

*На правах рукописи*

**До Суан Чо**

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ, ПРОГРАММНОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ПОДСИСТЕМЫ САПР УСТРОЙСТВ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ  
ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ «ПРИРОДА - ТЕХНОГЕНИКА»**

Специальность: 05.13.12 – Системы автоматизации проектирования  
(промышленность)

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2013

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина) на кафедре систем автоматизированного проектирования.

- Научный руководитель: Заслуженный деятель науки и техники РФ,  
доктор технических наук, профессор  
Сольнищев Ремир Иосифович
- Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Тисенко Виктор Николаевич  
Директор Центра наукоемкого инжиниринга,  
кафедры "Управление проектами" Санкт-Петербургского государственного политехнического университета (СПбГПУ)
- кандидат технических наук, доцент  
Майоров Николай Николаевич  
Кафедры системного анализа и логистики Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (ГУАП)
- Ведущая организация: Институт Аналитического Приборостроения Российской Академии Наук (ИАНП РАН)

Защита диссертации состоится 24 декабря 2013 года в 16<sup>30</sup> часов на заседании диссертационного совета Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина) по адресу: 197376, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, 5, ауд. 1154.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан 21 ноября 2013 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
Д212.238.02, к.т.н., доцент



Н.М. Сафьянников

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Основными проблемами начала XXI века стали загрязнение окружающей среды и истощение природных ресурсов в связи с ростом промышленного потенциала и транспорта. В частности широко обсуждаются вопросы парникового эффекта, выбросов вредных веществ и т. д. Эти проблемы также рассматривались на правительственном уровне, подтверждением чего является подписание Киотского протокола, решения 18-ой конференции Рамочной Конвенции ООН об изменении климата, состоявшейся в Дохе (Катар 12.08.2012г).

В последние десятилетия антропогенные факторы загрязнения атмосферы стали превышать по масштабам естественные, приобретая глобальный характер. Выбрасываемые в атмосферу вредные примеси не только уничтожают живую природу, отрицательно воздействуют на здоровье людей, но и способны изменить свойства самой атмосферы, что может привести к нежелательным экологическим и климатическим последствиям, поэтому в настоящее время проблемы снижения загрязняющих веществ (ЗВ) стали особенно актуальными.

Физическая сторона рассматриваемой проблемы связана с анализом эмиссии распространения и поглощения ЗВ. В работах Берлянда М.Е., Кондратьева К.Я., Щербакова А.Ю., Ландсберга Г.Е., Бузало Н.С., Гаргер Е.К., Марчука Г.И., Борисенкова Е.Л. исследовались процессы распространения ЗВ от точечных, линейных и площадных источников как непрерывного, так и мгновенного действия.

В работах Израэля Ю.А., Конопелько Л.А., Горелика Д.О., Назарова И.М. (и других учёных), а также на многочисленных симпозиумах, конференциях, совещаниях предлагались средства мониторинга ЗВ и очистки атмосферы, как правило, локального применения. Принципиальное решение проблем снижения уровня ЗВ представляется возможным путём создания системы управления «Природа – Техногеника», обеспечивающей минимизацию ЗВ, поступающих от техногенных объектов путем регулирования агрегатов очистки источников этих ЗВ. В работах профессора Сольничева Р.И. и его учеников предложена и развита концепция создания замкнутой системы управления «Природа – Техногеника» (ЗСУ ПТ).

Проектирование ЗСУ ПТ включает многоэтапный процесс – от согласования технического задания до подготовки пилотного образца.

На содержание ЗВ в потоке атмосферного воздуха в значительной степени оказывают влияние метеорологические условия, а именно: скорость и направление ветра, температура, влажность, давление. Они в определенной степени влияют на накопление, перенос и рассеивание вредных веществ. В этой связи задачей управления в этой системе является непрерывное обеспечение метеорологической поддержки в ЗСУ ПТ.

В соответствии с отмеченными обстоятельствами в ЗСУ ПТ необходимо разработать устройства метеорологической поддержки (УМП), включающие блоки накопления, обработки метеорологических данных, ввода их в блок управления очистными агрегатами с целью компенсации нежелательных отклонений от заданных критериев устойчивости и качества ЗСУ ПТ как САУ.

Решение этой задачи невозможно без разработки и применения САПР УМП. Поэтому рассматриваемая здесь подсистема САПР УМП является необходимым инструментом проектирования.

В процессе разработки этой подсистемы САПР УМП потребовалось осуществить:

- Анализ степени влияния метеорологических параметров атмосферы на функционирование ЗСУ ПТ, а также средств автокомпенсации этого влияния.
- Исследование и разработку основных обеспечений подсистемы САПР УМП ЗСУ ПТ, - математического, программного и информационного.
- Практическое применение подсистемы САПР УМП ЗСУ ПТ.

**Цель и задачи работы.** Целью диссертационной работы является разработка и исследование подсистемы САПР УМП ЗСУ ПТ, включающей математическое, программное и информационное обеспечения.

Для достижения указанной цели в работе решаются следующие задачи:

1. Разработка алгоритмической схемы подсистемы САПР УМП ЗСУ ПТ.
2. Адаптация алгоритмов анализа нестационарных случайных процессов (НСП) на основе методов скользящего усреднения и разработка их программной реализации для обработки метеорологических данных.
3. Анализ точности обработки метеорологических данных при приведении НСП к эквивалентным стационарным случайным процессам.
4. Алгоритмизация формирования закона управления автоподстройкой ПИД – регулятора.
5. Построение базы данных УМП ЗСУ ПТ (БД УМП ЗСУ ПТ).
6. Разработка программного обеспечения подсистемы САПР УМП ЗСУ ПТ.
7. Разработка интерфейса пользователя подсистемой САПР УМП ЗСУ ПТ как инструмента проектировщика ЗСУ ПТ.

