

УДК 628.511.132:711.554

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЫЛИ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ НА ЗАПЫЛЕННОСТЬ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Татов А.С., Сидякин П.А., Чернов П.С., Коновалова Ю.В.

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», Пятигорск, e-mail: sidyakin_74@mail.ru

Состояние атмосферного воздуха в современных городах является одним из наиболее важных факторов, определяющих уровень экологической безопасности городских территорий. Содержание пылевых частиц в атмосферном воздухе существенно различается по своим характеристикам (концентрация, размеры частиц, физические, химические и биологические характеристики пыли) для различных территорий даже в пределах одного населенного пункта. Одним из наиболее значительных источников формирования запыленности территорий являются промышленные предприятия. Нами проводятся исследования вклада предприятий по производству хлебобулочных изделий в общую запыленность прилегающих территорий. Целью представленной работы являлось исследование аэродинамических свойств частиц пыли предприятий по производству хлебобулочных изделий. На основании выполненных исследований установлено, что крупность оседающих пылевых частиц со временем уменьшается. Таким образом, более крупные пылевые частицы содержатся в атмосферном воздухе на прилегающих к источнику загрязнения территориях, а более мелкие фракции, представляющие наибольшую опасность для здоровья человека, способны распространяться на значительные расстояния от источника загрязнения. Одним из основных требований к пылеулавливающему оборудованию должна быть его способность улавливать мелкодисперсную пыль. При определении санитарно-защитной зоны для предприятий по производству хлебобулочных изделий рекомендуется учитывать аэродинамические характеристики пищевой пыли.

Ключевые слова: скорость оседания, пыль, запыленность, экспериментальные исследования

THE STUDY OF THE INFLUENCE OF AERODYNAMIC DUST CHARACTERISTICS OF FOOD PRODUCTION ON DUSTY URBAN AREAS

Tatov A.S., Sidiyakin P.A., Chernov P.S., Konovalova Yu.V.

North-Caucasus Federal University, Pjatigorsk, e-mail: sidyakin_74@mail.ru

The condition of air in modern cities is one of the most important factors determining the level of ecological safety of urban areas. The content of the dust particles in the ambient air varies significantly in their characteristics (concentration, particle size, physical, chemical and biological characteristics of the dust) for different areas even within the same locality. One of the most significant sources of dust areas are industrial enterprises. We carry out research on the contribution of enterprises producing bakery products on dustiness of surrounding areas in general. The aim of the present work is to study the aerodynamic properties of the dust particles of enterprises for the bakery products production. Because of this research, we have found that the size of settling dust particles decreases over time. Thus, the larger dust particles can be contained in the ambient air adjacent to the source of the contaminated areas, and smaller fractions that represent the greatest risk to human health can travel considerable distances from the source of contamination. One of the main requirements for dust control equipment should be its ability to capture fine dust. In determining the sanitary protection zone for enterprises of bakery products production it is recommended to take into account the aerodynamic characteristics of food dust.

Keywords: sedimentation rate, dust, dustiness, experimental studies

Для обеспечения требуемого уровня экологической безопасности объектов городского хозяйства необходимо проводить комплекс мероприятий по контролю и мониторингу их состояния [5,10], а также изучать закономерности формирования различных факторов, оказывающих негативное воздействие на элементы окружающей среды [3, 6, 9]. Состояние атмосферного воздуха в современных городах является одним из наиболее важных факторов, определяющих уровень экологической безопасности городских территорий [5]. Нормирование запыленности атмосферного воздуха городских территорий предусматривает ограничение максимально разового, среднесуточного и среднегодового содержания

пыли в атмосфере. Причем, начиная с 2010 г. нормируется содержание не только общей концентрации пыли, но и отдельно содержание мелкодисперсных частиц с размером менее 10 мкм (PM_{10}) и менее 2,5 мкм ($PM_{2,5}$) (ГН 2.1.6.2604-10).

Содержание пылевых частиц, как в атмосферном воздухе, так и в воздухе помещений, существенно различается по своим характеристикам (концентрация, размеры частиц, физические, химические и биологические характеристики пыли) для различных территорий и зданий даже в пределах одного населенного пункта [4, 7, 8, 11, 14, 15]. Одним из наиболее значительных источников формирования запыленности территорий современных городов являются

промышленные предприятия. Нами проводятся исследования вклада предприятий по производству хлебобулочных изделий в общую запыленность прилегающих территорий [12]. Актуальность данных исследования обусловлена тем, что:

данные предприятия располагаются практически во всех городах;

– пищевая пыль помимо традиционного фиброгенного действия на органы дыхания, при попадании в организм способна оказывать также и биологическое воздействие.

