

КОМПЛЕКСНОЕ РЕШЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ПО СНИЖЕНИЮ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ И ВРЕДНЫХ ГАЗОВ, ЛЕТУЧИХ ВЕЩЕСТВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Статья посвящена решению оптимизационной задачи обоснования рабочего режима электроэнергетической системы. Показано, что выбор и обоснование рабочего режима электроэнергетической системы должен основываться на сочетании решения комплексных технико-экономической и экологической задач, причём плату за загрязнение окружающей среды следует отнести в состав производственных издержек энергетического предприятия. Показана особая актуальность рассматриваемой задачи для тепловых электростанций, расположенных вблизи крупных мегаполисов и промышленных центров, где наблюдаются относительно короткие и закономерно повторяющиеся периоды особо неблагоприятного ухудшения метеоусловий, вызывающих резкое увеличение концентрации загрязняющих веществ в приземном слое атмосферного воздуха. Разработаны математические модели ущербов от загрязнения приземного слоя атмосферы, в том числе выбросами летучих твёрдых веществ, серы, окислов азота и ванадия. Показано, что критерий, характеризующий степень загрязнения атмосферы носит временный характер.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, оптимизация, тепловая электростанция, выбросы, ущерб от загрязнения, концентрация загрязняющих веществ.

Введение.

При расчётах и оптимизации работы электрической системы необходимо, исходя из экологических соображений, учитывать влияние режимов работы электроэнергетической системы на окружающую среду.

Решение вопросов оценки экологического воздействия на окружающую среду при эксплуатации тепловых электростанций (ТЭС) заключается в соблюдении нормативов чистоты атмосферного воздуха при расчётных метеорологических условиях в районах расположения ТЭС, которые характеризуются определёнными усреднёнными значениями скорости ветра, коэффициентов стратификации атмосферы и рядом других параметров [1]. Здесь под коэффициентом стратификации атмосферы будем понимать распределение температуры воздуха по высоте, характеризующее вертикальным градиентом температуры (град/100 м). Такой коэффициент характеризует устойчивость атмосферы в конкретном районе по отношению к вертикальным перемещениям воздуха. Укажем, что величины экологических параметров обычно принимаются с некоторым запасом, учитывающим сравнительно длительные периоды ухудшения метеорологической ситуации [2-4].

Показатели чистоты атмосферного бассейна обуславливаются суммарными значениями выбросов, которые связаны, в частности, с прямым сжиганием топлива на станциях системы и режимами работы потребителей энергии.

Накопленный опыт показывает, что в крупных городах и промышленных центрах наблюдаются относительно короткие и закономерно повторяющиеся периоды особо неблагоприятного ухудшения метеоусловий, вызывающих резкое увеличение концентрации загрязняющих веществ в приземном слое атмосферного воздуха. Поэтому при проектировании, сооружении и эксплуатации ТЭС в таких районах для воздушного бассейна должны предусматриваться не только средства, рассчитанные на регулярную эксплуатацию, но и приниматься специальные меры, обеспечивающие возможность дополнительного существенного сокращения вредных выбросов в атмосферу в кратковременные периоды особо неблагоприятных метеоусловий. К таким мероприятиям могут относиться, например, использование запасов малосернистого топлива, перераспределение нагрузок между энергетическими объектами, режимные изменения в технологическом производстве энергии и т. д. [3-5]

Является возможным возникновение таких ситуаций, при которых оказывается недопустимым выгодное в экономическом отношении покрытие графиков нагрузки тепловыми агрегатами электростанций, расположенных вблизи больших городов. Такое положение будет справедливо для ситуации, когда агрегаты электростанций работают на топливе, содержащем вредные примеси и при этом направление воздушных потоков таково, что выбросы от электрических станций будут направлены

непосредственно к близко расположенным городам. В таких ситуациях, вполне вероятно, более правильным может оказаться решение не об оптимальной загрузке группы высокоэкономичных станций, а некоторых других, менее экономичных станций, но расположенных вдали от данного центра электрических нагрузок [6]. При этом, несомненно, сравнительно высокий необходимый уровень передачи мощности от станций, расположенных вдали от энергоёмких нагрузок, повлечёт за собой увеличение потерь активной и реактивной мощности и потерь напряжения в питающей электрической сети. Эти обстоятельства, в свою очередь, активно воздействуют на критерии оценки режимов по потерям активной мощности, минимуму расхода топлива в системе за рассматриваемый период времени и др.