**Методы исследования.** Основные теоретические и прикладные результаты работы получены на базе применения теории вероятностей, математического моделирования и вычислительного эксперимента, теории систем автоматического управления, теории САПР.

**Объектом исследования** диссертационной работы являются УМП ЗСУ ПТ, включающие блоки “обработка”, “программатор”, “преобразование” как средства управления автоподстройкой ПИД – регулятора.

**Предметом исследования** в работе являются исследование и разработка алгоритмов обработки метеорологических данных как НСП, алгоритмизация формирования закона автоподстройки ПИД – регулятора и программная реализация разработанных алгоритмов.

**Достоверность научных результатов** подтверждается теоретическим анализом, предложенных алгоритмов обработки и передачи метеорологических данных, моделированием ЗСУ ПТ с учётом воздействия метеорологических возмущений, статистическими экспериментами.

**Научные положения, выносимые на защиту.**

- Алгоритмическая схема подсистемы САПР УМП ЗСУ ПТ.
- Алгоритмы обработки метеорологических данных.

- Алгоритмы оценки точности обработки метеорологических данных.
- Алгоритмизация формирования законов автоподстройки ПИД – регулятора ЗСУ ПТ.

- Структура программного обеспечения подсистемы САПР УМП ЗСУ ПТ.
- Результаты анализа применения подсистемы САПР УМП ЗСУ ПТ.

**Научная новизна** работы состоит в разработке:

- Алгоритмической схемы подсистемы САПР УМП ЗСУ ПТ, включающей блоки сбора, обработки и передачи метеорологических данных в ЗСУ ПТ после получения их из центра метеорологической информации (района, промзоны) в режиме реального времени.

- Алгоритмов обработки метеорологических данных путём сведения НСП к эквивалентным стационарным с оценкой точности такой обработки, что позволяет вычислять характеристики метеорологических воздействий на ЗСУ ПТ с требуемой точностью.

- Алгоритмизации формирования законов управления автоподстройкой ПИД – регулятора с целью компенсации метеорологических возмущений на ЗСУ ПТ как САУ.

**Практическая ценность работы** заключается в реализации разработанных алгоритмов математического, программного и информационного обеспечений в виде подсистемы САПР ЗСУ ПТ. Эта подсистема позволяет осуществлять проектирование ЗСУ ПТ с учётом влияния метеорологической обстановки в режиме реального времени, выпускать соответствующую техническую документацию и повысить качество проектирования этой системы в целом.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

- XIV международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2012), Россия, Санкт-Петербург, 25 - 27 июнь 2012г.

- Informational Conference Southeast Asian Open and Distance Learning in the 21st Century "ISODL" 27 October 2012.

- XIX международная конференция «Современное образование: содержание, технологии, качество», Россия, Санкт-Петербург, 24 апреля 2013г.

- XV международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2013), Россия, Санкт-Петербург, 23 - 25 май 2013г.

- Anniversary Scientific International Conference 45 years Computer Science and Engineering Department, Technical University Of Varna, 27 – 28 September 2013, Varna, Bulgaria.

- Учёный Совет Института Экологических Технологий Вьетнамской Академии Наук (ИЭТ ВАН), Ханой, Вьетнам, 24 октября 2012 г.

**Реализация и внедрение результатов.** Теоретические и практические результаты диссертационной работы используются в учебном процессе Санкт - Петербургского государственного электротехнического университета «СПбГЭТУ» «ЛЭТИ» и практических работах Института Экологических Технологий Вьетнамской Академии Наук.

Данная работа выполнена в рамках международного сотрудничества Ханойского Открытого Университета (ХОУ) и СПбГЭТУ “ЛЭТИ” в соответствии с соглашением о международном образовательном сотрудничестве вузов России и Вьетнама.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 11 статей, из них – 4 статьи в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных в действующем перечне ВАК, 1 статья в другом издании, 6 докладов на международных, всероссийских и межвузовских научно-технических конференциях.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав с заключениями, выводов, изложена на 111 страницах машинописного текста, включает 50 рисунков, 5 таблиц, список литературы из 63 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность диссертационной работы, определена область исследований, сформулированы цели и задачи диссертации, изложены основные результаты, их теоретическая и практическая значимость. Сформулированы научные положения, выносимые на защиту. Представлена структура диссертационной работы.

**В первой главе** освещены проблемы снижения уровня ЗВ в атмосфере. Показано, что применение ЗСУ ПТ для управления минимизацией ЗВ является актуальным решением проблемы.

На рис 1. приведена структурная схема ЗСУ ПТ, проектируемая как САУ.

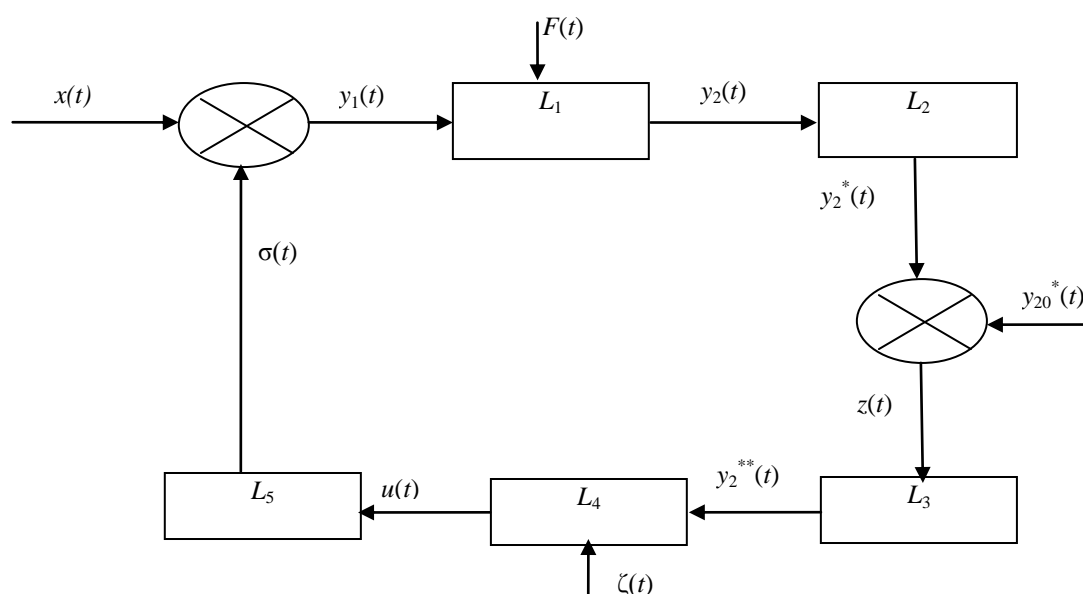


Рис. 1. Структурная схема ЗСУПТ как САУ.

