,01 %	27,52 %

ерные воды, откачиваемые участком водоотлива из Бурибаевского карьера. Площадь старогоднего хвостохранилища около 35 га. Мощность отложений хвостохранилища изменяется в пределах 0,5 - 18,0 м, средняя составляет 10 м.

Техногенные месторождения Урала, представленные отходами обога-щения медно-колчеданных руд, как объекты разработки характеризуются рядом специфических особенностей. Вещественный состав хвостов обогащения медно-колчеданных руд весьма сложен, анализ химического состава свидетельствует о присутствии широкого спектра черных, цветных, благородных металлов и редких элементов (табл. 1).

Техногенные образования отличаются от природных (геогенных) месторождений происхождением, условиями залегания – как правило, на поверхности, пониженным содержанием ценных компонентов. Сходства с природными месторождениями заключаются в сложном внутреннем строении залежей. В результате, освоение техногенных месторождений связано с рядом трудностей, поэтому опыт разработки техногенных месторождений медно-колчеданных руд ограничен.

При визуальном обследовании массива старогодних хвостов в срезе траншеи был установлен ярко выраженный слоистый характер распределения минеральных форм по глубине массива (рис. 1). Слои имеют характерные различия по цвету, крупности и механическим характеристикам. Слоистость субпараллельна намываемой поверхности. Верхний слой – зона активной аэрации характеризуется пониженным содержанием ценных компонентов; слои серого цвета – сульфофильные, имеют повышенное содержание железа, меди, цин-

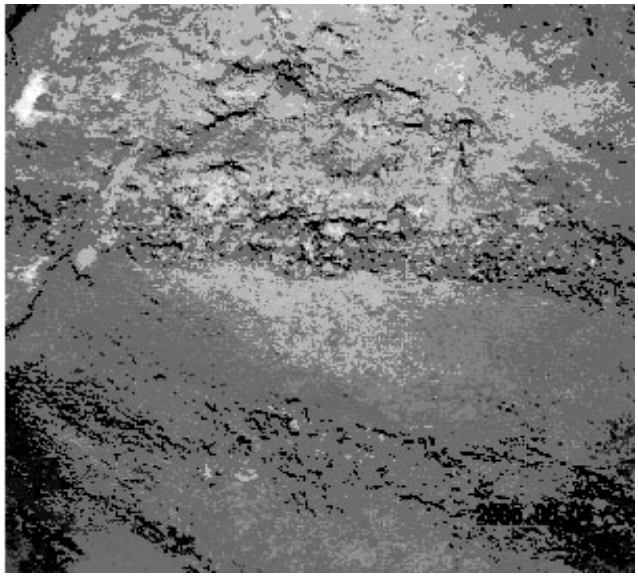

Рис. 1. Фотография разреза Старогоднего хвостохранилища Бурибаевского ГОКа

Таблица 2

Содержание металлов и окислов в текущих хвостах Бурибаевской обогатительной фабрики и хвостах бурого и серого цвета, отобранных из Старогоднего хвостохранилища, %

Металлы и окислы	Текущие	Слой бурого цвета	Слой серого цвета
Медь	0,69	0,15	0,48
Цинк	0,54	0,13	0,23
Сера	20,7	24,5	23,2
Железо	18,49	23,96	21,33
Кадмий	0,0029	0,0002	0,0005
Свинец	0,059	0,01	0,012
Мышьяк	0,02	0,02	0,02
Al_2O_3	5,53	4,4	3,66
MgO	1,8	2,94	2,55
CaO	1,52	1,35	1,74
Au	1,7	1,5	0,2
Ag, г/т	12,2	7,6	2,4
Na_2O	0,6	0,3	0,7
SiO_2	38,9	33,8	24,5
Fe_2O_3	23	27,8	31
CuO	0,7	0,3	3,0
ZnO	0,4	0,1	0,9
BaO	0,3	0,05	0,1

ка, кальция, представленные минералами преимущественно окисленных форм; слои буро-желтого цвета – оксифильные характеризуются повышенной концентрацией благородных металлов и представлены преимущественно труднорастворимыми сульфидами.

Выделенная макрослоистость имеет некоторую аналогию с геохимическими классами, предложенных для зоны гипергенеза. Подобие заключается в сходстве окрасок макрослоев и зон окисления и восстановления. Очевидно, что систематическое чередование слоев является следствием влияния различных температурных ус-ловий, обусловленных сезонной сменой климата на физико-химические процессы, протекающие круглогодично в хвостохранилище. Температура влияет на устойчивость ионов металлов и их соединений, а также на период изменения Eh и pH среды хвостохранилища.