Цель работы.

Назрела необходимость подвести под мероприятия по защите окружающей среды экономическую составляющую, что, несомненно, позволит более правильно планировать и финансировать экологические мероприятия, а также устанавливать материальную ответственность энергетических предприятий за загрязнение воздушного бассейна. Такую плату за загрязнение следует отнести в состав производственных издержек энергетического предприятия [5-8].

Материал и результаты исследований.

Таким образом, выбор определённого режима работы любой электроэнергетической системы должен основываться на сочетании решения комплексных технико-экономической и экологической задач.

В общем виде математическую модель ущерба от загрязнения наземного слоя окружающей среды можно представить в следующем виде:

$$\Phi_1 = \sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R \sum_{\sigma=1}^{\Sigma} A_{jr\sigma} Q_{jr\sigma} \alpha_{jr\sigma} \Delta t_j \rightarrow \min ,$$

где $A_{jr\sigma}$ – вредные выбросы в атмосферу r -го вещества в j -й разрез времени, уровень выбросов зависит от расхода σ -го вида топлива, используемого на электростанциях системы; $Q_{jr\sigma}$ – средние значения удельного ущерба от r -го выброса в j -й момент времени при использовании σ -го вида топлива; $\alpha_{jr\sigma}$ – коэффициент, учитывающий изменение среднего значения ущерба для r -го вредного вещества выброса при использовании σ -го вида топлива в j -м временном разрезе. Коэффициент $Q_{jr\sigma}$ обуславливается местными условиями (общим фоном загрязнения воздушного бассейна, плотности населения и размещения промышленности, высотой труб электростанций и т. д.)

Укажем, что в настоящее время, в связи со значительным изменением климата, связанного с потеплением атмосферы Земли, международные комиссии ООН приняли решения о жёстком ограничении для экономически развитых государств объёмов выбросов, так называемых, парниковых газов в атмосферу Земли. В то же время особое внимание должно уделяться также объёмам выбросов в атмосферу вредных газов в виде окислов серы, азота, ванадия и летучих твёрдых веществ в виде золы.

Таким образом, парниковые газы влияют на глобальное изменение климата Земли, угрожающего негативными последствиями для всего человечества, а вредные газы оказывают местное негативное влияние на здоровье населения и продуктивных животных, длительное время находящихся в зоне выпадения осадков вредных веществ.

В настоящее время планированию и контролю подлежат выбросы золы, окислов серы, азота и ванадия в атмосферу. Объёмы газообразных выбросов определяются расчётным путём по характеристикам топлива, топочных и улавливающих устройств.

Например, выброшенное в атмосферу количество летучих твёрдых веществ (золы) определяется следующим выражением:

$$A_{1j\sigma} = \sum_{i=1}^I B_{j\sigma i} (A_{0j\sigma i} \pm q_{j\sigma i}) (1 - \eta_{j\sigma i}) \alpha_{j\sigma i} \cdot 10^{-2} ,$$

где $A_{0j\sigma i}$ – зольность σ -го вида топлива, используемого на i -й электростанции в j -й момент времени; $B_{j\sigma i}$ – расход σ -го вида топлива на i -й электростанции в j -й момент времени; $q_{j\sigma i}$ – потери тепла от механической неполноты сгорания расхода σ -го вида топлива на i -й электростанции в j -й момент времени; $\eta_{j\sigma i}$ – среднеэксплуатационный коэффициент полезного действия золоуловителя i -й электростанции при сжигании σ -го вида топлива в j -м временном срезе; $\alpha_{j\sigma i}$ – доля золы в уносе при использовании σ -го вида топлива в j -м временном срезе, зависящая от конструкции топки.

Уровень выбросов окислов серы определяют по количеству сжигаемого топлива и содержанию серы в нём. Уровень выбросов серы в атмосферу определяется выражением:

$$A_{2j\sigma} = \frac{m_{SO_2}}{m_{SO}} \sum_{i=1}^I B_{j\sigma i} S_{\sigma j}^p (1 - \xi_{j\sigma i}) ,$$

где m_{SO} , m_{SO_2} – относительные молекулярные массы серы и двуокиси серы соответственно; $S_{\sigma j}^p$ – серность топлива при использовании σ -го вида топлива в j -м временном разрезе; $\xi_{j\sigma i}$ – доля серы, уходящая с золой и шлаком в процессе сжигания σ -го вида топлива на i -й электростанции в j -й момент времени.

