

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ



УДК 631.362.33

DOI: 10.53083/1996-4277-2025-254-12-63-68

В.Е. Зубков, Н.П. Семилетова, С.В. Калашников

V.E. Zubkov, N.P. Semiletova, S.V. Kalashnikov

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКОГО БАРАБАННОГО СЕПАРАТОРА

IMPROVEMENT OF THE AIR DISTRIBUTION SYSTEM OF THE PNEUMATIC-MECHANICAL DRUM SEPARATOR

Ключевые слова: воздушный поток, вентилятор, сепарация, пневмомеханический тип, технологический процесс, блокированный псевдоожженный слой, гирлянды, зернистый сыпучий материал, решето, барабан.

Рассматриваются вопросы сепарации сыпучих зернистых материалов в блокированном псевдоожженном слое (БПС). Проведено сравнение свойств стандартного и блокированного псевдоожженных слоев. Отмечена особенность новой сепарирующей системы – блокированного псевдоожженного слоя в том, что в нем путем изменения параметров твердой фазы и воздушного потока можно получать значение «эффективной плотности», промежуточной между плотностями компонентов вороха, поступающего на сепарацию. С целью повышения эффективности работы сепаратора проведены исследования равномерности распределения воздушного потока в сепараторе барабанного типа с БПС в качестве сепарирующей системы. В частности, была исследована односторонняя и двусторонняя подача воздуш-

ного потока в сепаратор. Предпочтительной оказалась двусторонняя подача, которая и была принята за основу. С целью дополнительного повышения равномерности распределения воздушного потока под решеткой крепления гирлянд устанавливалось дополнительное решето с переменным живым сечением, увеличивающимся от центра барабана к его краям. Экспериментальным путем снята эпюра распределения воздушного потока, которая имеет волнобобразную форму по причине изменения живого сечения решетки по ширине барабана, проходившего ступенчато. Анализируя полученные априорные данные, нами была принята следующая гипотеза. С целью выравнивания по ширине барабана выпуклой формы эпюры распределение давлений необходимо разместить в полости барабана, под решеткой крепления гирлянд дополнительное решето, имеющее живое сечение по ширине барабана плавной вогнутой формы. Разработана методика, по которой проведены экспериментальные исследования, в результате которых установлено, что наиболее стабильное распределение давлений по ширине

барабана имеет место на участке верхней части барабана от 90° до 180°, на котором и целесообразно организовывать технологические процессы сепарации сыпучих зернистых материалов различных групп.

Keywords: air flow, fan, separation, pneumatic-mechanical type, technological process, blocked fluidized bed, tension strings, granular bulk material, sieve, drum.

The separation of bulk granular materials in a blocked fluidized bed (BFB) is discussed. The properties of standard and blocked fluidized beds are compared. The key feature of the new separation system - the blocked fluidized bed - is that by varying the solid phase and airflow parameters it is possible to achieve "effective density" intermediate between the densities of the components of the heap being fed. To improve the separator efficiency, we studied the uniformity of airflow distribution in a drum separator using a BFB as the separation system. In particular, we examined single- and double-

Зубков Виктор Егорович, д.т.н., профессор, зав. кафедрой технического сервиса в АПК, ФГБОУ ВО Луганский ГАУ, г. Луганск, Российская Федерация, e-mail: zubkov-viktor@mail.ru.

Семилетова Наталья Павловна, ст. преподаватель, ФГБОУ ВО Луганский ГАУ, г. Луганск, Российская Федерация, e-mail: natalya_semiletova78@mail.ru.

Калашников Сергей Владимирович, аспирант, ФГБОУ ВО Луганский ГАУ, г. Луганск, Российская Федерация, e-mail: kalashnikovsergiy@gmail.com.

Введение

Равномерное распределение воздушного потока, поступающего от вентилятора, по площади рабочей поверхности сепараторов пневмомеханического типа оказывает влияние на качество технологического процесса и осуществляется путем установки под сепарирующей поверхностью сепаратора одного или нескольких распределительных решет, различных «турбулизаторов» и делителей воздушного потока. Кроме того, на подачу и распределение воздушного потока в зоне рабочей площади сепарации материала существенное влияние оказывает общая схема сепаратора (рис. 1).

