МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ФЛАГМАН НАУКИ

РЕКВИЗИТЫ ОРГАНИЗАЦИИ-УЧРЕДИТЕЛЯ ЖУРНАЛА
ИНН:7814259245 |КПП:781401001| ОГРН:1157800003382 |
ОКПО:23083431 |+7(812)9052909
сайт: flagmannauki.ru | e-mail: info@flagmannauki.ru

30.07.2025 № 07_25/ 68

С П Р А В К А
о прохождении экспертизы и
принятии материалов к публикации

Статья «Моделирование рассеивания загрязняющих веществ от промышленного источника: пример предприятия электроники» (автор – Нгуен Фыонг Донг) принята к публикации в международном научном журнале «Флагман науки» (Июль 2025), ISSN 2949-1991.

Выходные данные работы:

Нгуен Ф.Д. Моделирование рассеивания загрязняющих веществ от промышленного источника: пример предприятия электроники //Флагман науки: научный журнал. Июль 2025.-СПб., Изд.ГНИИ "Нацразвитие"-2025. №7(30).

После выхода журнал публикуется на сайте электронной библиотеки Elibrary.ru.

Директор ГНИИ «Нацразвитие» С.В. Викторенкова

Место для печати

Нгуен Фыонг Донг, Доктор,
Ханойский Горно-геологический университет
Nguyen Phuong Dong**,** Doctor,
Hanoi University of Mining and Geology

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССЕИВАНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ОТ ПРОМЫШЛЕННОГО ИСТОЧНИКА: ПРИМЕР ПРЕДПРИЯТИЯ ЭЛЕКТРОНИКИ
SIMULATION OF POLLUTANT DISPERSION FROM AN INDUSTRIAL SOURCE: A CASE STUDY OF AN ELECTRONICS FACILITY

Аннотация. В данной статье представлены результаты применения модели атмосферного рассеивания AERMOD для моделирования и оценки влияния выбросов от предприятия прецизионной электроники Hop Chi на качество воздуха. Результаты моделирования рассеивания твердых частиц и газообразных выбросов показывают, что даже при работе предприятия на полной мощности и при отсутствии системы очистки выбросов, концентрации большинства загрязняющих веществ в атмосфере остаются значительно ниже допустимых пределов, установленных в национальном техническом регламенте QCVN 05:2023/BTNMT.

Abstract. This paper presents the results of applying the AERMOD dispersion model to simulate and assess the air quality impacts of emissions from the Hop Chi precision electronics factory project. The simulation results of particulate matter and gaseous emissions dispersion indicate that, even under conditions of full-capacity operation and in the absence of an exhaust gas treatment system, the ambient concentrations of most pollutants remain significantly lower than the permissible limits stipulated in the national technical regulation QCVN 05:2023/BTNMT.

Ключевые слова: Электроника, загрязнение, моделирование, атмосферный воздух.
Keywords: Electronics, pollution, modeling, air environment.

Введение

В условиях индустриализации и модернизации, промышленность Вьетнама неуклонно расширялась, производя разнообразный ассортимент товаров для обеспечения возрастающих потребностей общества. Развитие и расширение промышленных зон и заводов, как по масштабам, так и по количеству, положительно повлияли на социально-экономическую ситуацию, а также создали возможности для трудоустройства большого числа работников. В настоящее время промышленная деятельность в индустриальных и промышленных кластерах преимущественно сосредоточена в отраслях тяжёлой промышленности, таких как машиностроение, металлургия, производство строительных материалов и электронная инженерия. Хотя вьетнамская электронная промышленность появилась относительно поздно, в последние годы она достигла заметного прогресса и демонстрирует устойчивые темпы роста, играя всё более важную роль в структуре промышленного производства. Эта отрасль сосредоточена преимущественно в дельте Красной реки – в Ханое и прилегающих провинциях (Бакнинь, Хайзыонг, Хынгйен), а также в юго-восточном регионе, особенно в городе Хошимин и провинции Донгнай.