В данной работе представлены экспериментальные исследования аэродинамических характеристик пищевой пыли (отобранной в зоне действия хлебокомбината). Исследования основных свойств пылевых частиц позволяют обосновывать подбор пылеулавливающего оборудования для конкретного производства, а следовательно, существенно уменьшать поступление пыли в атмосферный воздух.

Результаты исследования и их обсуждение

Определение аэродинамических характеристик пыли необходимо при проектировании конструктивных особенностей пылеулавливающих аппаратов для достижения их максимальной эффективности.

К основным аэродинамическим параметрам пыли относятся эквивалентный диаметр пылевых частиц, геометрический коэффициент формы, скорость витания пылевых частиц, скорость оседания и т.п. Эквивалентный диаметр пылевой частицы неправильной формы представляет собой диаметр шара с объемом равным объему исследуемой частицы, или же диаметр круга с площадью равной площади проекции пылевой частицы. Эквивалентный диаметр вычисляется по формуле

$$d_3 = \sqrt[3]{V_{\text{ч}} \cdot 6 / \pi}, \quad (1)$$

где $V_{\text{ч}}$ – объем вещества пылевой частицы.

В пылеулавливании размеры пылевых частиц характеризуют величиной, которая определяет скорость ее осаждения. Данной величиной является седиментационный диаметр частицы, то есть диаметр шара, значения скорости осаждения и плотности которого равны скорости осаждения и плотности пылевой частицы неправильной формы [13].

Коэффициент формы пылевой частицы $k_{\text{ф}}$ показывает разницу между ее фактическим размером $d_{\text{ф}}$ и эквивалентным диаметром пылевой частицы d_3 :

$$k_{\text{ф}} = d_{\text{ф}} / d_3. \quad (2)$$

Скорость витания пылевой частицы представляет собой скорость потока, при

которой частица будет находиться в равновесии [13].

Исследование аэродинамических свойств частиц пыли выполнялось при использовании метода двойного пофракционного оседания с последующим анализом ее дисперсного состава и построением зависимостей скорости оседания от эквивалентного диаметра частицы пыли в вероятностно-логарифмической сетке.

Данный метод основывается на диспергировании анализируемой пробы измельченного материала в верхней части столба дисперсионной среды. Фракции наиболее тяжелых и крупных частиц из верхнего слоя дисперсионной среды выпадают в первую очередь. Пройдя за определенное время (τ) высоту столба (H), они оседают на дне седиментационного цилиндра. Скорость оседания частиц определяется по формуле

$$\omega = H / \tau. \quad (3)$$

Зная скорость оседания, всегда можно найти наименьший диаметр осевших к моменту τ частиц и по массе осадка определить процент частиц с диаметром меньше δ .

Перед выполнением эксперимента пыль, отобранная на территории хлебокомбината, просушивалась, взвешивались пробы по 50 мг, наносились на чистый лист бумаги и равномерно по нему распределялись. Навеску исследуемой пыли, равномерно распределённую по листу бумаги, пропускали через верхнюю часть седиментационного цилиндра, где под действием силы тяжести частицы оседали в неподвижном воздухе. Частицы с различной скоростью падения оседали на бумажной ленте, уложенной на ленточный транспортер. Лента транспортера рывком перемещалась на величину диаметра седиментационного цилиндра за равные промежутки времени, которые составляют 2, 4, 6, 8, 10, 12 секунд. После каждого опыта производилось определение массы осевшей пыли. Затем выполнялся анализ дисперсного состава пыли, выделяющейся на предприятии по производству хлебобулочных изделий методом микроскопии [1, 2]. С помощью компьютерной программы по площади, занимаемой пылевидной частицей, рассчитывается её медианный диаметр и определяется количество частиц различного размера. Математическая обработка полученных результатов выполнялась в соответствии с методикой [2].

Результаты цифрового фотографирования увеличенных под микроскопом частиц пыли до и после обработки программой AdobePhotoShop 4.0 представлены на рис. 1–6.