Рассматриваются вопросы сепарации сыпучих зернистых материалов: вороха крупнозернистых со средними размерами от 30 до 110 мм; среднезернистых со средними размерами от 10 до 30 мм; мелкозернистых со средними размерами от 1 до 10 мм, в блокированном псевдо-

sided airflow supply into the separator. Double-sided supply proved preferable and was adopted as the design basis. To further improve the uniformity of airflow distribution, an additional screen with a variable clear cross-section increasing from the center of the drum to its edges was installed under the tension string mounting frame. An experimental airflow distribution diagram was obtained. It exhibits a wave-like shape due to the step-wise change in the screen effective cross-section across the drum width. Analyzing the obtained a priori data, we adopted the following hypothesis. To equalize the convex shape of the diagram across the drum width, an additional screen with a smooth, concave effective cross-section across the drum width should be placed in the drum cavity under the tension string mounting frame. The methodology was developed for experimental studies which revealed that the most stable pressure distribution across the drum width occurred in the upper portion of the drum, from 90° to 180°, where it was appropriate to organize technological processes for separating bulk granular materials of various groups.

Zubkov Viktor Egorovich, Dr. Tech. Sci., Prof., Lugansk Voroshilov State Agricultural University, Lugansk, Russian Federation, e-mail: zubkov-viktor@mail.ru.

Semiletova Natalya Pavlovna, Asst. Prof., Lugansk Voroshilov State Agricultural University, Lugansk, Russian Federation, e-mail: natalya_semiletova78@mail.ru.

Kalashnikov Sergey Vladimirovich, post-graduate student, Lugansk Voroshilov State Agricultural University, Lugansk, Russian Federation, e-mail: kalashnikovsergiy@gmail.com.

ожиженнем слое (БПС), размещенном на цилиндрической поверхности барабана. Блокированный псевдоожиженный слой от стандартного псевдоожиженного слоя отличается тем, что его зерна в форме дисков через их геометрические центры соединены гибкими нитями в блоки – гирлянды, которые, в свою очередь, крепятся одними концами на воздухораспределительной решетке. Воздушный поток от вентилятора поступает к решетке крепления гирлянд и продувает гирлянды от точек их крепления на решетке к незакрепленным концам. Диски на гирляндах размещены перпендикулярно гибким нитям.

Воздушный поток, проходя через слой гирлянд, испытывает их сопротивление, в связи с чем возникает перепад статического давления в БПС, как в жидкости или в стандартном псевдоожиженнем слое, что и предопределяет возможность разделения в нем тел, имеющих различие в плотности. Ниже представлены сравни-

тельные признаки стандартного и блокированного псевдоожженного слоя (табл.).

Из данных таблицы следует, что стандартный и блокированный псевдоожженные слои имеют различные признаки. Главное отличие состоит в том, что в стандартном псевдоожженном слое сепарации подвергается его твердая фаза, которая является ворохом зернистого сыпучего материала, поступающего на сепара-

цию. Блокированный псевдоожженный слой является двухфазной средой, состоящей из твердой фазы гирлянды и омывающего их воздушного потока. Эта аэромеханическая система путем изменения параметров твердой фазы и воздушного потока настраивается на «эффективную» плотность, промежуточную между плотностями компонентов вороха, поступающего на сепарацию.

Таблица

Сравнительные признаки стандартного и блокированного псевдоожженного слоя

Признаки	Стандартный псевдоожженный слой	Блокированный псевдоожженный слой
1. Силы, уравновешивающие динамическое давление воздушного потока	Силы тяжести зерен	Силы тяжести зерен, нитей и натяжение нитей
2. Ориентация зерен в воздушном потоке	Отсутствуют	Сохраняется заданная нормально воздушному потоку
3. Изменения порозности и живого сечения слоя при нарастании скорости псевдоожжения	Возрастают	Возрастают до натяжения нитей, а затем постоянны
4. Изменение статического давления в слое с увеличением скорости псевдоожжения	В режиме псевдоожжения давление постоянно	Давление возрастает после натяжения нитей
5. Функция изменения статического давления по глубине	Пропорционально глубине в монодисперсном слое	Создается путем изменения геометрических параметров твердой фазы
6. Факторы, препятствующие перемещению сепарируемых тел в слое	Силы внутреннего трения	Гибкие нити и силы внутреннего трения
7. Воздействие твердой фазы на сепарируемое тело	Над телом в «застойной зоне» образуется слой материала, оказывающего механическое давление	Отклоненные гирлянды оказывают давление преимущественно вверх
8. Выгрузка сепарируемых тел из слоя погружаемыми элементами	Возможна	Не возможна