Уровень выбросов окислов азота определяют по объёму выброшенных дымовых газов, приведенных к нормальным условиям, и концентрации окислов азота в дымовых газах при коэффициенте избытка воздуха в уходящем газе равном единице. С учётом вышесказанного выражение для определения уровня окислов азота принимает вид:

$$A_{3j\sigma} = \sum_{i=1}^I C_{NO_2j\sigma i} B_{j\sigma i} V_{j\sigma i},$$

где $C_{NO_2j\sigma i}$ – концентрация окислов азота σ -го вида топлива в j -й момент времени за последней поверхностью нагрева; $V_{j\sigma i}$ – объём газов при нормальных условиях на 1 кг сожжённого σ -го вида топлива на i -й электростанции в j -й момент времени.

Уровень окислов ванадия, выброшенных в атмосферу, для станции, работающей на жидком топливе, оценивается выражением [9]:

$$A_{4j\sigma} = \sum_{i=1}^I B_{j\sigma i} m_{\sigma j} \beta_{j\sigma i},$$

где $m_{\sigma j}$ – удельное содержание окислов ванадия в жидком σ -м виде топлива при пересчёте на V_2O_5 в j -м разрезе времени; $\beta_{j\sigma i}$ – коэффициент, учитывающий долю твёрдых частиц в продуктах сгорания, образующихся при сжигании σ -го вида топлива и улавливаемых специальным фильтром, устанавливаемом на i -й электростанции, в j -й момент времени.

Расчёт уровня выбросов в атмосферу должен осуществляться при соблюдении ограничений вида

$$C_{mji}^p + C_{\phi j}^p \leq C_{доп j}^p,$$

где C_{mji}^p – концентрация загрязняющего вещества, обусловленная работой i -й электростанции в контролируемом p -м районе в j -й момент времени; $C_{\phi j}^p$ – то же, но обусловленная работой действующих предприятий и транспорта, характеризующихся рассматриваемыми выбросами; $C_{доп j}^p$ – предельно допустимая концентрация вредных веществ в p -м районе в j -м разрезе времени, устанавливаемая Главным санитарно-эпидемиологическим управлением Министерства здравоохранения Украины.

Концентрацию загрязняющих веществ, обусловленную работой станций в контролируемых районах, можно рассчитать по методике, разработанной и утверждённой Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова. Эта методика устанавливает зависимость концентрации примесей в приземном слое атмосферного воздуха от различных параметров режимов работы электрических станций, метеорологических и прочих условий. Основное количественное соотношение для определения концентрации загрязняющих веществ согласно указанной методике имеет следующий вид:

$$C_{mji}^p = \frac{A_j^p m_{ji} n_{ji} \sum_{r=1}^R A_{jr\sigma i} F_{j\sigma i}}{H_i^2} \sqrt[3]{\frac{N_i}{V_{j\sigma i} \Delta T_{ji}}}, \quad (1)$$

где A_j – коэффициент температурной стратификации атмосферы, зависящий от метеорологических условий p -го района; $\sum_{r=1}^R A_{jr\sigma i}$ – суммарный выброс загрязняющего вещества в атмосферу на i -й

электростанции в j -й момент времени; $F_{j\sigma i}$ – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость осаждения твёрдых частиц золы в атмосфере (для газовых примесей равен единице) для σ -го вида топлива в j -й момент времени; m_{ji} , n_{ji} – безразмерные коэффициенты, зависящие от скорости выхода дымных газов из устья труб i -й электростанции в j -й момент времени; $V_{j\sigma i}$ – объём дымовых газов, выбрасываемых из труб i -й электростанции в j -й момент времени при сжигании σ -го вида топлива; ΔT_{ji} – разность между температурой дымных газов, выходящих из труб i -й электростанции и окружающего воздуха в j -й момент времени; N_i – число дымовых труб на i -й электростанции; H_i – высота дымовых труб i -й электростанции.

Критерий выброса в атмосферу должен в первую очередь определяться только для тех электростанций, которые функционируют или намечены к сооружению в районах крупных городов, промышленных центров и т. д. В этих случаях предельная допустимая концентрация загрязняющих веществ может

превышать установленные санитарные нормы. Важно, что это условие, как правило, известно до начала проведения оптимизационных расчетов режимов работы электростанций.