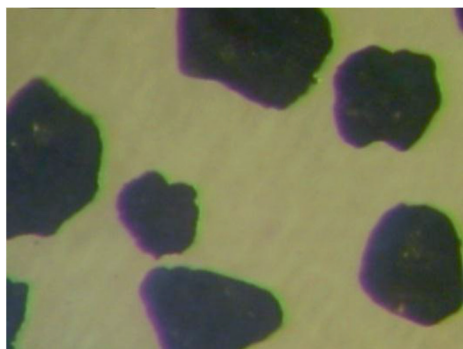


Рис. 1. Пылеоседание частиц через 2 с

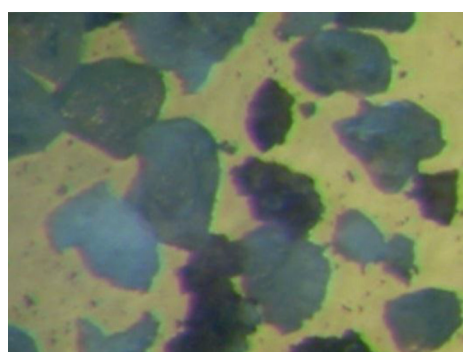


Рис. 2. Пылеоседание частиц через 4 с

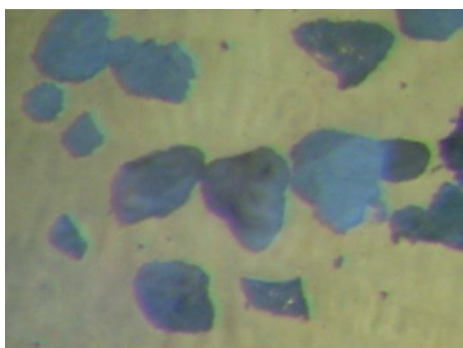


Рис. 3. Пылеоседание частиц через 6 с

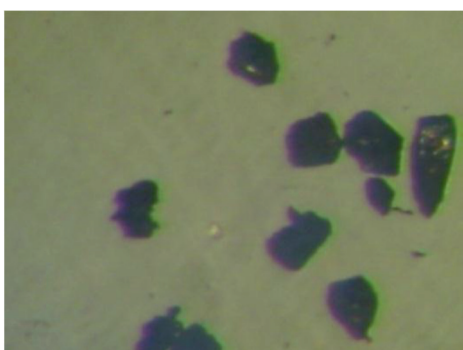


Рис. 4. Пылеоседание частиц через 8 с

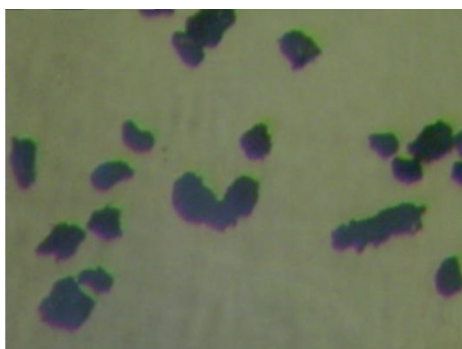


Рис. 5. Пылеоседание частиц через 10 с

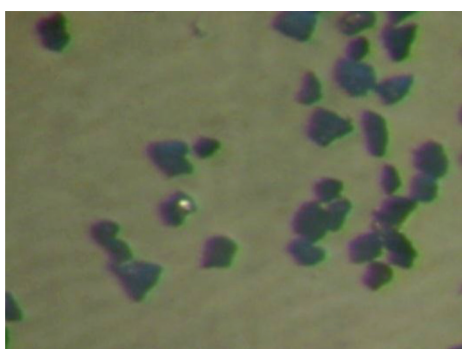


Рис. 6. Пылеоседание частиц через 12 с

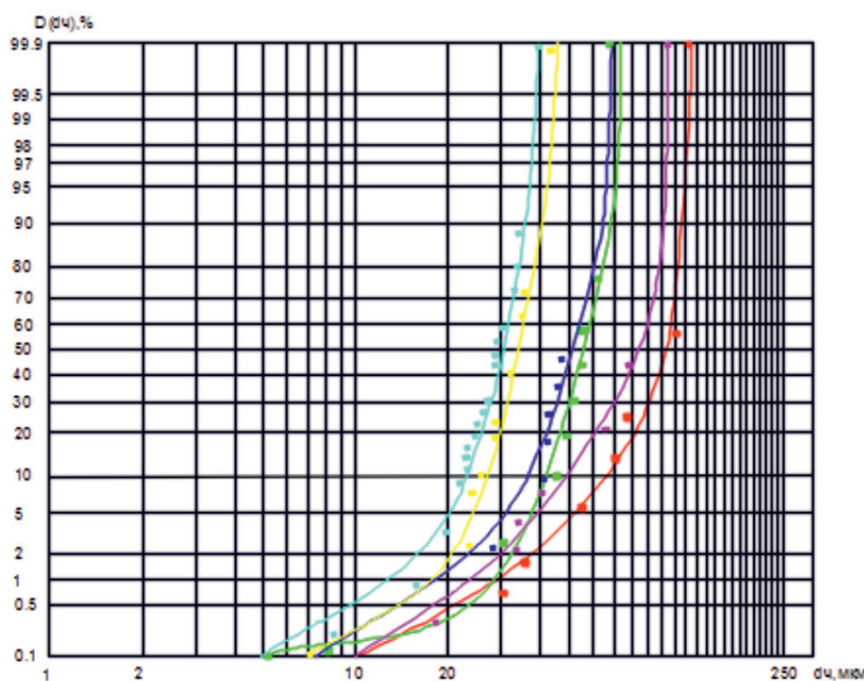


Рис. 7. Интегральные кривые массы частиц пыли по диаметрам, представленные в вероятностно-логарифмической сетке: ■ – для частиц пыли, представленных на рис. 1; ■ – для частиц пыли, представленных на рис. 2; ■ – для частиц пыли, представленных на рис. 3; ■ – для частиц пыли, представленных на рис. 4; ■ – для частиц пыли, представленных на рис. 5; ■ – для частиц пыли, представленных на рис. 6

Скорости витания частиц

Время, с	2	4	6	8	10	12
d_{50} , мкм	123,3	103,9	103	70,5	42	38
Скорость витания, м/с	0,74	0,37	0,25	0,19	0,148	0,12

Результаты анализа дисперсного состава пыли, осевшей за различные периоды времени, представлены в виде интегральных кривых массы частиц по диаметрам в вероятностно-логарифмической сетке на рис. 7.

Таким образом, медианный диаметр частиц пыли, осевших через 2 с, составляет 123,3 мкм; через 4 с – 103,9 мкм; через 6 с – 103 мкм; через 8 с – 70,5 мкм; через 10 с – 42 мкм; через 12 с – 38 мкм. Результаты расчетов, скорости витания частиц, выполненные по формуле (1), сведены в таблицу.