С целью повышения эффективности работы сепаратора нами проводились исследования равномерности распределения воздушного потока в сепараторе барабанного типа с БПС в качестве сепарирующей системы. В частности, нами исследовалась односторонняя и двусторонняя подача воздушного потока в сепаратор. Предпочтительной оказалась двусторонняя подача, которая и была принята за основу.

На перспективные схемы подачи и распределения воздушного потока были получены охранные документы. Основные элементы этих схем приведены на рисунке 1 [1-4].

Кроме того, с целью дополнительного повышения равномерности распределения воздушного потока нами под решеткой крепления гирлянд устанавливалось дополнительное решето

с переменным живым сечением, увеличивающимся от центра барабана к его краям [5]. Живое сечение решета изменялось по следующей схеме (рис. 2). Длина решета, равная ширине барабана, разбивалась на 5 секторов, и в пределах каждого сектора живое сечение было одинаковым (в %), как показано на схеме.

Снятая экспериментальным путем эпюра распределения воздушного потока имела волновообразную форму по причине изменения живого сечения решета по ширине барабана, происходившего ступенчато (рис. 3): 1 – $41 \times 28 \times 21 \times 28 \times 41$; 2 – $41 \times 38 \times 35 \times 32 \times 29 \times 26 \times 23 \times 20$ – живое сечение решетки от боковой стенки барабана до его середины, а от середины барабана до боковой стенки – $20 \times 23 \times 26 \times 29 \times 32 \times 35 \times 38 \times 41$.

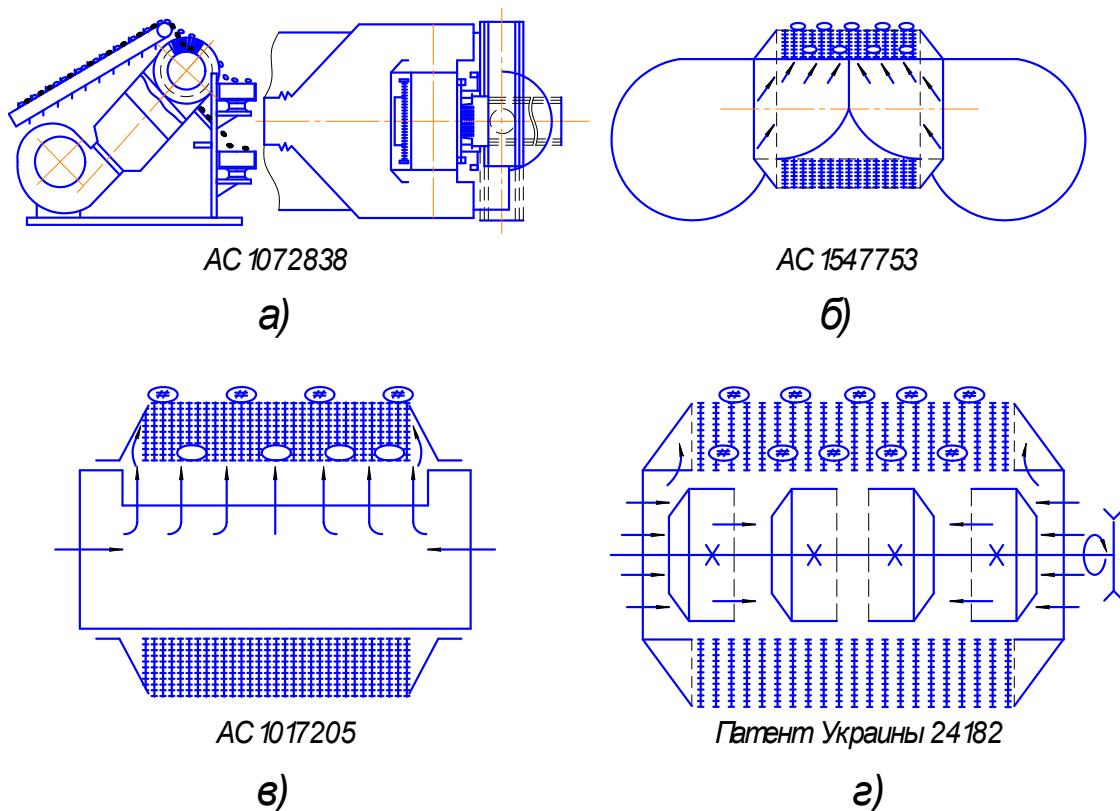


Рис. 1. Перспективные схемы подачи и распределения воздушного потока:

