

prakticheskoy konferentsii v ramkakh XXVIII mezhdunarodnoy spetsializirovannoy vystavki "Agrokompleks-2018". 2018. Ch. 3. S. 204–211.

9. Mullerelectronik [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.mueller-elektronik.de> (data obrashcheniya: 15.03.2024).

10. Teejet technologies. Katalog 51A-RU [Elektronnyy resurs]. URL: http://microas.ru/sites/default/files/katalog_teejet.pdf (data obrashcheniya: 15.03.2024).

11. Galiullin R.R., Allayarov I.F. Apparato-programmnyy kompleks dlya sistemy tochnogo zemledeliya // Materialy X vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh. 2017. Ch. 2. S. 19–22.

12. Galiullin R.R., Khasanov E.R., Gallyamov F.N., Allayarov I.F. Programma dlya paral-

elnogo vozhdeniya mashinno-traktornogo agregata s ispolzovaniem plansheta i GPS/GLONASS priemnika // Svidetelstvo o registratsii programmy dlya EVM RUS 2018613106. 10.01.2018.

13. Petukhov D.A., Chaplygin M.E., Sviridova S.A., Voronkov V. Sravnitel'naya otsenka sistem parallelnogo vozhdeniya // Agrosnabforum. 2016. No. 1. S. 18–21.

14. Sistema parallelnogo vozhdeniya GLONASS Pilot [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.labsolut.ru/products/sistema-parallelnogo-vozhdeniya-glonash-pilot.html> (data obrashcheniya: 15.03.2024).

15. Sistemy tochnogo zemledeliya [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.ksm-intech.ru/#products> (data obrashcheniya: 15.03.2024).



УДК 574.21

DOI: 10.53083/1996-4277-2026-262-8-86-91

Н.Я. Илюшов, С.М. Угай

N.Ya. Ilyushov, S.M. Ugay

РОЛЬ ПРОЦЕССОВ РАССЕЙВАНИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ВЫБРОСОВ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

ROLE OF VENTILATION EMISSIONS DISPERSAL PROCESSES IN ENSURING ENVIRONMENTAL SAFETY

Ключевые слова: выбросы, атмосфера, вентиляция, рассеивание, факел, инверсия, изотермия, конвекция, биоаэрозоли, концентрации.

Рассматриваются вопросы обеспечения экологической безопасности животноводческих комплексов с помощью установки различных систем рассеивания вентиляционных выбросов. Представлены данные о типовом составе выбросов данных комплексов, их влиянии на окружающую среду, а также средние концентрации наиболее опасных компонентов выбросов и воздействие данных концентраций на животных. Особенно подробно рассматривались данные о результатах исследования биоаэрозолей и микроорганизмов, обнаруженных в воздухе помещений комплексов. Приведены 3 основных концепции уменьшения концентраций загрязняющих веществ в вентиляционных выбросах и их сравнительные характеристики. Особое внимание уделено эффективности очистки вентиляционных выбросов с помощью каждого из этих методов. Показано основное отличие систем вентиляции и систем рассеивания, а также насколько повышается эффективность снижения концентрации загрязняющих веществ при комплекс-

ном использовании данных систем. Приведен обзор основных видов систем рассеивания с указанием их эффективности и энергозатратности. Также перечислены и другие факторы, оказывающие влияние на процессы рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере, такие как атмосферные условия и рельеф местности рядом с источником вентиляционных выбросов. Сформулирована гипотеза о том, как можно добиться высокой эффективности очистки выбросов при одновременном снижении энергозатрат на системы вентиляции и рассеивания в зависимости от вертикальной устойчивости атмосферы, силы и направления ветра, а также от технологических процессов внутри животноводческих комплексов. Сделан вывод о том, что процессы рассеивания вентиляционных выбросов являются не только экологической, но также биологической и экономической проблемой, и эта проблема оказывает значительное влияние на эффективность и экологическую безопасность любого животноводческого комплекса. Научно обоснованная оценка этих процессов позволяет разрабатывать меры по оптимизации вентиляции, снижению концентрации вредных веществ и профилактике заболеваний животных, что в конеч-

ном итоге способствует повышению продуктивности и устойчивости животноводческих предприятий.