Тем не менее, данная отрасль характеризуется высоким уровнем образования отходов, в частности выбросов в атмосферу, что может привести к ухудшению состояния окружающей среды и здоровья населения. Источниками загрязнения воздуха на предприятиях электронной промышленности являются разнообразные технологические процессы, в ходе которых в атмосферу могут выбрасываться опасные вещества, такие как металлическая пыль, летучие

органические соединения (ЛОС), кислоты и другие вредные вещества. В связи с этим, моделирование и пространственное прогнозирование рассеивания загрязняющих веществ, а также оценка концентраций загрязняющих веществ по сравнению с нормативными пороговыми значениями качества окружающего воздуха имеют важное значение, особенно важно при эксплуатации действующих и проектируемых производств.

Модель AERMOD представляет собой широко распространённый во всём мире инструмент для моделирования рассеивания загрязняющих веществ от промышленных источников. В частности, Kurman и др. [1] использовали эту модель для моделирования рассеивания загрязнений от промышленной деятельности в Одише, Индия. Кроме того, модель AERMOD применялась для оценки воздействия промышленных предприятий на загрязнение воздуха в таких странах, как Турция, Италия, Ирак и Китай [2-4]. Во Вьетнаме модель AERMOD также активно применяется для оценки и управления качеством атмосферного воздуха [5-8]. Эти исследования подтверждают пригодность AERMOD для оценки воздействия промышленных выбросов и высокую надёжность получаемых данных.

Завод прецизионной электроники «Хоп Чи», расположенный в промышленной зоне Джиа Фу, коммуна Джиа Хынг, провинция Ниньбинь, представляет собой новое построенное предприятие для производства различных металлических, алюминиевых, пластиковых, электронных и машиностроительных изделий. В процессе эксплуатации предприятия будут образовываться пыль и выбросы от участков сварки, покраски, сушки, термопрессования, а также от обработки поверхностей, удаления заусенцев и других производственных операций. Для оценки и прогнозирования потенциального воздействия этих выбросов на окружающую среду, в исследовании применяется модель AERMOD для моделирования распространения загрязняющих веществ с расчётом максимальных концентраций за 1 час, 24 часа и среднегодовых значений.

Методы исследования

Весь процесс исследования структурирован следующими последовательными этапами:

– Разработка входного набора данных для моделирования, включая метеорологические данные, данные о выбросах загрязняющих веществ, топографическую информацию и данные карты землепользования;

– Построение сценариев и выполнение моделирования рассеивания загрязняющих веществ в окружающей атмосфере;

– Создание карт пространственного распределения концентраций загрязняющих веществ;

– Оценка результатов моделирования и их сопоставление с действующими экологическими стандартами и нормативами.

Система моделирования включает в себя базовую модель рассеивания (AERMOD) и два модуля предварительной обработки (AERMET и AERMAP). Метеорологический модуль AERMET предоставляет модели AERMOD необходимые атмосферные параметры для характеристики планетарного пограничного слоя (ППС). Модуль AERMAP, предназначенный для обработки топографических данных, одновременно описывает характеристики рельефа и формирует приёмную сетку, необходимую для моделирования рассеивания AERMOD.

Область исследования расположена в промышленной зоне Джиа Фу, коммуна Джиа Хынг, провинция Ниньбинь. Топографические данные, использованные в процессе моделирования, были получены из цифровой модели рельефа (SRTM DEM) с пространственным разрешением 90 метров, разработанной совместно Национальным управлением по аэронавтике и исследованию космического пространства (NASA) и Национальным агентством геопространственной разведки США (NGA). Эти данные были дополнительно обработаны с помощью модуля AERMAP для формирования совместимого с

моделью AERMOD входного массива рельефных данных. Вычислительная область исследования была определена с помощью равномерной декартовой сетки (Uniform Cartesian Grid), в которой приёмные точки равномерно распределены по направлениям восток–запад и север–юг. Каждая ось была дискретизирована с интервалом 30 метров, в результате чего была сформирована расчетная сетка, состоящая из 201 × 201 приёмных точек.