Это является основной причиной формирования слоев различного вещественного состава, отличающимися физико-механическими свойствами и цветовой гаммой. Таким образом, слоистость массива обусловлена вли-янием совокупности природных и техногенных факторов на течение процессов вторичного минералообразования (гипергенеза). За короткий срок отходы рудообогащения проходят последовательную смену состояний от седиментогенеза (гравитационного расслоения) до гипергенеза (вторичного минералообразования). Эти процессы прослеживаются и в генезисе формирования природных медно-колчеданных месторождений Урала.

Таблица 3

Концентрация элементов в растворах выщелачивания (2% H_2SO_4) в течение 10 суток отходов обогащения Бурибаевского ГОКа, мг/л

Наименование	Eu	Au	Se	Te	Pd	Pt	Ge	Ag
Текущие	0,6	0	0	0	0,81	0,21	0,6	0,09
Фракции серого цвета	0	0,744	643,2	0,09	0,5	0	6,01	22,94

Наименование	Cd	Co	Cu	Fe	Mg	Cr	Zn
Текущие	2,7	0,06	15,9	230,5	81,75	0,18	15
Фракции серого цвета	4,042	н.д.	5128	67,794	н.д.	н.д.	1801

Оптико-минералогические исследования геометрических параметров и состояния поверхности текущих и старогодних хвостов обогащения медно-колчеданных руд позволили выявить, что крупность зерен сульфидных минералов в текущих хвостах больше, чем в старогодних, что объясняется растворением последних в процессе хранения (рис. 2). Поверхность минералов старогодних хвостов сильно изъедена процессами природного выщелачивания. Текущие хвосты представляют собой мелкую сульфидную фракцию, состоящую из пирита (57 %), сфалерита (0,5 %), халькопирита (до 1 %), кварца и других нерудных минералов до (50 %). Крупная фракция хвостов (зерна крупностью +0,25 мм) представлена, в основном, нерудной кварц-полевошпатовой массой с незначительными вкраплениями пирита, халькопирита и сфалерита.

Выполненные исследования свидетельствуют, что хранение хвостов в водной фазе хранилища сопряжено со снижением качества техногенного сырья, увеличением содержания окис-ленных форм (табл. 2). Повышение концентраций ионов тяжелых металлов в сточных водах хвостохранилищ свидетельствует о естественном выщелачивании металлов из хвостов. Процессы выветривания

а) б)

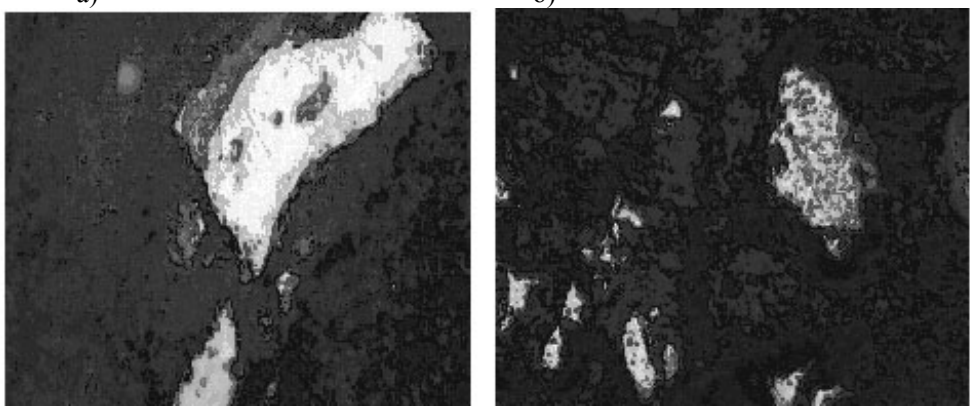

Рис. 2. Зерна сульфидов под бинолупой в аншлифах текущих (а) и лежалых (б) хвостах обогащения медно-колчеданных руд

Таблица 4

Результаты замеров массы и размеров окатышей

Номер пробы	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Масса,г	23	8	11	50	47	30
Диаметр, мм	14	22	34	27	19	25

Таблица 5

Результаты испытаний прочностных характеристик окатышей

Номер пробы	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Прочность сжатия, МПа	4	2	2	5,5	3	3,5

Таблица 6

Результаты испытаний влагопоглощения окатышей

Номер пробы	**Объем воды в мерном цилиндре, мл**				
	исходный	**Через 1ч**	**Через 3 ч**	**Через 6 ч**	**Через 24 ч**
7	100	99	96,5	95	50
13к	100	99,5	96,5	96	51
23к	100	98	95	94,5	50
3	100	99,5	97	96,5	50
17	100	-	-	-	-
11	100	-	-	-	-

и естественного выщелачивания интенсифицируются с течением времени, вследствие более быстрого выщелачивания ионов металлов из окисленных минералов.