На структурной схеме обозначены операторы и сигналы:

- $L_1$  – переноса ЗВ от источника ЗВ до точки их измерения,
- $L_2$  – измерительного устройства (датчика),
- $L_3$  – устройства преобразования данных измерения,
- $L_4$  – устройства управления (регулятора),

- $L_5$  – агрегата отчистки совместно с исполнительным устройством,
- $x(t)$  – возмущающее воздействие – компенсируемая составляющая топливных газов,
- $F(t)$  – параметрические воздействия под влиянием метеорологических возмущающий,
- $\zeta(t)$  – сигнал управления автоподстройкой,
- $y_1$  – рассогласование,
- $y_2$  – измеряемая величина концентрации ЗВ,
- $y_2^*$  – результат измерения концентрации ЗВ,
- $y_{20}^*$  – допустимая величина концентрации ЗВ ( $y_2^*$ ),
- $z(t)$  – величина отклонения,
- $y_2^{**}(t)$  – преобразованный сигнал,
- $u(t)$  – сигнал управления,
- $\sigma(t)$  – сигнал компенсации возмущения.

Из структуры такой САУ видно, что на систему управления действует два источника возмущений:

1)  $x(t)$  – возмущающее воздействие (компенсируемая составляющая топливных газов), поступающих на вход такой САУ.

2)  $F(t)$  – метеорологические возмущения – ветер ( $V$ ), температура ( $T^\circ$ ), влажность ( $W$ ), давление ( $P$ ), которые приводят к изменению транспортного запаздывания распространения потока ЗВ и тем самым к нарушению устойчивости и качества ЗСУ ПТ как САУ.

Объект управления включает поток переноса ЗВ, скорость которого существенно влияет на настройки регулятора ЗСУ ПТ, в том числе на устойчивость и качество процессов управления. В соответствии с отмеченными особенностями такой САУ в данной работе рассматриваются алгоритмы обработки метеорологических данных и алгоритмизация формирования входных сигналов для автоподстройки ПИД – регулятора, (оператор  $L_4$ , на рис 1). Этот оператор имеет вид:

$$L_4(p) = K_{\text{П}} + K_{\text{Д}} \cdot p + K_{\text{И}} \cdot \frac{1}{p},$$

где  $p \equiv \frac{d}{dt}$ ,  $K_{\text{П}}$ ,  $K_{\text{Д}}$ ,  $K_{\text{И}}$  – коэффициенты ПИД – регулятора.

Далее в этой главе рассматривается процесс проектирования ЗСУ ПТ. Показывается, что одним из важных факторов влияния на функционирование ЗСУ ПТ, является метеорологическая обстановка в зоне действия этой системы. Для компенсации метеорологических возмущений в ЗСУ ПТ в режиме реального времени необходима разработка УМП, обеспечивающих автоподстройку регулятора ЗСУ ПТ. На рис 2 приведена функциональная схема проектируемых УМП ЗСУ ПТ, включающих блоки: “обработка”, “программатор”, “преобразование” для сбора, обработки и передачи метеорологических данных в ЗСУ ПТ.

Функции  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$ ,  $f_4$  представляют результаты обработки метеорологических данных.