а – между вентилятором и сепарирующим барабаном

б – двусторонняя подача воздуха двумя вентиляторами с направителями потока в полости барабана;

в – схема нивелирования застойных зон у стенок барабана; г – распределение воздушного потока встроенным в полость барабана сепаратором лопастями вентиляторов



Рис. 2. Схема распределения живого сечения решетки по секторам

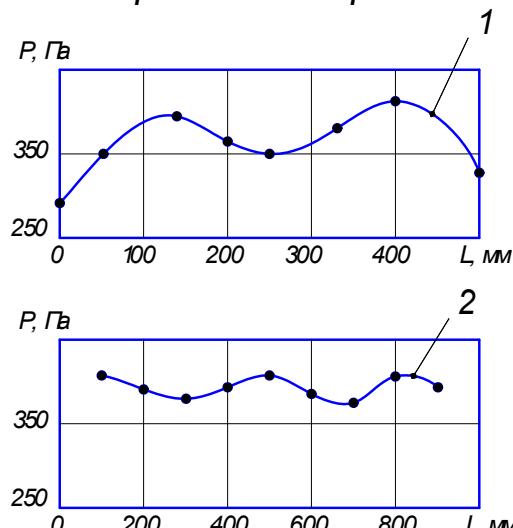


Рис. 3. Эпюры давлений воздушного потока по ширине барабана, при значениях живого сечения воздухохарвесторного решетка, %

Анализируя полученные априорные данные, была принята следующая гипотеза. С целью выравнивания по ширине барабана выпуклой формы эпюры распределение давлений необходимо разместить в полости барабана, под решеткой крепления гирлянд дополнительное решето, имеющее живое сечение по ширине барабана плавной вогнутой формы, так как показано на схеме гипотезы (рис. 4).

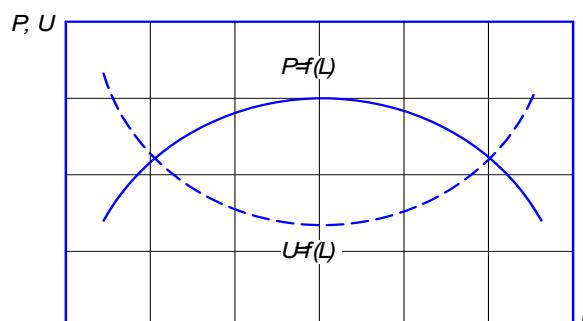


Рис. 4. Схема гипотезы распределения давлений $P = f(L)$ и живого сечения $U = f(L)$ по ширине барабана (L)

Фактическое значение живого сечения воздухораспределительной решетки подбиралось путем анализа априорного материала, полученного нами ранее [6].

Для проведения эксперимента был выполнен расчет живого сечения воздухораспределительной решетки по ширине барабана и изготовлен сектор такой решетки, параметры которого приведены на схеме (рис. 5).

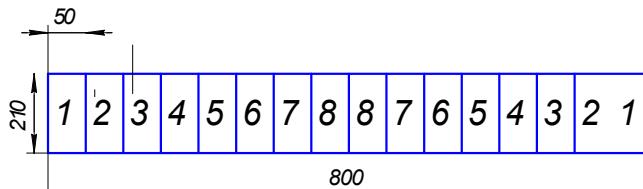


Рис. 5. Схема разбивки сектора решетки на участки

С целью сглаживания эпюры давления по ширине барабана сектор решетки был разбит на 16 одинаковых участков, имеющих следующее живое сечение: 1 – 43,05 см²; 2 – 39,9 см²; 3 – 36,75 см²; 4 – 33,6 см²; 5 – 30,45 см²; 6 – 27,3 см²; 7 – 24,15 см²; 8 – 21 см².