В хвостах, слагающих слои серого цвета, происходит концентрация окисленных форм меди и цинка и содержание этих элементов, соответственно в 4,3 и 2,25 раз выше, чем в текущих. В свою очередь, в хвостах, отобранных из слоев буро-желтого цвета, среднее содержание золота выше в 7,5 раз, а серебра в 3,17 раз, чем в слоях серого цвета.

О снижении качества техногенного сырья в процессе хранения свидетельствует также сопоставимый анализ концентрация элементов при выщелачивании в 2 % -ном растворе H_2SO_4 в течение 10 суток текущих и лежалых отходов обогащения, представленных в слоях серо цвета.

Очевидно, что освоение каждого вида техногенных отходов должно предусматривать отдельные решения - параметры и режимы технологий разработки и переработки нетрадиционного минерального сырья, в полной мере учитывающие технологические свойства отходов в соответствии со спецификой их формирования, складирования и хранения.

Основной характеристикой выщелачиваемого массива является его фильтрационная способность, что особенно важно при выщелачивании тонкодисперсного материала – хвостов обогащения медно-колчеданных руд. Присутствие частиц тоньше 1 мм ухудшает фильтрацию растворов, вызывает образование каналов или

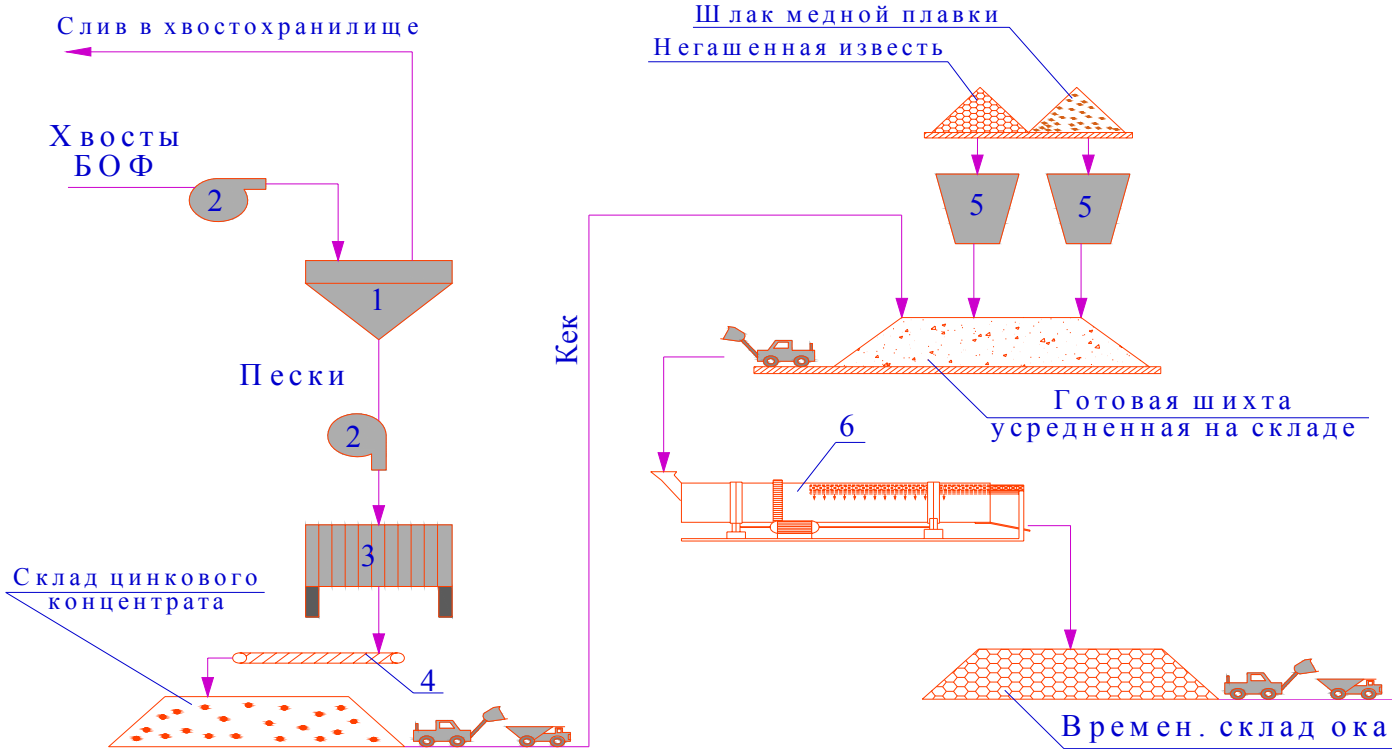

Рис. 3. Схема цепи аппаратов опытно-промышленных испытаний технологии выщелачивания окомкованных хвостов обогащения: *1* – сгуститель рамного типа; *2* – насос; *3* – дисковый вакуум-фильтр; *4* – конвейер обезвоженных хвостов на склад цинкового концентрата; *5* – мельница сухого помола; *6* – барабанный окомкователь; *7* – емкость продуктивного раствора; *8, 9* – напорные емкости выщелачивающего и продуктивного раствора; *10* – цементатор; *11* – емкость для цементной меди с переливом; *12* – экспериментальная сорбционная установка; *13-21* – трубопроводы рабочих растворов

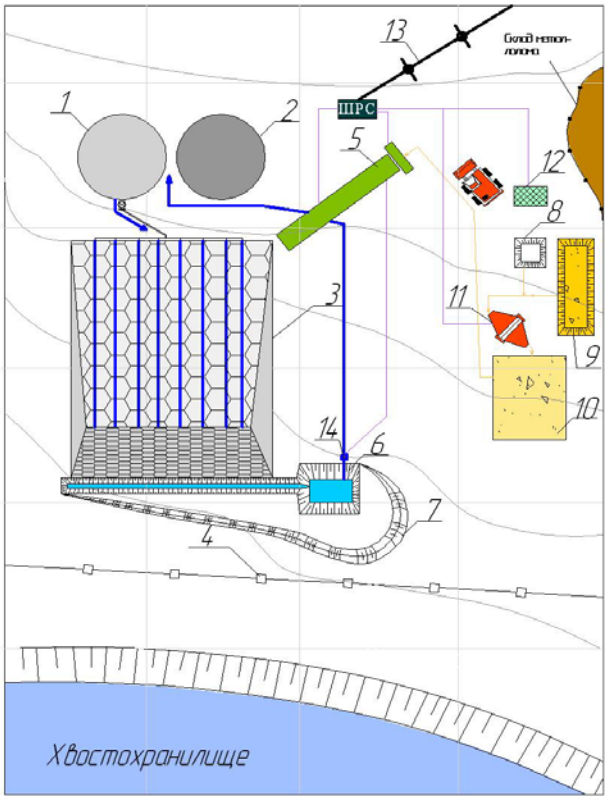