Keywords: *emissions, atmosphere, ventilation, dispersion, plume, inversion, isotherm, convection, bioaerosols, concentrations.*

The issues of ensuring environmental safety of livestock complexes by installing various systems of dispersion of ventilation emissions are discussed. The data on the typical composition of emissions of these complexes, their impact on the environment and the average concentrations of the most dangerous components of emissions and the impact of these concentrations on animals are dealt with. In particular, the data on the results of the study of bioaerosols and microorganisms found in the air of the premises of animal complexes were considered in detail. Three main concepts of reducing the concentrations of pollutants in ventilation emissions and their comparative characteristics are presented. Special attention is paid to the effectiveness of cleaning ventilation emissions using each of those methods. The main difference between ventilation systems and dispersion systems is shown as well as the increase in the effec-

tiveness of reducing the concentration of pollutants when these systems are used together. The main types of dispersion systems are overviewed along with their effectiveness and energy consumption. Other factors that affect the dispersion of pollutants in the atmosphere as atmospheric conditions and the terrain near the source of ventilation emissions are also listed. A hypothesis has been formulated on how to achieve high efficiency in cleaning emissions while simultaneously reducing energy consumption for ventilation and dispersion systems depending on the vertical stability of the atmosphere, the strength and direction of the wind, and the technological processes within livestock complexes. It is concluded that the processes of ventilation emission dispersion are not only an environmental, but also a biological and economic problem, and this problem has a significant impact on the efficiency and environmental safety of any livestock complex. A scientifically based assessment of these processes allows for the development of measures to optimize ventilation, reduce the concentration of harmful substances, and prevent animal diseases which ultimately contributes to increasing the productivity and sustainability of livestock enterprises.

Илюшов Николай Яковлевич, к.т.н., вед. науч. сотр., СибИМЭ, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, р.п. Краснообск, Новосибирская обл., Российская Федерация, e-mail: iljushovny@sfsca.ru.

Угай Сергей Максимович, д.т.н., доцент, гл. науч. сотр., СибИМЭ, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, р.п. Краснообск, Новосибирская обл., Российская Федерация, e-mail: ugaism@sfsca.ru.

Ilyushov Nikolay Yakovlevich, Cand. Tech. Sci., Leading Researcher, Siberian Federal Scientific Center of Agro-Biotechnologies of Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russian Federation, e-mail: iljushovny@sfsca.ru.

Ugay Sergey Maksimovich, Dr. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chief Researcher, Siberian Federal Scientific Center of Agro-Biotechnologies of Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russian Federation, e-mail: ugaism@sfsca.ru.

Введение

В настоящее время, когда возрастает не только общее количество животных, необходимое для продовольственной безопасности населения, но и сама концентрация животных в животноводческих комплексах, проблема образования парниковых газов вышла за рамки локальных или объектовых. Огромное количество загрязняющих веществ из вентиляционных выбросов данных комплексов не только отравляют жизнь и влияют на здоровье людей, живущих в непосредственной близости от предприятий, но и приводит к нежелательным изменениям на огромных территориях в результате переноса и оседания частиц. Так, оседание аммиака, в избытке находящегося в вентиляционных выбросах животноводческих комплексов, приводит к нарушению кислотно-щелочного баланса и оскудению биоразнообразия. Азотосодержащие

соединения способны вызвать заражение водных экосистем, приводящее к бурному росту водорослей, что, в свою очередь, может стать причиной массовой гибели рыбы. А метан и закись азота, обладающие значительной глобальной теплоемкостью, способны стать причиной заметных климатических изменений. Современные технологии и методы позволяют уменьшить количество вредных выбросов, например, кислотные скрубберы, биофильтры из наноматериалов и адсорбентов. Но такие способы обладают одним значимым недостатком – все они требуют значительных финансовых и энергетических затрат [1, 2]. Частичным решением проблемы вентиляционных выбросов может стать обеспечение эффективного рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере с помощью вытяжных шахт и труб, диффузоров и распределительных решеток, биофильтров, аэродина-

мических дефлекторов, а также комбинированных систем, сочетающих механическую вентиляцию с биологической очисткой и направлением выбросов [3].