Был принят размер отверстия на воздухораспределительной решетке, равный $d = 1$ см. Количество отверстий n на каждой из восьми полос будет: $n_1 = 54,8$ шт.; $n_2 = 50,8$ шт.; $n_3 = 46,8$ шт.; $n_4 = 42,8$ шт.; $n_5 = 38,8$ шт.; $n_6 = 34,8$ шт.; $n_7 = 30,8$ шт.; $n_8 = 264,8$ шт.

С целью компактного размещения отверстий на воздухораспределительной решетке была принята схема размещения по углам треугольника. По этой схеме на участке с размером 5×21 см на ширине 5 см под углом 30° будут размещены 4 отверстия диаметром 1 см, которые будут составлять один наклонный под углом 30° ряд из четырех отверстий. Количество таких наклонных рядов по длине полосы в 21 см будет, соответственно, по номерам участков: 1 – 14 шт.; 2 – 13 шт.; 3 – 12 шт.; 4 – 11 шт.; 5 – 10 шт.; 6 – 9 шт.; 7 – 8 шт.; 8 – 7 шт.

Изготовленная воздухораспределительная решетка с приведенными выше параметрами устанавливалась на сектор барабана, и были проведены экспериментальные исследования по следующей методике. Для определения давлений по ширине барабана использовался блок датчиков давления, которые размещались по центру сектора рабочей поверхности БПС [7]. Размещенные таким образом датчики позволили фиксировать давление как по образующей, так и по направляющей рабочей поверхности барабана. Результаты опытов представлены на графике (рис. 6), из которого следует, что плавное снижение живого сечения решетки в направлении от боковых стенок барабана к его

центру стабилизирует распределение давлений по его ширине.

С целью определения координат наиболее приемлемого участка БПС, на котором целесообразно организовывать технологический процесс сепарации, проведены опыты по распределению давлений на верхней части барабана от 0° до 180°.

Установлено, что наиболее стабильное распределение давлений по ширине барабана имеет место на участке верхней части барабана от 90° до 180°, на котором и целесообразно организовывать технологические процессы сепарации сыпучих зернистых материалов различных групп (рис. 6).

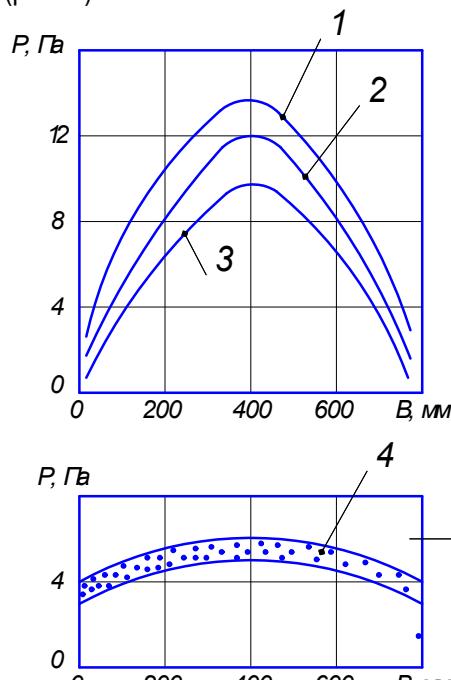


Рис. 6. Распределение давлений (P) по ширине барабана (B)

при различных углах поворота барабана α :

1 – $\alpha = 0^\circ$; 2 – $\alpha = 30^\circ$; 3 – $\alpha = 60^\circ$;
4 – $\alpha = 90 - 180^\circ$

Выводы

1. Особенностью блокированного псевдоожженного слоя является возможность настройки его разделяющей способности – «эффективной плотности» на промежуточные значения между плотностями разделяемых компонентов, что указывает на его универсальность.

2. В результате применения воздухораспределительной решетки, размещаемой над слоем, с живым сечением, уменьшающимся от стенок барабана к его центру от 43,05 до 21%, достигается стабильное распределение давлений воздушного потока по ширине барабана, что, в свою очередь, повышает эффективность процесса сепарации вороха сыпучих материалов.

Библиографический список

1. А. с. 1072838 СССР МКИ Ao1d33/08. Машина для отделения корнеклубнеплодов от комков почвы и камней / В. Е. Зубков, А. С. Алексеев, В. С. Денисов. – № 3419537/30-15; заявлено 07.04.82., опубл. 15.03.83, Бюл. № 18. – Текст: непосредственный.