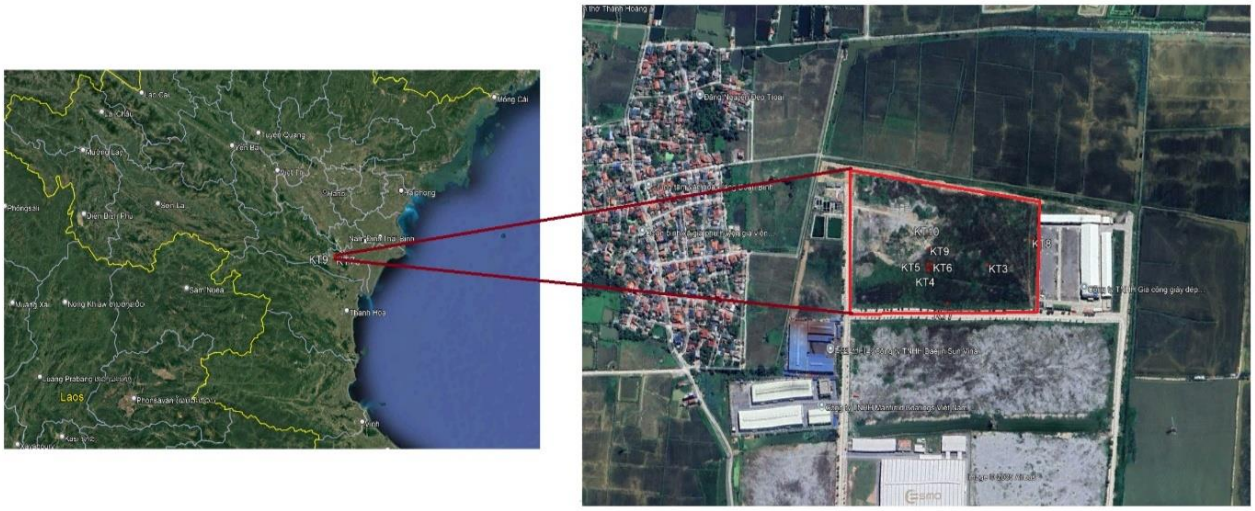

Рисунок 1. Карта предполагаемого участка строительства завода

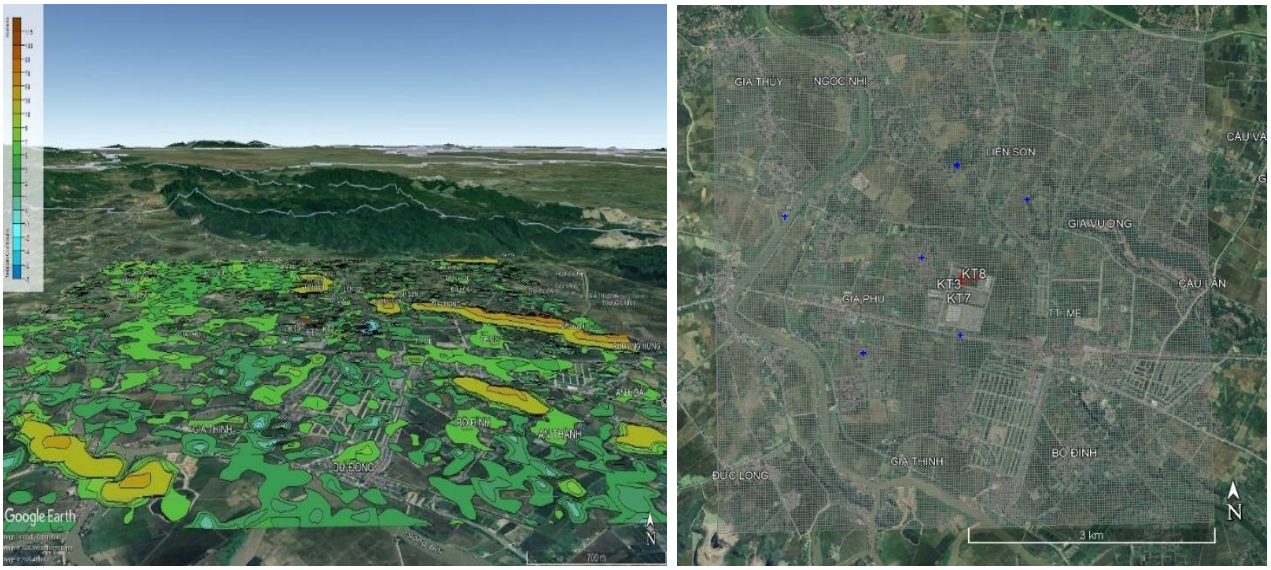

Рисунок 2. Топографическая карта области исследования на основе модели SRTM DEM (пространственное разрешение 90 м) и расчетной приёмной сетки

Метеорологические данные, использованные в данном исследовании, были получены преимущественно с ближайшей к проектной площадке станции наземных наблюдений, расположенной в провинции Намдинь и имеющей код станции ВМО 488230. Кроме того, данные реанализа были включены и обработаны с помощью программного обеспечения Meteonorm версии 8.2.0 и экспортированы в формате CSV (*.csv). Метеорологические данные, использованные для ввода в модель, включают почасовые параметры ветра и другие атмосферные характеристики за 2024 год, охватывающие весь период с января по декабрь 2024 года. Почасовой набор данных включает ряд метеорологических переменных, таких как