Высокая плотность содержания животных в современных условиях приводит к тому, что в объеме воздуха внутри животноводческих комплексов образуются значительные концентрации вредных газов, пыли, аэрозолей и микроорганизмов. **Целью и задачами** исследования является определение состава и концентраций вредных веществ на выходе системы вентиляции, высоты их подъема в зависимости от условий, а также сравнение их концентраций при работе системы рассеивания и без них. Для решения поставленных задач использовались результаты и данные, полученные в ходе исследований, проведенных как в России, так и за рубежом.

Объекты и методы

В качестве объекта исследования взяты вентиляционные выбросы типовых животноводческих комплексов различного назначения. В качестве источников вентиляционных выбросов рассматривалось устье вентиляционной трубы комплекса, обеспечивающее удаление загрязненного воздуха из животноводческого комплекса. Основным методом и теоритической основой исследования являлся анализ научных источников, а также расчетный метод по эмпирическим зависимостям и моделирование процессов рассеивания в атмосфере.

Результаты исследования только биоаэрозолей, опубликованные во многих научных журналах, показали, что в воздухе животноводческих комплексов можно обнаружить как минимум 16 видов бактерий, более 13 видов грибов, а также значительное число вирусов [4-6]. Одна только концентрация грибковых спор в воздухе внутри помещений может достигать $6,2 \times 10^5$ КОЕ/м³. В целом же животноводческие комплексы способны выбрасывать в атмосферу миллиарды микроорганизмов в 1 ч. Пример концентрации микроорганизмов в вентиляционных выбросах на 1000 гол. в животноводческих комплексах и птицефабриках по данным FAO [4] представлен на рисунке.

Эти цифры наглядно подчеркивают масштаб биологической нагрузки на атмосферу, и при этом необходимо помнить, что все эти биоаэрозоли могут распространяться на расстояния до

нескольких километров, сохраняя при этом свою жизнеспособность [4-6].

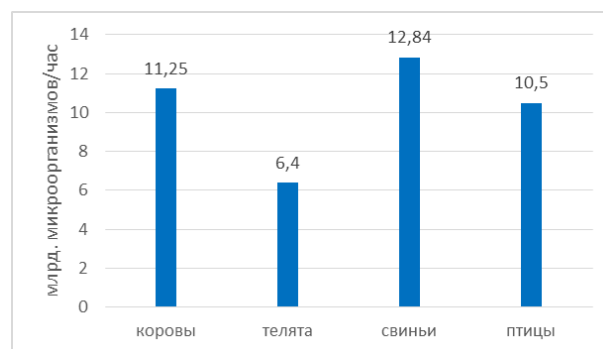


Рис. Концентрация микроорганизмов в вентиляционных выбросах

Помимо биологической нагрузки вентиляционные выбросы животноводческих комплексов в среднем содержат до 20 мг/м³ аммиака, 3000 мг/м³ углекислого газа, 0,11-5 мг/м³ сероводорода и до 50 мг/м³ метана. Концентрации пыли, особенно в птицеводстве, могут достигать 10-15 мг/м³, в том числе особо опасной для человека мелкодисперсной пыли PM_{2,5} и PM₁₀, соответственно, до 1 и 3 мг/м³ [5]. Многочисленные исследования показывают, что увеличение концентрации одного только аммиака внутри животноводческого комплекса всего на 10 ppm снижает привесы молодняка до 12% [6]. Кроме этого малоэффективная вентиляция приводит и к увеличению экологической нагрузки на территории, расположенной вокруг данного животноводческого комплекса.

Экспериментальная часть

Уменьшение концентрации загрязняющих веществ как внутри помещений, так и в атмосфере обычно достигается сочетанием следующих мер: оптимизацией кормления, очисткой воздуха и оптимизацией вентиляции. Хотя считается, что оптимизация кормления является самой рентабельной мерой, а очистка воздуха, например, биофильтрами, самой эффективной, вентиляция необходима в любом случае и в первую очередь для здоровья животных. Вентиляция, сама по себе не уменьшающая образование любого загрязняющего вещества, может уменьшить его концентрации внутри помещений за счет выброса этого вещества на определённую высоту с помощью вентиляционных труб или шахт. Системы рассеивания, являясь, по сути, вспомогательной мерой, способствуют

скорейшему разбавлению вентиляционных выбросов атмосферным воздухом [7].