Отметим также, что электрические станции, работающие в пиковом и полупиковом режимах, характеризуются различными объемами выбросов в атмосферу, обусловленными различными значениями мощностей станций и, следовательно, объемами расхода топлива. Помимо этого, ряд коэффициентов в выражении (1) изменяются во времени и, следовательно, критерий, характеризующий степень загрязнения атмосферы носит временный характер.

Выводы.

1. При расчетах и оптимизации работы электрической системы обязательно необходимо учитывать влияние режимов работы электроэнергетической системы на окружающую среду.

2. Накопленный опыт показывает, что в крупных городах и промышленных центрах наблюдаются относительно короткие и закономерно повторяющиеся периоды особо неблагоприятного ухудшения метеоусловий, вызывающих резкое увеличение концентрации загрязняющих веществ в приземном слое атмосферного воздуха. При проектировании, сооружении и эксплуатации ТЭС в таких районах для воздушного бассейна должны предусматриваться не только средства, рассчитанные на регулярную эксплуатацию, но приниматься и специальные меры, обеспечивающие возможность дополнительного существенного сокращения вредных выбросов в атмосферу в кратковременные периоды особо неблагоприятных метеоусловий.

3. Назрела необходимость подвести под мероприятия по защите окружающей среды экономическую составляющую, устанавливающую материальную ответственность энергетических предприятий за загрязнение воздушного бассейна.

4. Разработаны математические модели ущерба от загрязнения приземного слоя атмосферы вредными выбросами тепловых электростанций, выбросами в атмосферу золы, окислов серы, азота и ванадия.

5. Расчет выброса в атмосферу загрязняющих веществ должен осуществляться при соблюдении ограничений, обусловленных установленными Главным санитарно-эпидемиологическим управлением Министерства здравоохранения Украины предельно допустимыми концентрациями вредных веществ.

Список литературы:

1. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними і біологічними речовинами). ДСП-201-97 – Київ: МОЗ, 1997.

2. Гранично допустимі концентрації /ГДК/ та орієнтовні безпечні рівні дії /ОБРД/ забруднюючих речовин в атмосферному повітрі населених місць – Донецьк, 2006.

3. Костюковський Б. А. Проблема зниження викидів забруднювачів в атмосферу в тепловій енергетиці України в контексті інтеграції ОЕС України в УСТЕ / Б. А. Костюковський, Т. П. Нечаєва та ін. // Проблеми загальної енергетики. – 2007. – №16.

4. Нечаєва Т. П. Дослідження можливих стратегій розвитку структури електроенергетичного комплексу України з урахуванням впливу екологічних обмежень і вимог / Т. П. Нечаєва. // Проблеми загальної енергетики. – 2011. – вип. 3 (25). – С. 25–31.

5. Кулик М. Н. Влияние экологических факторов на использование технологий тепловой энергетики / М. Н. Кулик, Т. П. Нечаева. // Электротехнологии и ресурсосбережение. – 2015. – №2.

6. Установки спалювання на теплових електростанціях та в котельнях. Організація контролю за викидами в атмосферу. СОУ-Н МПЕ 40.1.02.307: 2005. – Київ, 2005.

7. Костюковський Б. А. Заходи з виконання екологічних вимог за умови спільної роботи ОЕС України з об'єднанням енергосистем європейських країн / Б. А. Костюковський. // Проблеми загальної енергетики. – 2013. – вип. 3 (34).

8. Сулейманов В. М. Загальний підхід до постановки задачі вибору оптимальних робочих режимів електроенергетичних систем на основі багатокритеріального аналізу / В. М. Сулейманов, В. А. Баженов, Т. Л. Кацадзе. // Гідроенергетика України. – 2009. – №3. – С. 42–45.

9. Сулейманов В. М. Вибір оптимальних схем побудови та режимів електроенергетичних систем на основі багатокритеріального аналізу – (Звіт про НДР УкрНТІП № 0209U010893) / В. М. Сулейманов, В. А. Баженов, Т. Л. Кацадзе. – Київ: НТУУ "КПІ", 2009. – 128 с.