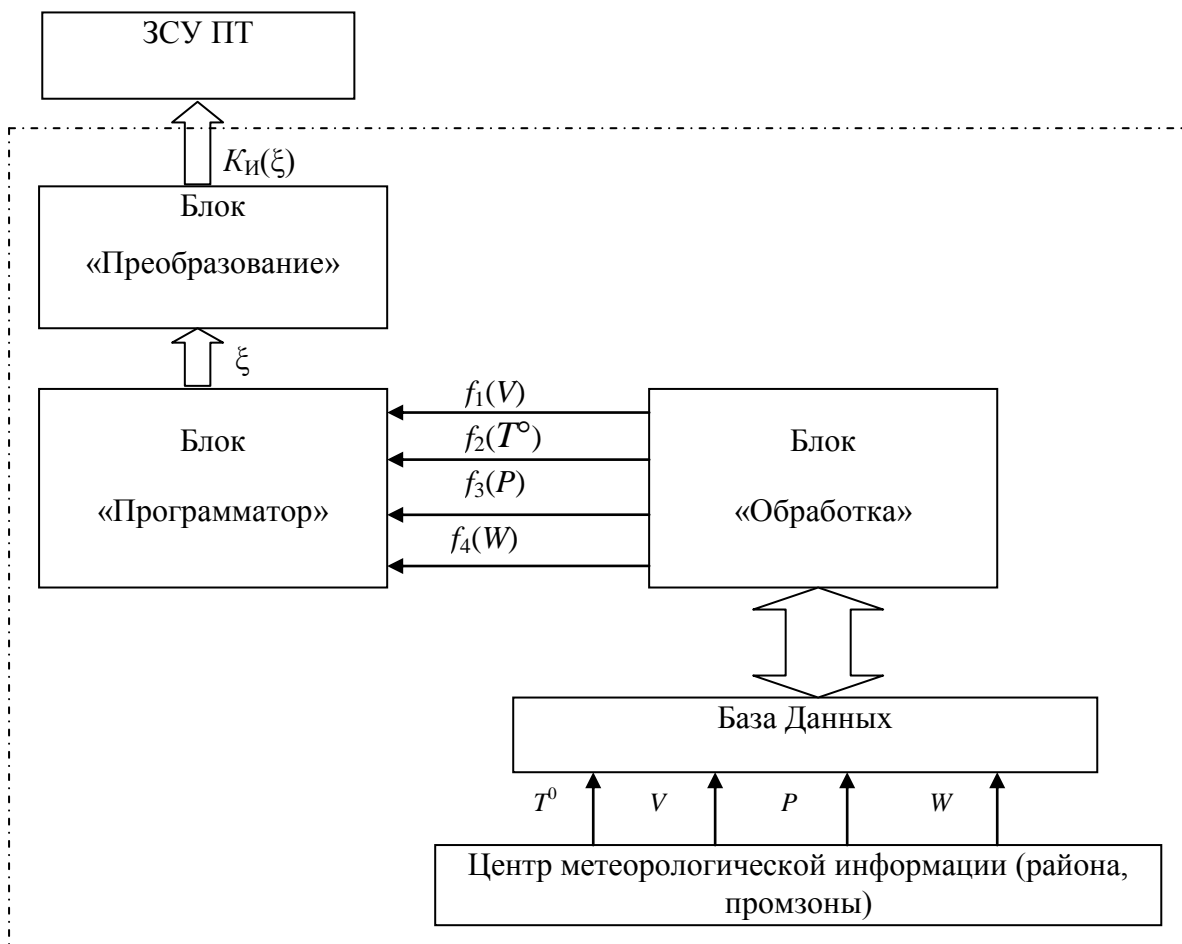


Рис. 2. Функциональная схема УМП ЗСУ ПТ.

Для проектирования УМП ЗСУ ПТ требуется построить подсистему САПР УМП ЗСУ ПТ, которая должна содержать средства построения БД УМП в соответствии с требованием сохранения метеорологической информации и результатов обработки, обеспечивать эту обработку, передавать метеорологические данные, осуществлять формирование закона управления регулятора. В этой главе рассмотрены также роль и место подсистемы САПР УМП ЗСУ ПТ в САПР ЗСУ ПТ.

**Во второй главе** рассмотрены алгоритмы обработки, анализ точности обработки и алгоритмизация формирования входных сигналов для автоподстройки ПИД – регулятора в ЗСУ ПТ.

Скорость потока переноса ( $\tilde{v}$ ) ЗВ в атмосфере зависит не только от скорости ветра ( $V$ ), но и от остальных метеорологических параметров: температуры ( $T^\circ$ ), давления ( $P$ ), влажности ( $W$ ). Для определения скорости потока переноса ЗВ от источников до точки измерения (рис 3) необходимо определить соотношения между скоростью ветра ( $V$ ) и остальными метеорологическими параметрами ( $T^\circ$ ), ( $P$ ), ( $W$ ). Переменные ( $V$ ), ( $T^\circ$ ), ( $P$ ), ( $W$ ) в общем случае являются НСП.

Однако при оценках статистических характеристик реализаций в процессе обработки метеорологических данных непосредственное использование этих данных затрудняется малым количеством реализаций, имеющим место на практике.



С целью приближения алгоритмов обработки метеорологических данных к задаче формирования управляющих воздействий в ЗСУ ПТ с помощью хорошо разработанных и удобных характеристик стационарных эргодических процессов, обработка и ввод в УМП ЗСУ ПТ метеорологических данных проводится по эквивалентным статистическим характеристикам стационарных процессов с оценками точности такого приближения.