температура воздуха, относительная влажность, атмосферное давление, солнечная радиация, скорость и направление ветра, осадки, облачность, а также другие.

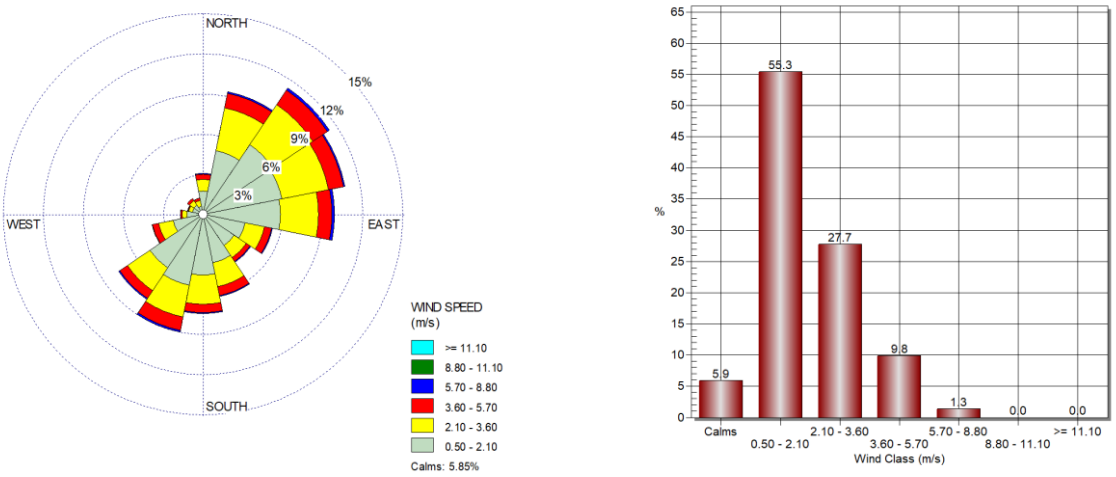

Рисунок 3. Роза ветров и распределение частоты скорости ветра в районе исследования за 2024 год

Метеорологический анализ показывает, что в зимний период преобладающими направлениями ветра в районе исследования являются восточное и северо-восточное. Летом доминирующими становятся южное и юго-западное направления. Частота штилей относительно невысока и составляет примерно 5,9 % от общего времени за 2024 год. Скорость ветра в регионе в основном колеблется в диапазоне от 0,5 до 2,1 м/с.

Данные о характере поверхностного покрова со спутниковых снимков Sentinel-2, доступ к которым осуществляется через открытый источник данных: Ee.ImageCollection ("COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED"). Спутниковые снимки Sentinel-2 предоставляют данные с высокой пространственной детализацией с разрешением 10 метров на пиксель.