На основании представленных результатов исследований установлено, что крупность оседающих пылевых частиц с течением времени уменьшается. Учитывая данные распределения частиц пыли по диаметрам, представленные в работе [12], можно сделать вывод, что более мелкие частицы пыли, прежде всего относящиеся в фракциям PM_{10} и $PM_{2,5}$, способны распространяться на значительные расстояния от источников загрязнения, таким образом, проектируя пылеулавливающее оборудование, следует обращать особое внимание на улавливание данных частиц для предотвращения их поступления в атмосферный воздух. Таким образом, при уточнении границ санитарно-защитных зон данных предприятий необходимо учитывать возможные распространения мелкодисперсной пыли на значительные удаления от источников загрязнения.

Выводы

1. При проектировании конструкции пылеулавливающих устройств для предприятий по производству хлебобулочных изделий необходимо учитывать аэродинамические характеристики пыли (эквивалентный диаметр, геометрический коэффициент формы, скорость витания частицы и т.п.), с целью повышения их эффективности и снижения запыленности атмосферного воздуха.

2. Крупность оседающих пылевых частиц со временем уменьшается. Таким образом, более крупные пылевые частицы содержатся в атмосферном воздухе на прилегающей к источнику загрязнения территории, более мелкие фракции, представляющие наибольшую опасность для здоровья

человека, способны распространяться на значительные расстояния от источника загрязнения.

3. Одним из основных требований к пылеулавливающему оборудованию должна быть его способность улавливать мелкодисперсную пыль.

4. При определении санитарно-защитной зоны для предприятий по производству хлебобулочных изделий рекомендуется учитывать аэродинамические характеристики пищевой пыли.