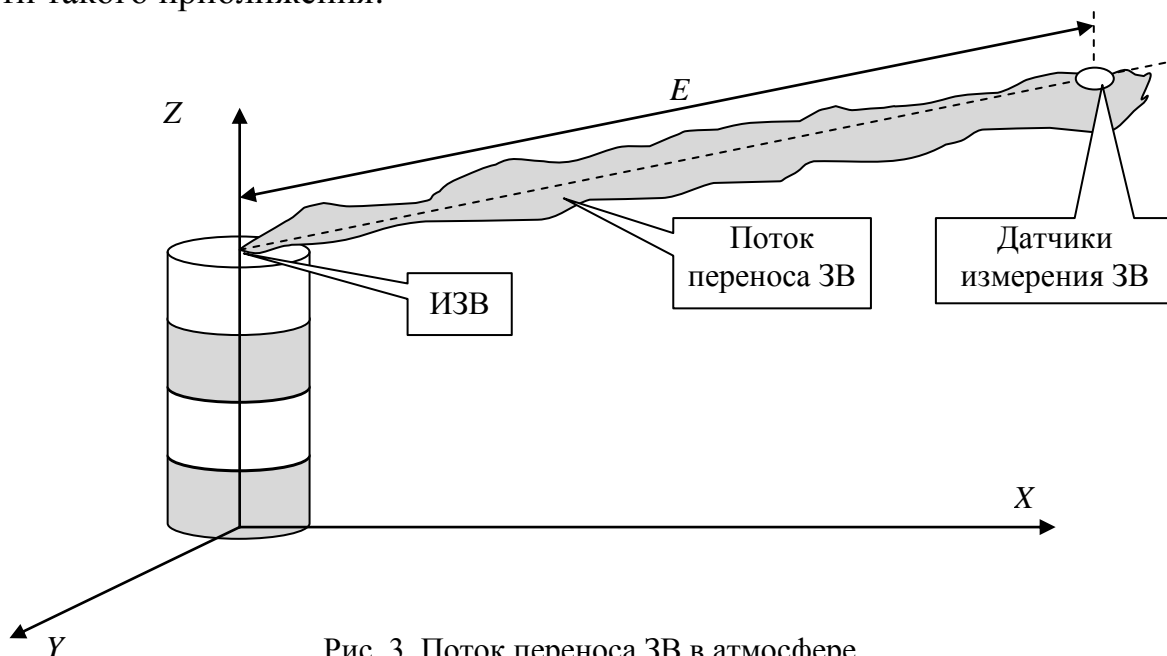


Рис. 3. Поток переноса ЗВ в атмосфере

В соответствии с отмеченными обстоятельствами рассматриваются алгоритмы обработки метеорологических данных  $V$ ,  $T^\circ$ ,  $P$ ,  $W$  в виде математических ожиданий  $M(V)$ ,  $M(T^\circ)$ ,  $M(P)$ ,  $M(W)$ , автокорреляционных и взаимно – корреляционных функций  $R_{VV}$ ,  $R_{TT}$ ,  $R_{PP}$ ,  $R_{WW}$ ,  $R_{VT}$ ,  $R_{VP}$ ,  $R_{VW}$  на основе метода скользящего усреднения:

$$M(X_i(t)) = \frac{1}{T} \int_{t-\frac{T}{2}}^{t+\frac{T}{2}} X_i(t) dt, \quad i=1, 2, 3, 4, \quad (1)$$

где  $X_i(t)$  – исходные реализации процессов, соответствующих  $V$ ,  $T^\circ$ ,  $P$ ,  $W$ ,  $X_i(t) = (x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^s)$ ;

$$R_{xx}^i(t, \lambda) = \frac{1}{T_1} \int_{t-\frac{T_1}{2}}^{t+\frac{T_1}{2}} X_i^0(t) X_i^0(t+\lambda) dt, \quad (2)$$

где  $X_i^0(t) = X_i(t) - M(X_i(t))$ ;

$$R_{XY}^{i,j}(t, \lambda) = \frac{1}{T_2} \int_{t-\frac{T_2}{2}}^{t+\frac{T_2}{2}} X_i^0(t) Y_j^0(t+\lambda) dt, \quad (3)$$

где  $Y_j^0(t)$  – центрированные реализации исходных случайных процессов,  $i \neq j$ ;  
 $T$ ,  $T_1$ ,  $T_2$  – интервалы текущего сглаживания.

Взаимная корреляционная функция применяется для определения отношений параметра  $V$  с остальными параметрами  $T^\circ, P, W$ . При этом  $X_i(t)$  – исходные реализации, соответствующие  $V$ , а  $Y_i(t)$  – исходные реализации, соответствующие  $T^\circ, P, W$ .

Интервалы  $T, T_1, T_2$  определяются исходя из требуемой точности измерения оценок. Так для корреляционной функции  $R_{xx}^i(t, \lambda)$  интервал  $T_1$ , оценивается показателем

$$\gamma_R^2 = \frac{d_R^2}{D_{X_{cp}}^2}, \quad (4)$$

где среднеквадратическая погрешность оценки  $R_{xx}^i(t, \lambda)$  -

$$d_R = \sqrt{M \left\{ \left[ R_{xx}^i(t, \lambda) - R_{X_0}(t, \lambda) \right]^2 \right\}}, \quad (5)$$

$R_{X_0}(t, \lambda)$  – корреляционная функция  $i$ -ой реализации, построенная при обработке экспериментальных данных ансамбля из реализаций,

$$D_{X_{cp}} = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} D_X(t) dt - \text{среднее значение текущей дисперсии } D_X(t).$$

В диссертации приводятся расчёты численных оценок  $\gamma_R$  и приближенные формулы определения интервалов текущего сглаживания.

В целом показатель  $\gamma_R$  служит для численной оценки близости анализируемого НСП к эквивалентному стационарному случайному процессу.

Алгоритмизация управления автоподстройкой ПИД – регулятора, рассмотренная в работах профессора Сольничева Р.И. и развитая здесь, состоит в следующем. При известном расстоянии от источника ЗВ до датчика ( $E$ ) скорость переноса ( $\tilde{V}$ ) является неизвестной функцией не только ветра ( $V$ ) но, и всех остальных метеорологических параметров. Величина запаздывания ( $\tau = \frac{E}{V}$ ) при переносе ЗВ от источника до датчика измерения являются функцией, -

$$\tau = F(V, T^\circ, P, W, E). \quad (6)$$

В этой связи требуется автоподстройка коэффициента  $K_{И}$  (коэффициент передачи интегрирующего звена) в ПИД – регуляторе при непрерывном (или с допустимой дискретностью) поступлении метеорологических данных и определение закона управления автоподстройкой с дальнейшим построением соответствующей программы контроллера, реализующего зависимость, -

$$K_{И} = F^0(V, T^\circ, P, W, E) = K_{И}(\zeta). \quad (7)$$

При этом требуемые характеристики процессов регулирования достигаются при соотношении  $K_{И} \cdot \tau = a \cong 0.8 \div 1.2$ .

Поскольку функция  $K_{И}(\zeta)$  неизвестна, то приближение к ней строится исходя из следующих соотношений:  $\tau_{\text{потока}} = \frac{E}{M(\tilde{V}(t))} \cong \tau_{cp} + \Delta\tau$ ,

$$M(\tilde{V}(t)) = M(V(t)) + M(\Delta\tilde{V}(t)/T^0, P, W), \quad (8)$$

$M(V(t))$ ,  $t_i < t < t_{i+1}$ ,  $i=1..12$  (месяцы) – математическое ожидание усредненной скорости потока по основной составляющей – скорости ветра  $V(t)$ , с учётом колебаний по месяцам, соответствующее  $\tau_{cp}$ ,

$M(\Delta\tilde{V}(t)/T^0, P, W)$  – условное математическое ожидание, соответствующее  $\Delta\tau$  – дополнению к  $\tau_{cp}$  от влияния остальных метеорологических составляющих  $T^0, P, W$ , при этом  $t$  меняется в диапазоне,  $t_i < t < t_{i+1}$  (сутки), в предельном случае  $\{t=0, 1\}$ , (полдень – 0, полночь – 1).