Моделирование рассеивания загрязняющих веществ проводилось в рамках наихудшего сценария, при котором предприятие работает непрерывно на полную мощность (100 %) в течение всего расчетного периода (2024 год). В рамках данного сценария предполагается, что система очистки отходящих газов неисправна, и выбросы поступают в атмосферу без фильтрации через выпускной трубопровод предприятия. Для оценки максимально возможного уровня загрязнения воздуха и определения зон наибольшего риска в условиях отсутствия контроля выбросов и экстремальных метеорологических условий не учитывались никакие перерывы в работе или изменения производительности.

Результаты и обсуждение

Моделирование рассеивания выбросов предприятия проводилось при следующих предположениях: постоянная скорость ветра; пространственно однородный режим турбулентности; загрязняющие вещества считаются инертными (не вступающими в химические реакции) в течение всего периода моделирования; поверхность земли считается отражающей (без учёта депозиции). На рисунках 4–6 представлены пространственные карты концентраций взвешенных твердых частиц (TSP) и ксилола при гипотетическом сценарии отказа системы очистки выбросов.

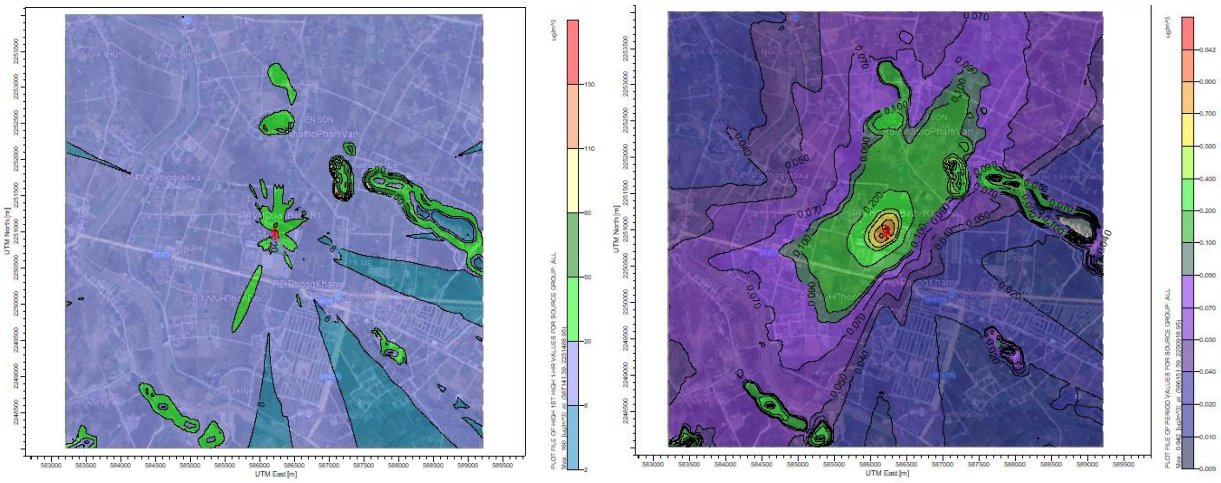

Рисунок 4. Зоны максимальной часовой и среднегодовой концентрации взвешенных твердых частиц (TSP).

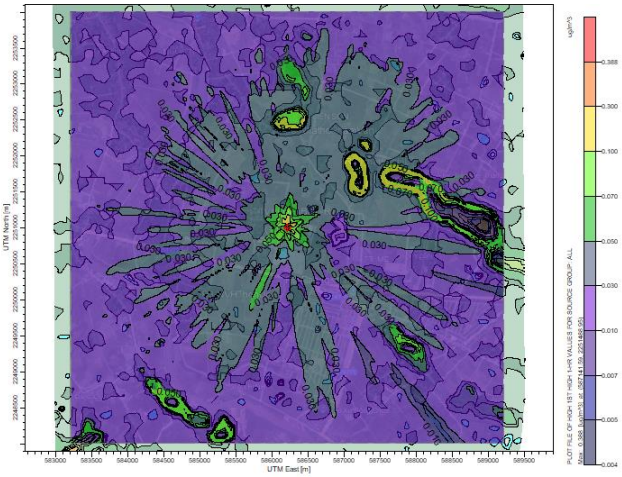

Рисунок 5 (a). Распределение максимальной часовой средней концентрации диоксида азота (NO_2).