Список литературы

1. Азаров В.Н. Дисперсный анализ методом микроскопии с применением ПЭВМ [Текст] / В.Н. Азаров, А.В. Ковалева, Н.М. Сергина // Экологическая безопасность и экономика городских и теплоэнергетических комплексов: материалы международной научно-практической конференции. – Волгоград: ВолгГАСА, 1999. – С. 76.
2. Азаров В.Н. Методика микроскопического анализа дисперсного состава пыли с применением персонального компьютера (ПК) [Текст] / В.Н. Азаров, В.Ю. Юрская, Н.М. Сергина // Законодательная и прикладная метрология. – 2004. – № 1. – С. 46–48.
3. Азаров В.Н. Методика сводных расчетов загрязнения атмосферы в системе управления и градостроительных решений [Текст] / В.Н. Азаров, С.А. Кошкарёв, П.А. Сидякин // Современная наука и инновации. – 2013. – № 1. – С. 34–43.
4. Азаров В.Н. Обеспечение безопасности воздушной среды помещений по производству деревянных строительных конструкций [Текст] / В.Н. Азаров, П.А. Сидякин, С.И. Эмба // Интернет-Вестник ВолгГАСУ. – 2013. – № 2 (27). – С. 35.
5. Азаров В.Н. Техногенное загрязнение атмосферного воздуха и его влияние на социально-экологическое благополучие городов-курортов Кавказских Минеральных Вод [Текст] / В.Н. Азаров, П.А. Сидякин, Т.Н. Лопатина // Социология города. – 2014. – № 1. – С. 28–37.
6. Лебедева С.А. Исследования влияния шумовых нагрузок на социально-экологическое благополучие городов-курортов КМВ [Текст] / С.А. Лебедева, П.А. Сидякин, Д.В. Щитов // Инженерный вестник Дона. – 2015. – Т. 35. – № 2–1. – С. 40.
7. Сидякин П.А. Дорожно-строительные работы как источник пылевого загрязнения воздушной среды [Текст] / П.А. Сидякин, Н.А. Маринин, С.В. Шульга // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. – 2014. – № 2 (15). – С. 72–76.
8. Сидякин П.А. Защита атмосферного воздуха от запыленности при проведении демонтажа зданий и сооружений [Текст] / П.А. Сидякин, И.З. Магомадов, Р.Р. Палатов // Технологии гражданской безопасности. – 2014. – Т. 11. – № 2 (40). – С. 88–91.
9. Сидякин П.А. О радиационно-экологической обстановке в урбанизированных территориях городов-курортов Кавказских Минеральных Вод [Текст] / П.А. Сидякин,

Д.В. Щитов, Н.А. Фоменко // Инженерный вестник Дона. – 2015. – Т. 33. – № 1–1. – С. 16.

10. Сидякин П.А., Лопатина Т.Н., Калюжина Е.А., Нестерчук А.В., Вахилевич Н.В. Организация мониторинга содержания мелкодисперсных частиц пыли в воздушной среде городов-курортов // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1–1.; URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=18499>.

11. Сидякин П.А. Совершенствование систем обеспыливания на предприятиях деревообрабатывающей отрасли [Текст] / П.А. Сидякин, С.И. Экба, Д.П. Боровков // Международное научное издание «Альтернативная энергетика и экология». – 2013. – № 11 (133). – С. 67–70.

12. Сидякин П.А. Экспериментальные исследования запыленности атмосферного воздуха в зоне действия хлебопекарни [Текст] / П.А. Сидякин, А.С. Татов, П.С. Чернов // Международное научное издание «Современные фундаментальные и прикладные исследования». – 2016. – № 3 (22). – С. 75–80.

13. Штокман Е.А. Вентиляция, кондиционирование и очистка воздуха на предприятиях пищевой промышленности. – М.: АСВ, 2001. – 564 с.

14. Экба С.И. Исследования процессов распространения и оседания пыли в производственных помещениях деревообрабатывающих предприятий [Текст] / С.И. Экба, П.А. Сидякин, Э.Г. Янукия // Международное научное издание «Современные фундаментальные и прикладные исследования». – 2016. – № 3 (22). – С. 80–84.

15. Экба С.И. Оценка запыленности воздуха на рабочих местах при производстве строительных конструкций из древесины [Текст] / С.И. Экба, П.А. Сидякин, И.С. Алехина // Инженерный вестник Дона. – 2015. – Т. 33. – № 1–1. – С. 35.

References

1. Azarov V.N. Dispersnyj analiz metodom mikroskopii s primeneniem PJeVM [Текст] / V.N. Azarov, A.V. Kovaleva, N.M. Sergina // Jekologicheskaja bezopasnost i jekonomika gorodskih i teploenergeticheskikh kompleksov: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Volgograd: VolgGASA, 1999. pp. 76.

2. Azarov V.N. Metodika mikroskopicheskogo analiza dispersnogo sostava pyli s primeneniem personalnogo kompjutera (PK) [Текст] / V.N. Azarov, V.Ju. Jurkjan, N.M. Sergina // Zakonodatelnaja i prikladnaja metrologija. 2004. no. 1. pp. 46–48.