Оценка  $M(V(t))$  производится по результатам обработки реализаций  $V(t)$ , оценка величины  $M(\Delta\tilde{V}(t)/T^0, P, W)$  по уравнению регрессии

$$M(\Delta\tilde{V}(t)/T^0, P, W) = b_0 + \sum_1^3 b_i \cdot M(X_i(t)), \quad (9)$$

$X_1 = T^0, X_2 = P, X_3 = W, b_0, b_i$  – коэффициенты регрессии.

Определение коэффициентов  $b_0, b_i$  осуществляется по методу наименьших квадратов.

В результате строится алгоритм управления автоподстройкой коэффициента  $K_{И}$  в ПИД – регуляторе с учётом ввода в ЗСУ ПТ метеорологических данных:

$$K_{И} = \frac{a \left[ \bar{M}(V(t)) + \bar{M}(\Delta\tilde{V}(t)/T^0, P, W) \right]}{\bar{E}}. \quad (10)$$

где  $\bar{M}(V(t)) = \frac{M(V(t))}{\max\{M(V(t))\}}$ ;  $\bar{E} = \frac{E}{E_{max}}$ ;  $\bar{M}(\Delta\tilde{V}(t)/x_i) = \frac{M(\Delta\tilde{V}(t)/x_i)}{\max\{M(\Delta\tilde{V}(t)/x_i)\}}$ .

**В третьей главе** рассматриваются вопросы разработки программного и информационного обеспечения подсистемы САПР УМП ЗСУ ПТ, в том числе построение БД УМП ЗСУ ПТ, структуры и модулей программного обеспечения, интерфейсов. Предложены программные средства подсистемы САПР УМП ЗСУ ПТ.

В этой главе приведены основные этапы разработки БД УМП ЗСУ ПТ, требования к сохранению и организации этой БД УМП ЗСУ ПТ.

Рассмотрены средства построения БД с помощью СУБД Microsoft *SQL Server 2012*, которая выбрана для разработки БД УМП ЗСУ ПТ и основные причины, определившие такой выбор.

На основе анализа разнообразных программных средств и в качестве среды для разработки программного обеспечения подсистемы САПР УМП ЗСУ ПТ, выбрана интегрированная среда *MATLAB R2011b*.

Основными причинами, определившими выбор *MATLAB R2011b*, явились следующие:

- применение этой среды в ранее разработанных подсистемах САПР ЗСУ ПТ.
- возможность интеграции с другими подсистемами САПР ЗСУ ПТ, простота подключения к БД УМП ЗСУ ПТ.
- интерактивная среда для разработки кода, управления файлами и данными.

- наличие функции вероятностных расчётов, решения дифференциальных уравнений и др.
- богатые средства визуализации и графики.

Структура программного обеспечения подсистемы САПР УМП ЗСУ ПТ в среде MATLAB представлена на рис. 4.