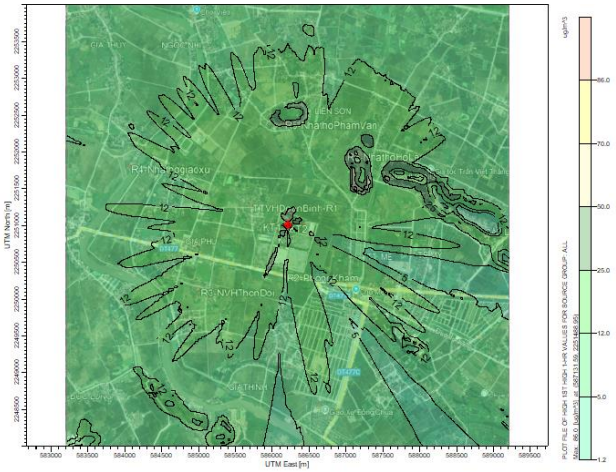

Рисунок 5 (b). Распределение максимальной часовой средней концентрации н-пропанола.

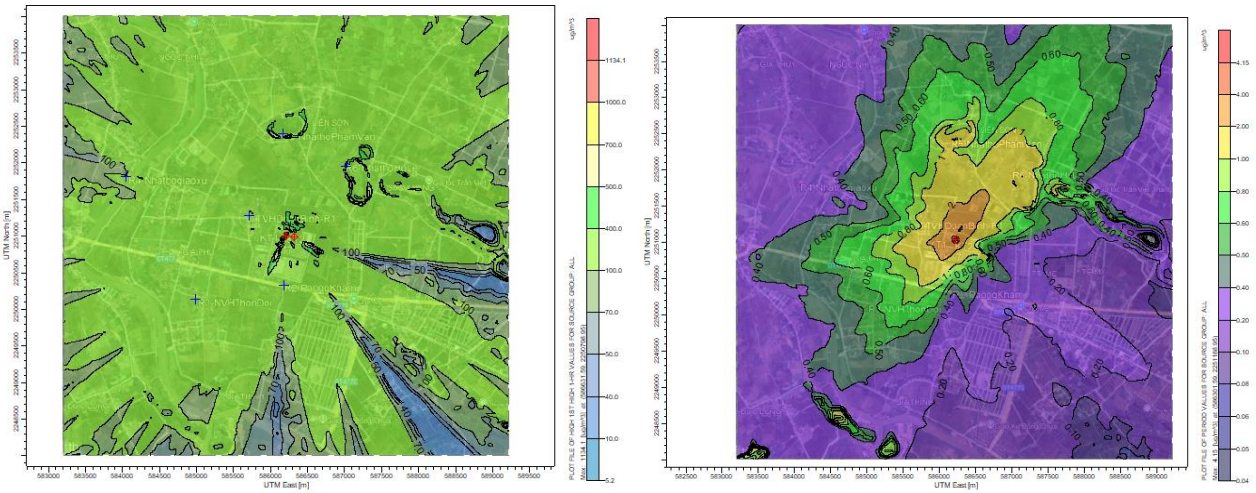

Рисунок 6. Распределение максимальной часовой средней (слева) и среднегодовой (справа) концентрации ксилола.

Результаты моделирования показывают, что даже в условиях наихудшего сценария – при 100% загрузке производства и полном отказе системы газоочистки – концентрации загрязняющих веществ в атмосфере в основном остаются в пределах допустимых нормативов.

В частности, максимальная среднечасовая концентрация TSP по всей расчетной области составила 160 мкг/м³, что значительно ниже предельного значения 300 мкг/м³, установленного в нормативе QCVN 05:2023/BTNMT. Среднегодовая максимальная концентрация TSP составила 0,942 мкг/м, рассчитанная в непосредственной близости от источника выбросов.