Самым большим недостатком системы вентиляции животноводческих комплексов является ее энергозатратность. Практика показывает, что затраты электроэнергии на вентиляцию, например, коровника в условиях Сибири составляют примерно 15-19% от общего количества электричества, требуемого данным комплексом. Расчет энергозатрат можно провести по рекомендуемому объему приточного воздуха на одну дойную корову в соответствии с требованиями РД-АПК 3.10.07.05-17 [8]. В соответствии с данным Руководством на каждое животное должно приходиться, например, в летнее время до 60 м³/ч или 0,0166 м³/с приточного воздуха. В этом случае мощность электрического вентилятора в комплексе на 1000 дойных коров с учетом того, что типовое статическое давление для вентиляции в животноводческом комплексе ΔP обычно составляет 50-150 Па, а общая эффективность работы вентилятора η берется равной 0,45-0,6, должна в среднем составить:

$$P = (Q \cdot \Delta P) / \eta \approx 3,3 \text{ (кВт)}.$$

То есть средние затраты на вентиляцию всего коровника за год или за 8760 ч составляют:

$$E = P \cdot 8760 \approx 30 \text{ 000 (кВт} \cdot \text{ч)}.$$

Следует учитывать, что данный результат очень сильно зависит от региона, конструктивных особенностей помещений, возраста животных, а также от сезона и может изменяться в разы.

Далее, расчеты показывают, что данная мощность вентилятора способна обеспечить скорость выхода вентиляционных выбросов через сопло вентиляционной трубы от 2 до 10 м/с в зависимости от диаметра ее устья [8]. Высота подъема вентиляционного выброса определяется в зависимости от значения теплового параметра F , характеризующего подъемную силу нагретого воздуха и определяемого по формуле [9]:

$$F = \frac{g \cdot Q_h}{\rho \cdot c_p \cdot T_a},$$

где g – ускорение свободного падения;

Q_h – расход вентиляционного выброса;

ρ – плотность воздуха;

c_p – удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении;

T_a – абсолютная температура окружающего воздуха в Кельвинах.

Расчет по предложенной формуле показывает, что при скорости ветра порядка 3 м/с и при условии, что вся электрическая мощность вентилятора 3,3 кВт полностью рассеивается в воздух, значение теплового параметра F при среднем диаметре устья вентиляционной трубы животноводческого комплекса от 0,4 до 0,8 м может достигать 0,029 м⁴/с³, и в этом случае высота подъема вентиляционных выбросов под действием вентиляторов может достигать 1,6-1,7 м. При подъеме просто более теплого воздуха тепловой параметр F без работы вентилятора определяется по формуле [9]:

$$F = g \cdot Q \frac{\Delta T}{T_a},$$

где Q – объемный расход воздуха, м³/с.

В этом случае высота подъема вентиляционных выбросов только за счет разогрева выбросов на 25 К (ΔT) в соответствии с приближенной формулой Бриггса, при тех же условиях, что и примере, приведенном выше, может составить [9]:

$$\Delta h \approx 2,6 \frac{F^{1/3}}{u} \approx 2,1 \text{ м},$$

где u – скорости ветра, м/с.

Подобные расчеты, проведенные не только для коровников, но и для свиноферм и птичников, также показывают, что при любом необходимом объеме вентилирования высота вентиляционных выбросов зависит не только от мощности системы вентиляции, но и от температуры самих выбросов.

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты расчетов показывают, что в определенных условиях, связанных в первую очередь с вертикальной устойчивостью атмосферы и температурой среды, высота подъема вентиляционных выбросов может определяться не только мощностью вентиляционной системы. Например, при конвекции подъем просто нагретого воздуха при определенных условиях может превышать подъем за счет принудительного выброса воздуха механической вентиляцией. В случае же инверсии подъем вентиляционных выбросов, наоборот, обеспечивается только мощностью системы вентиляции. Следовательно, учитывая только степень вертикальной устойчивости атмосферы, во-первых, можно добиться значительного снижения энергозатрат животноводческого комплекса, например, только за счет отключения системы вентиляции при

конвекции, во-вторых, в условиях конвекции высота подъема вентиляционных выбросов без каких-либо дополнительных усилий может достигнуть сотен метров и даже выше. Увеличением же высоты подъема выбросов, например, на 12 м, можно добиться снижения концентраций на несколько порядков. Это наглядно показывают результаты расчетов по гауссовой модели расчета концентрации частиц выбросов в атмосфере на высоте 10 и 15 м и на различных расстояниях от источника при непрерывной эмиссии выбросов частиц 1 г/с, сделанные в ходе исследования и приведённые в таблице.