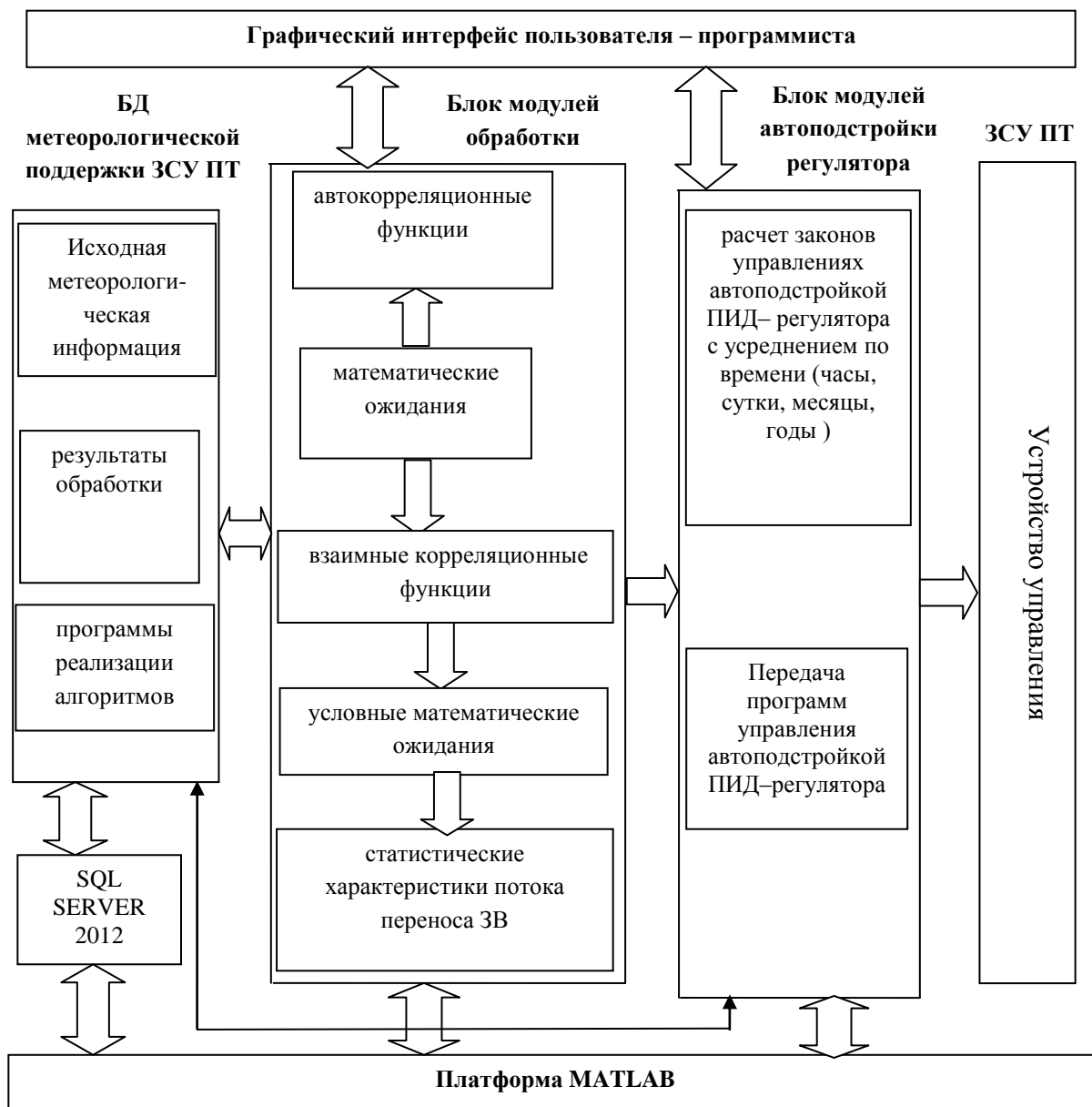


Рис 4 Структура программного обеспечения подсистемы САПР УМП ЗСУ ПТ

В структуру входят следующие компоненты:

1. БД УМП ЗСУ ПТ;
2. Блок модулей обработки;
3. Блок модулей автоподстройки регулятора;

БД УМП ЗСУ ПТ включают файлы:

- исходной метеорологической информации;
- результатов обработки;

- программной реализации алгоритмов автоподстройки.

В каждом файле формируются таблицы в соответствии с задачами, решаемыми БД УМП ЗСУ ПТ.

Файлы результатов обработки - это разделы БД УМП ЗСУ ПТ сохранения результатов обработки метеорологических данных.

Файлы программы реализации алгоритмов автоподстройки – это разделы БД УМП ЗСУ ПТ сохранения законов управления автоподстройкой ПИД – регулятора.

Информация из БД УМП ЗСУ ПТ отображается на экране оператора в виде рисунков, графиков, таблиц.

Блок модулей обработки предназначен для определения характеристик потока переноса ЗВ с учётом влияния метеорологических данных.

Блок модулей автоподстройки регулятора содержит законы управления автоподстройкой ПИД - регулятора в ЗСУ ПТ.

**В четвертой главе** рассмотрены структура и компоненты подсистемы САПР УМП ЗСУ ПТ и алгоритмическая схема её применения.

Для работы подсистемы САПР УМП ЗСУ ПТ потребуется запуск среды *MATLAB R2011b*, *SQL Server 2012*.

После запуска подсистемы САПР УМП ЗСУ ПТ происходит включение программных модулей в соответствии с разработанными алгоритмами. Эта подсистема наиболее эффективна на этапах эскизного проектирования и испытаний УМП в составе ЗСУ ПТ.

Приведём здесь результаты тестирования подсистемы САПР УМП ЗСУ ПТ.

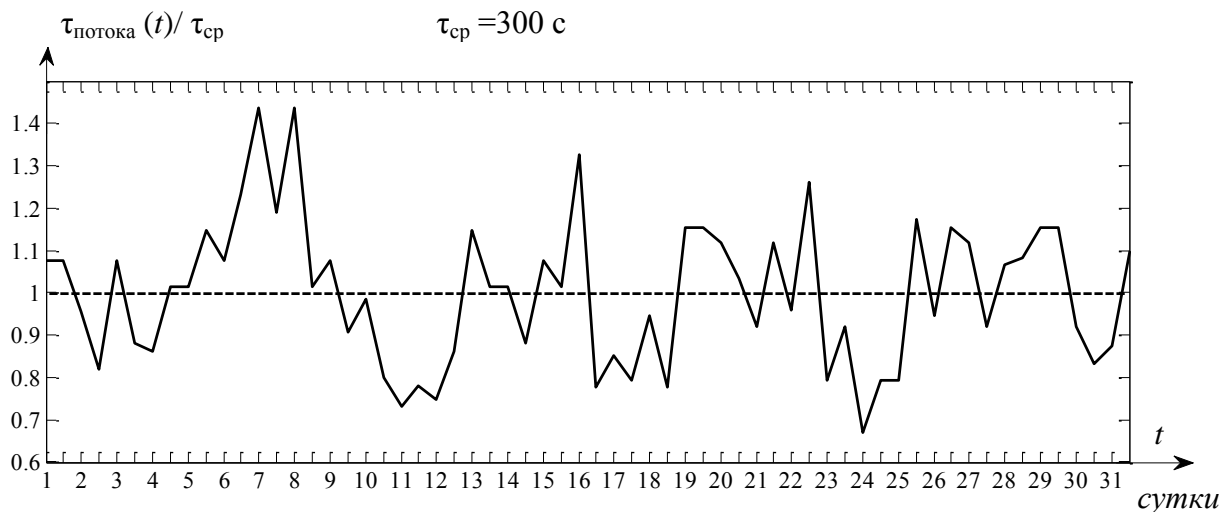


Рис 5. Возмущающее воздействие от метеорологического влияния на ЗСУ ПТ.

На рис 5 приведен пример возмущающего воздействия от метеорологического влияния на ЗСУ ПТ –  $F(t)$  (см рис. 1).

Результат тестирования подсистемы САПР УМП ЗСУ ПТ применительно к оценке воздействий  $x(t)$ , как импульсного, и метеорологического возмущения  $F(t)$  без автоподстройки ПИД – регулятора приведен на рис 6.

Основными возмущающими воздействиями являются продукты сгорания угля и мазута, которые образуются в результате реакции горения соответствующего топлива в активной зоне топливного реактора. В качестве топливных реакторов

рассматриваются топливные агрегаты ТЭЦ в городах Ханоя Вьетнама.

В примерах основным видом ЗВ рассматривается диоксид серы  $SO_2$ .