Рис. 4. Расположение основных технологических узлов и оборудования для подготовки сырья к выщелачиванию

закупоренных зон внутри массива, обуславливая увеличение времени выщелачивания и понижение степени извлечения или полное прекращение фильтрации, что ограничивает практические возможности переработки накопленных в огромных количествах в хвостохранилищах отходов. Для обеспечения требуемого режима фильтрации хвосты необходимо подвергать окомкованию.

Исследованиями было показано, что без введения в состав шихты для окомкования дополнительных связующих добавок получить из хвостов гранулы, пригодные для сернокислотного выщелачивания не представляется возможным. Экспериментально путем изменения угла наклона чаши окомкователя, содержания связующих добавок – цемента, негашеной извести и шлака медеплавильного производства и режима их введения в состав шихты был определен оптимальный состав шихты для окомкования хвостов Бурибаевской и Учалинской обогатительных фабрик. Затворителем шихты выступают рудничные воды, имеющие кислую реакцию. Для отходов обогащения Бурибаевской фабрики состав шихты для окомкования по массе: 95 % текущих хвостов, обезвоженных до влажности 8 %, и 5 % тонкоизмельченной просыпи известкового производства. Состав шихты для окомкования текущих хвостов Учалинской обогатительной фабрики по массе: 90 %; свежеизмельченные до класса - 0,074 гранулированный шлак медеплавильного производства – 5 % и негашеная обожженная известь – 5 %.

Приготовленные таким образом окатыши обладают требуемыми для выщелачивания характеристиками: прочностью, пористостью, механической устойчивостью в сернокислых средах. Окатыши выдерживают нагрузку на сжатие 1,2-1,8 МПа. Такое значение при насыпной плотности 2,3 кг/дм^3 соответствует высоте отсыпаемого штабеля до 40 м, а состав шихты на основе хвостов, шлака и извести может быть рекомендован к промышленному внедрению.