3. Azarov V.N. Metodika svodnyh raschetov zagriznenija atmosfery v sisteme upravlenija i gradostroitelnyh reshenij [Текст] / V.N. Azarov, S.A. Koshkarev, P.A. Sidjakin // Sovremennaja nauka i innovacii. 2013. no. 1. pp. 34–43.

4. Azarov V.N. Obespechenie bezopasnosti vozduшной среды помешhenij по производству дrevjannyh stroitelnyh

konstrukcij [Текст] / V.N. Azarov, P.A. Sidjakin, S.I. Jekba // Internet-Vestnik VolgGASU. 2013. no. 2 (27). pp. 35.

5. Azarov V.N. Tehnogennoe zagriznenie atmosfernogo vozduha i ego vlijanie na socialno-jekologicheskoe blagopoluchie gorodov-kurortov Kavkazskih Mineralnyh Vod [Текст] / V.N. Azarov, P.A. Sidjakin, T.N. Lopatina // Sociologija goroda. 2014. no. 1. pp. 28–37.

6. Lebedeva S.A. Issledovanija vlijanija shumovyh nagruzok na socialno-jekologicheskoe blagopoluchie gorodov-kurortov KMV [Текст] / S.A. Lebedeva, P.A. Sidjakin, D.V. Shhitov // Inzhenernyj vestnik Dona. 2015. T. 35. no. 2–1. pp. 40.

7. Sidjakin P.A. Dorozhno-stroitelnye raboty kak istochnik pylеvogo zagriznenija vozduшной среды [Текст] / P.A. Sidjakin, N.A. Marinin, S.V. Shulga // Vestnik SGASU. Gradostroitelstvo i arhitektura. 2014. no. 2 (15). pp. 72–76.

8. Sidjakin P.A. Zashhita atmosfernogo vozduha ot zapylenosti pri provedenii demontazha zdaniy i sooruzhenij [Текст] / P.A. Sidjakin, I.Z. Magomadov, R.R. Palatov // Tehnologii grazhdanskoj bezopasnosti. 2014. T. 11. no. 2 (40). pp. 88–91.

9. Sidjakin P.A. O radiacionno-jekologicheskoy obstanovke v urbanizirovannyh territorijah gorodov-kurortov Kavkazskih Mineralnyh Vod [Текст] / P.A. Sidjakin, D.V. Shhitov, N.A. Fomenko // Inzhenernyj vestnik Dona. 2015. T. 33. no. 1–1. pp. 16.

10. Sidjakin P.A., Lopatina T.N., Kaljuzhina E.A., Nesterchuk A.V., Vahilevich N.V. Organizacija monitoringa sodержanija melkodispersnyh chastic pyli v vozduшной среде gorodov-kurortov // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2015. no. 1–1.; URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=18499>.

11. Sidjakin P.A. Sovershenstvovanie sistem obespylivanija na predpriyatijah derevoobrabatyvajushhej otrasli [Текст] / P.A. Sidjakin, S.I. Jekba, D.P. Bоровков // Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal Alternativnaja jenergetika i jekologija. 2013. no. 11 (133). pp. 67–70.

12. Sidjakin P.A. Jeksperimentalnye issledovanija zapylenosti atmosfernogo vozduha v zone dejstvija hlebozavoda [Текст] / P.A. Sidjakin, A.S. Tатов, P.S. Chernov // Mezhdunarodnoe nauchnoe izdanie Sovremennye fundamentalnye i prikladnye issledovanija. 2016. no. 3 (22). pp. 75–80.

13. Shtokman E.A. Ventiljacija, kondicionirovanie i oshchitka vozduha na predpriyatijah pishhevoj promyshlennosti. M.: ASV, 2001. 564 p.

14. Jekba S.I. Issledovanija processov rasprostranenija i osedanija pyli v proizvodstvennyh pomeshhenijah derevoobrabatyvajushhih predpriyatij [Текст] / S.I. Jekba, P.A. Sidjakin, Je.G. Janukjan // Mezhdunarodnoe nauchnoe izdanie Sovremennye fundamentalnye i prikladnye issledovanija. 2016. no. 3 (22). pp. 80–84.

15. Jekba S.I. Ocenka zapylenosti vozduha na rabochnih mestah pri proizvodstve stroitelnyh konstrukcij iz drevesiny [Текст] / S.I. Jekba, P.A. Sidjakin, I.S. Alehina // Inzhenernyj vestnik Dona. 2015. T. 33. no. 1–1. pp. 35.