Аналогично, концентрации газообразных загрязняющих веществ, таких как NO_2 и н-пропанол, также были значительно ниже допустимых уровней. Максимальная среднечасовая концентрация NO_2 составила 0,388 мкг/м³, что существенно ниже предельного значения 200 мкг/м³. Максимальная концентрация н-пропанол за 1 час составила 86 мкг/м³, что значительно ниже предельного значения в 200 мкг/м³.

Что касается ксилола, его среднечасовые концентрации на большей части территории исследования оставались ниже предельного значения 1000 мкг/м³. Однако были зафиксированы кратковременные превышения, с максимальной расчетной концентрацией 1134 мкг/м³. Важно подчеркнуть, что зафиксированные превышения носили кратковременный и эпизодический характер и приходились на нежилые зоны, что ограничивает потенциальный риск для населения.

Заключение

Моделирование атмосферного рассеивания загрязняющих веществ представляет собой современный и высоконадёжный количественный метод оценки и прогнозирования потенциального экологического воздействия.. Применение модели AERMOD для симуляции рассеивания взвешенных твердых частиц и токсичных газов от выбросов проектируемого предприятия по производству электронной техники Hop Chi показало, что трансформация диффузии загрязняющих веществ в атмосфере в значительной степени определяется локальными метеорологическими условиями, в частности ветровыми режимами, характерными для тропического муссонного климата.

При рассмотрении наихудшего сценария – непрерывной работы предприятия при 100% мощности и полном отказе системы очистки выбросов – результаты моделирования показали, что большинство расчетных средних концентраций загрязняющих веществ за 1 час и 24 часа остаются ниже предельно допустимых значений, установленных национальными нормативами. Однако при определённых экстремальных метеорологических условиях максимальная среднечасовая концентрация ксилола может превышать допустимое значение в 1000 мкг/м³ в отдельных точках приема.

Полученные результаты подчёркивают важность установки эффективных систем очистки дымовых газов до начала эксплуатации предприятия. Также требуется организация непрерывного контроля за работой очистных установок и строгое соблюдение экологических требований на протяжении всего жизненного цикла объекта для минимизации риска неблагоприятного воздействия на окружающую среду.

Список литературы:

1. Kumar, D., S. Bhushan, and D. Kishore, Atmospheric dispersion model to predict the impact of gaseous pollutants in an industrial and mining cluster. Global Journal of Environmental Science and Management, 2018. 4 (3): p. 351-358.

2. Tuygun, G.T., et al., Modeling of air pollutant concentrations in an industrial region of Turkey. Environmental Science and Pollution Research, 2017. 24 (9): p. 8230-8241.

3. Perrino, C., et al., Air quality characterization at three industrial areas in southern Italy. Frontiers in Environmental Science, 2020. 7: p. 196.

4. Al-Hasnawi, S., et al., The effect of the industrial activities on air pollution at Baiji and its surrounding areas, Iraq. Engineering, 2016. 8 (1): p. 34-44.

5. Ho Minh Dung, Truong Cong An, and Nguyen Thoai Tam, Study on air quality management by using model tools in Phu My 2 and Phu My 2 expanded industrial parks, Ba Ria – Vung Tau province. Tạp chí Khí tượng Thủy văn, 2024: p. 78-91.

6. Ho Quoc Bang, et al., Modeling of air pollution and assessing impacts of air pollution on human health-Tra Vinh, Vietnam. International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources, 2019. 19 (3): p. 55-63.

7. Ho Quoc Bang, et al. Modeling impacts of industrial park activity on air quality of surrounding area for identifying isolation distance: A case of Tan Tao Industrial Park, Ho Chi Minh City, Viet Nam. in IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. IOP Publishing.

8. Vu Hoang Ngoc Khue, et al. Application TAPM-AERMOD system model to study impacts of thermal power plants in SouthEast and SouthWest areas to the air quality of HCMC: current status and according to Vietnam power planning VII toward 2030. in IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. IOP Publishing.