Рис. 5. Площадка опытно-промышленных испытаний

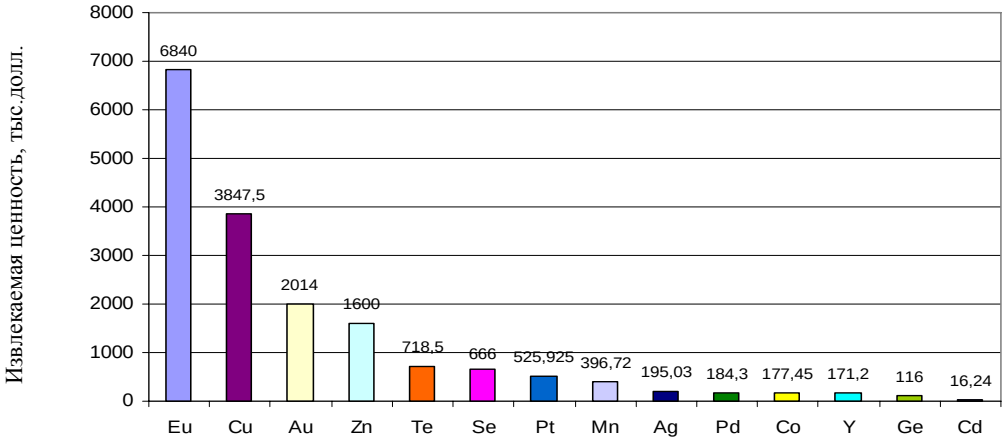

Рис. 6. Извлекаемая ценность элементов при переработке методом выщелачивания 200 тыс. т. текущих хвостов обогащения на Бурибаевском ГОКе

Образующийся в процессе окомкования гипс – продукт реакции извести с серной кислотой, обеспечивает формирование устойчивых в процессе выщелачивания структур. Шлак является связующей добавкой, существенно повышающей прочность окатышей.

Полученные в лабораторных условиях составы шихты для окомкования текущих отходов обогащения были апробированы в условиях ЗАО «Бурибаевский горно-обогатительный комбинат». Схема цепи аппаратов с указанием оборудования, задействованного в ходе опытно-промышлен-ной апробации технологии, представлена на рис. 3. Для проведения испытаний был собран небольшой барабанный окомкователь, производительностью 2 т/ч. На рис. 4 показан план расположения основных технологических узлов на площадке опытных испытаний технологии.

Всего было окомковано и уложено в штабель 60 тонн обезвоженных текущих хвостов обогащения руд Октябрьского месторождения (рис. 5). Полученный массив окатышей пригоден для сернокислотного выщелачивания. Результаты замера массы, прочности и влагопоглощения окатышей представлены в табл. 4–6.

Наступление периода дождей и отрицательных температур не позволило в 2006 году в полном объеме провести работы по опытно-промышленным испытаниям процесса выщелачивания. Однако результаты проведенных работ позволяют утверждать, что сформированный из окатышей штабель оказался устойчив при орошении промышленными водами, взятыми из близлежащего пруда и имеющими pH=2,2. Анализ скола окатышей свидетельствует о диффузии растворителя и вторичном минералообразовании во всем объеме выщелачиваемого куска.

Намеченный объем исследований будет откорректирован с учетом первоначально полученных результатов и продолжен в 2007 году. В случае подтверждения в ходе опытно-промышленных работ полученных в лабораторных исследований в перколяционном режиме выщелачивания окомкованных текущих отходов обогащения данных об извлечении ценных элементов Бурибаевский комбинат при переработке в полном объеме (200 тыс.т/год) хвостов обогатительной фабрики может иметь дополнительно товарную продукцию стоимостью 186 тыс. условных единиц. Сокращение объемов отходов будет способствовать улучшению экологической обстановки в регионе. ГИАБ

Коротко об авторах

Рыльникова М.В. – профессор, доктор технических наук,
Радченко Д.Н. – кандидат технических наук,
ИПКОН РАН, Москва,
Илимбетов А.Ф. – кандидат технических наук, администрация Хайбуллинского района, Башкортостан,
Звягинцев А.Н. – студент V курса, ГОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 19 симпозиума «Неделя горняка-2007».
Рецензент д-р техн. наук, проф. *В.Ж. Аренс.*