2. А. с. 1547753 СССР МКИ Ao1d33/08. Отделитель корнеклубнеплодов от комков почвы и камней / В. Е. Зубков. – № 4381206/30-15; заявлено 23.02.88, опубл. 07.03.90, Бюл. № 9. – Текст: непосредственный.

3. А. с. 1017205 СССР МКИ Ao1d33/08. Пневмомеханический отделитель корнеклубнеплодов от комков почвы и камней / В. Е. Зубков, А. С. Алексеев, В. С. Денисов. – № 3419537/30-15; заявлено 07.04.82., опубл. 15.03.83, Бюл. № 18. – Текст: непосредственный.

4. Патент 24/82 Украина Ao1d33/08. Сепаратор коренебульбоплодів від домішок / Зубков В. Е., Коваленко А. В., Лавицкий В. П., Брюховецкий А. Н., опубл. 07.07.1998. – Текст: непосредственный.

5. Osipov D.A., Lebedev I.F., Pavlov A.Y. «Separators due to intensification of centrifugal forces at separation of minerals of different density and coarseness» DOI: <https://doi.org/10.23670/icj.2024.139/88> issue. №1(139), 2024; Suggested: 30.11.2023; Accepted 18.01.2024; Published: 24.01.2024.

6. Зубков, В. Е. Определение рациональных параметров воздухораспределительной системы сепаратора сыпучих зернистых материалов / В. Е. Зубков, О. Л. Кизияров, А. Ю. Полев. –

Текст: непосредственный // Наукоемкие технологии и оборудование в промышленности и строительстве: сборник научных трудов Донбасского государственного технического института. – Алчевск, 2021. – № 22 (65). – С. 84-89.

7. Зубков, В. Е. Совершенствование процесса сепарации корнеклубнеплодов: специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства": диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Зубков Виктор Егорович. – Луганск, 2010. – 451 с. – Текст: непосредственный.

References

- AS 1072838 SSSR MKI Ao1d33/08 "Mashina dlya otdeleniya korneklyubneplosov ot komkov pochvy i kamney. Zubkov V.E., Alekseev A.S., Denisov V.S. No. 3419537/30-15; zayavleno 07.04.82., opubl. 15.03.83, byul. No. 18.
- AS 1547753 SSSR MKI Ao1d33/08 "Otdelitel korneklyubneplosov ot komkov pochvy i kamney". Zubkov V.E. No. 4381206/30-15; zayavleno 23.02.88, opubl. 07.03.90, byul. No. 9.
- AS 1017205 SSSR MKI Ao1d33/08 "Pnevmomekhanicheskiy otdelitel korneklyubneplosov ot komkov pochvy i kamney". Zubkov V.E., Alekseev A.S., Denisov V.S. No. 3419537/30-15; zayavleno 07.04.82., opubl. 15.03.83, byul. No. 18.
- Patent 24/82 Ukraina Ao1d33/08 "Separator korenelybulboplodiv vid domishok" Zubkov V.E., Kovalenko A.V., Lavitskiy V.P., Bryukhovetskiy A.N., opubl. 07.07.1998.
- Osipov D.A., Lebedev I.F., Pavlov A.Y. "Separators due to intensification of centrifugal forces at separation of minerals of different density and coarseness" DOI: <https://doi.org/10.23670/icj.2024.139/88>. No. 1 (139), 2024; Suggested: 30.11.2023; Accepted 18.01.2024; Published: 24.01.2024.
- Zubkov V.E., Kiziyarov O.L., Polev A.Yu. Opredelenie ratsionalnykh parametrov vozdukhospredelitelnoy sistemy separatora sypuchikh zernistykh materialov // Sbornik nauchnykh trudov GOУ BPO LNR DOGTI. – 2021. – Vyp. 65. – S. 84-89.
- Zubkov, V. E. Sovershenstvovanie protsesssa separatsii korneklyubneplosov: spetsialnost 05.20.01 "Tekhnologii i sredstva mekhanizatsii selskogo khozyaystva": dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni doktora tekhnicheskikh nauk / Zubkov Viktor Egorovich. – Lugansk, 2010. – 451 s.