V. Suleymanov, O. Yankovska

National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”

INTEGRATED SOLUTION OF TECHNICAL AND ECONOMIC AND ECOLOGICAL TASKS BY REDUCE GREENHOUSE GAS EMISSIONS, HARMFUL GASES AND VOLATILE MATTER IN ELECTRIC POWER INDUSTRY

The article is devoted to solving the optimization problem justify the mode of power system. It is shown that the selection and justification of the mode of power system should be based on a combination of complex solutions of technical, economic and environmental problems, with payment for environmental pollution should include in

the production cost of the energy enterprise. Shown special urgency of this problem for thermal power plants located near large cities and industrial centers, where there are relatively short and regularly recurring periods of particularly adverse weather conditions worsening, causing a sharp increase in the concentration of pollutants in the surface layer of the atmosphere. The mathematical models of pollution damage the surface layer of the atmosphere, including emissions of volatile solids, sulfur, nitrogen oxides and vanadium. It has been shown that the criterion characterizing the degree of air pollution is only temporary.

Keywords: power system optimization, thermal power plant, emissions, pollution damage, the concentration of pollutants.

References:

1. State Sanitary rules of air protection of settlements (pollution from chemical and biological agents). SSR-201-97 – Kyiv: MOZ, 1997 (ukr).
2. Maximum allowable concentration / MPC / estimated safe levels and actions / OBRD / pollutants in ambient air of settlements – Donetsk, 2006 (ukr).
3. Kostukovsky B. A. The problem of reducing emissions of pollutants into the atmosphere in the thermal energy of Ukraine in the context of Ukraine's integration into UCTE IPS / B. A. Kostukosky, T. P. Nechaeva atc. // Problemy zagalnoi energetyki. – 2007. – №16 (ukr).
4. Nechaeva T. P. Investigation of possible development strategies of the structure of the electricity sector of Ukraine with the influence of environmental constraints and requirements / T. P. Nechaeva // Problemy zagalnoi energetyki. – 2011. – вип. 3 (25). – С. 25–31 (ukr).
5. Kulyk M. N. Influence of environmental factors on the use of technologies of thermal energy / M. N. Kulyk, T. P. Nechaeva // Elektrotehnologii I resursoberezhenie. – 2015. – №2 (rus).
6. Installations combustion in thermal power plants and boiler houses. Organization of control over emissions into the atmosphere. SOU-N MPE 40.1.02.307: 2005. – Kyiv, 2005 (ukr).
7. Kostukovsky B. A. Measures to implement environmental requirements on condition IPS work together with Ukraine European Interconnection / B. A. Kostukosky // Problemy zagalnoi energetyki. – 2013. – vol. 3 (34) (ukr).
8. Suleymanov V. M. The general approach to setting the problem of choosing optimal regimes of electric power systems based on multi analysis / V. M. Suleymanov, V. A. Bazhenov, T. L. Katsadze // Hidroenergetika Ukrainy. – 2009. – №3. – С. 42–45 (Ukr).
9. Suleymanov V. M. The choice of optimal schemes of construction and modes of power systems based on multicriterial analysis – (Report of SRW UkrNTII № 0209U010893) / V. M. Suleymanov, V. A. Bazhenov, T. L. Katsadze. – Kyiv: NTUU “KPI”, 2009. – 128 с (ukr).

УДК 621.311.22:504.054

В. М. Сулейманов, канд. техн. наук, проф., **О. М. Янковська**, ст. викл.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

КОМПЛЕКСНЕ ВИРІШЕННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ

**ТА ЕКОЛОГІЧНИХ ЗАДАЧ ІЗ ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ТА ШКІДЛИВИХ ГАЗІВ,
ЛЕТУЧИХ РЕЧОВИН В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ**

Стаття присвячена розв'язанню оптимізаційної задачі обґрунтування робочого режиму електроенергетичної системи. Доведено, що вибір та обґрунтування робочого режиму електроенергетичної системи має ґрунтуватися та поєднанні розв'язання комплексних техніко-економічної та екологічної задач, причому плату за забруднення навколишнього середовища слід зарахувати до складу виробничих витрат енергетичного підприємства. Показана особлива актуальність розглянутої задачі для теплових електростанцій, розташованих поблизу великих мегаполісів і промислових центрів, де спостерігаються відносно короткі періоди особливо несприятливого погіршення метеоумов, які закономірно повторюються та викликають різке збільшення концентрації забруднюючих речовин у приземному шарі атмосферного повітря. Розроблено математичні моделі збитків від забруднення приземного шару атмосфери, у тому числі викидами летючих твердих речовин, сірки, оксидів азоту і ванадію. Показано, що критерій, що характеризує ступінь забруднення атмосфери носить тимчасовий характер.

Ключові слова: електроенергетична система, оптимізація, теплова електростанція, викиди, збиток від забруднення, концентрація забруднюючих речовин.

Надійшла 04.02.2016

Received 04.02.2016