Таблица
Концентрации частиц в атмосфере, г/м³

Высота выброса, м	Расстояние от источника, м			
	25	50	100	200
10	$2,4 \times 10^{-13}$	$3,7 \times 10^{-8}$	$6,8 \times 10^{-5}$	$2,9 \times 10^{-4}$
15	$2,6 \times 10^{-17}$	$4,3 \times 10^{-11}$	$4,2 \times 10^{-7}$	$3,6 \times 10^{-5}$

Заключение

На основании анализа научных источников и результатов расчетов по эмпирическим зависимостям и модели рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере можно сделать следующие выводы:

1. На высоту подъёма вентиляционных выбросов влияет не только мощность вентиляционной системы, но и атмосферные условия. Например, при вертикальной устойчивости атмосферы соответствующей инверсии даже самый мощный факел не сможет подняться выше 10-20 м, но в условиях конвекции его высота без каких-либо дополнительных усилий может достигнуть сотен метров и даже выше. Быстрое разбавление концентраций загрязняющих веществ возникает и при сильном ветре, а штиль, наоборот, вызывает накопление загрязнений в районе источника выбросов. Из этого можно сделать вывод, что далеко не всегда для увеличения эффективности рассеивания необходимо увеличивать высоту источника или повышать скорость выброса вентиляционной системой.

2. Система вентиляции животноводческого комплекса должна быть адаптирована к автоматическому управлению мощностью, что приведет к резкому снижению энергозатрат. На практике важно знать, при каких параметрах и характеристиках вентиляционной системы и системы рассеивания достигаются безопасные концентрации загрязняющих веществ на границах

санитарно-защитных зоны при самых неблагоприятных атмосферных условиях. Далее, в случае улучшения погоды, то есть при переходе вертикальной устойчивости от состояния инверсии к изотермии и тем более к конвекции, мощность того же вентилятора должна уменьшаться. Все это приведет к снижению энергозатрат, то есть улучшит характеристики системы вентиляции.

Библиографический список

1. Проблемы загрязнения воздуха в животноводстве и пути их решения / А. Г. Возмилов, В. Б. Файн, Д. В. Астафьев, Л. Н. Андреев. – DOI 10.24412/2227-9407-2021-9-38-49. – Текст: непосредственный // Вестник НГИЭИ. – 2021. – № 9 (124). – С. 38-49.
2. Технологии снижения газовых выбросов животноводческих ферм / Н. Б. Бондаренко, Н. В. Кондаков, С. В. Старовойтов, Д. А. Бутко. – DOI 10.23363/2313-2310-2024-32-1-32-40. – Текст: непосредственный // Вестник Российского университета дружбы народов. – 2024. – № 1. – С. 32-40.
3. Комлацкий, Г. В. Технологические аспекты снижения выбросов парниковых газов в животноводстве / Г. В. Комлацкий. – DOI 10.21515/1990-4665-181-012. – Текст: непосредственный // Научный журнал КубГАУ. – 2022. – № 181 (07). – С. 116-126.
4. FAO. Pathways towards lower emissions – A global assessment of the greenhouse gas emissions and mitigation options from livestock agrifood systems. – 2023. – URL: <https://doi.org/10.4060/cc9029en> (дата обращения: 30.04.2026).
5. Chen L. et al. (2020). Performance of biofilters for livestock air emissions. *Bioresource Technology*. DOI: 10.1016/j.biortech.2020.123456.
6. Li, Y., et al. (2024). Annual Dynamics of Concentrations and Emission Rates of Particulate Matter and Ammonia in a Large-Sized, Low-Profile, Cross-Ventilated Dairy Building. *Agriculture*. 14. 2338. DOI: 10.3390/agriculture14122338.
7. Zhao Y. et al. (2022). Effects of ammonia on growth performance of livestock. *Animal*. 16 (5): 100512. DOI: 10.1016/j.animal.2021.100512.
8. РД-АПК 3.10.07.05-17. Ветеринарно-санитарные требования при проектировании, строительстве, реконструкции и эксплуатации животноводческих помещений. – Москва, 2017. – 88 с. – Текст: непосредственный.

9. Briggs, G.A. (1969). Plume Rise, U.S. Atomic Energy Commission, TID-25075, NTIS, Springfield, VA, 81 p.

References

1. Vozmilov A. G., Fayn V. B., Astafev D. V., Andreev L. N. Problemy zagryazneniya vozdukh v zhivotnovodstve i puti ikh resheniya // Vestnik NGIEI. – 2021. – No. 9 (124). – S. 38–49. – DOI: 10.24412/2227-9407-2021-9-38-49.

2. Bondarenko N. B., Kondakov N. V., Starovoytov S. V., Butko D. A. Tekhnologii snizheniya gazovykh vybrosov zhivotnovodcheskikh ferm // Vestnik RUDN. – 2024. – No. 1. – S. 32–40. – DOI: 10.23363/2313-2310-2024-32-1-32-40.

3. Komlatskiy G. V. Tekhnologicheskie aspekty snizheniya vybrosov parnikovyykh gazov v zhivotnovodstve // Nauchnyy zhurnal KubGAU. – 2022. – No. 181 (07). – DOI: 10.21515/1990-4665-181-012.

4. FAO. Pathways towards lower emissions – A global assessment of the greenhouse gas emis-

sions and mitigation options from livestock agrifood systems. – 2023. – URL: <https://doi.org/10.4060/cc9029en>.

5. Chen L. et al. (2020). Performance of biofilters for livestock air emissions. *Bioresource Technology*. DOI: 10.1016/j.biortech.2020.123456.

6. Li, Y., et al. (2024). Annual Dynamics of Concentrations and Emission Rates of Particulate Matter and Ammonia in a Large-Sized, Low-Profile, Cross-Ventilated Dairy Building. *Agriculture*. 14. 2338. 10.3390/agriculture14122338.

7. Zhao Y. et al. (2022). Effects of ammonia on growth performance of livestock. *Animal*. 16 (5): 100512. DOI: 10.1016/j.animal.2021.100512.

8. RD-APK 3.10.07.05-17. Veterinarno-sanitarnye trebovaniya pri proektirovanii, stroitelstve, rekonstruktsii i ekspluatatsii zhivotnovodcheskikh pomeshcheniy.

9. Briggs, G.A. (1969). Plume Rise, U.S. Atomic Energy Commission, TID-25075, NTIS, Springfield, VA, 81 p.



УДК 629.4.082.3:621.3.004.12

DOI: 10.53083/1996-4277-2026-262-8-91-95

В.Б. Бельй

V.B. Belyy

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ СИНХРОНИЗАЦИИ И НЕСИНФАЗНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ ГЕНЕРАТОРОВ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ В ОБМОТКАХ ВОЗБУЖДЕНИЯ

INFLUENCE OF SYNCHRONIZATION MODES AND OUT-OF-PHASE GENERATOR SWITCHING ON IN INDEPENDENT POWER SYSTEMS ON THE OVERVOLTAGES IN EXCITATION WINDINGS

Ключевые слова: автономные системы электроснабжения, синхронные генераторы, точная синхронизация, самосинхронизация, грубая синхронизация, перенапряжения, обмотка возбуждения.

Одним из способов повышения надежности электроснабжения является применение нескольких, параллельно включенных, различных источников электропитания. Примером могут служить гибридные системы электроснабжения, в которых источниками электропитания может являться комбинация традиционной системы электроснабжения и различных видов возобновляемых источников энергии. В таких системах предусматривается параллельная работа синхронных генераторов. Для включения на параллельную работу используются 3 способа синхронизации: точная синхронизация, самосинхронизация, грубая синхронизация. Включение на параллельную

работу способом точной синхронизации производится в момент достаточно близкого совпадения амплитуд, частот и фаз напряжений подключаемого генератора к сети. При строгом совпадении этих величин синхронизация протекает идеально в том смысле, что в момент включения генератора совершенно отсутствуют толчки тока. Однако в автономных системах электроснабжения, где величина напряжения и частота сети не являются строго постоянными, бывает трудно, а порою невозможно выполнить условия точной синхронизации. С другой стороны, нельзя отрицать возможности внесения погрешностей в процессе синхронизации контрольными приборами, поэтому представляет интерес установление границ допустимых отклонений от условий точной синхронизации, при которых не возникают перенапряжения в цепи возбуждения. Как показывает практика постановки генераторов на параллельную