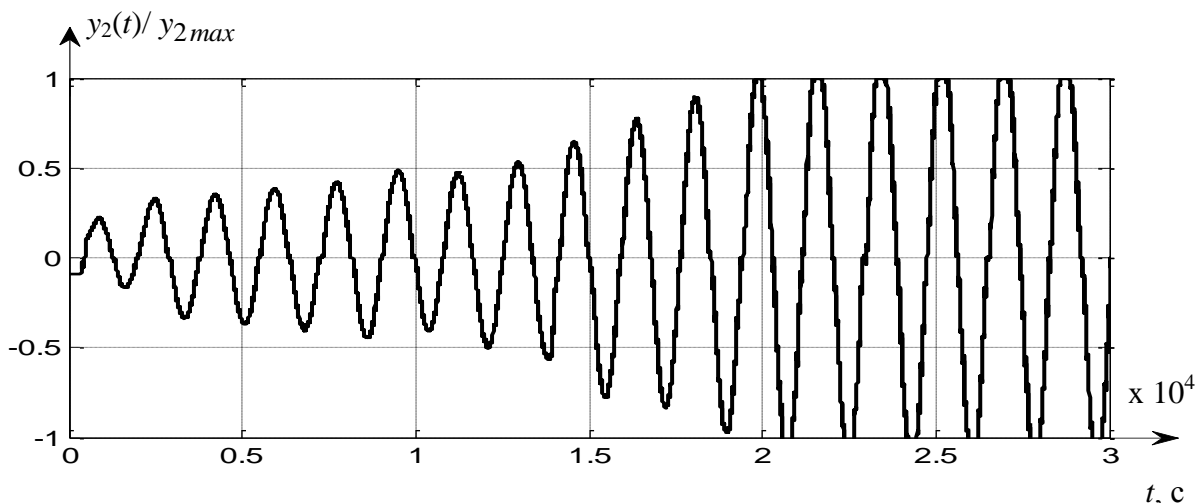


Рис 6 Тестирование подсистемы САПР УМП ЗСУ ПТ.

Очевидно, что без применения автоподстройки ПИД – регулятора в ЗСУ ПТ, система неустойчива.

Результат тестирования подсистемы САПР УМП ЗСУ ПТ применительно к оценке тех же воздействий с автоподстройкой ПИД – регулятора приведен на рис 7.

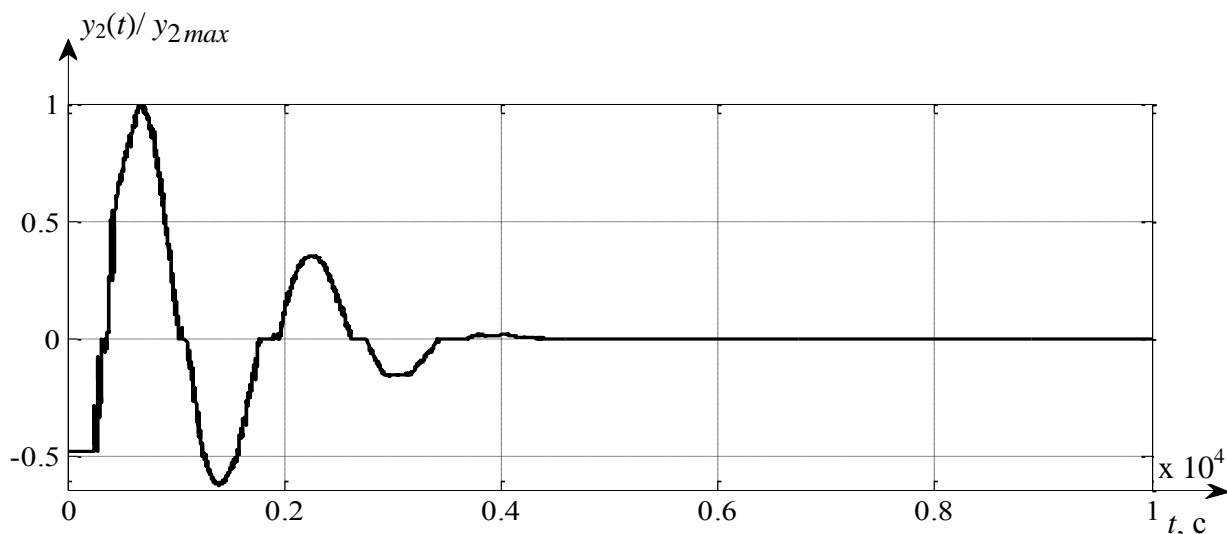


Рис 7 Тестирование подсистемы САПР УМП ЗСУ ПТ.

Как показали результаты тестирования подсистемы САПР УМП ЗСУ ПТ, необходима автоподстройка регулятора в ЗСУ ПТ для обеспечения компенсации метеорологических возмущений по критериям устойчивости и качеству ЗСУ ПТ как САУ.

В этой главе также приведены результаты применения проектировщиками ЗСУ ПТ подсистемы САПР УМП ЗСУ ПТ.

Первым шагом применения подсистемы САПР УМП ЗСУ ПТ является проверка поступления метеорологических данных в БД УМП ЗСУ ПТ и блок «Обработка» из центра метеорологической информации.

Исходными для блока «Обработка» могут быть также метеорологические данные, накопленные в БД УМП ЗСУ ПТ. В блоке «Обработка» определяются характеристики скорости потока переноса ЗВ с учётом влияния метеорологических параметров и оценкой точности их обработки.

На рис 8, 9 приведены результаты применения подсистемы САПР УМП ЗСУ ПТ при испытаниях УМП в составе ЗСУ ПТ при получении функций  $M(\Delta\tilde{v}(t))$  и  $M(\tilde{v}(t))$ ,  $M(V(t))$  усредненных по месяцам и в течение года  $M(V(t))_{\text{средн}}$ ,  $M(\tilde{v}(t))_{\text{средн}}$ .

Функции  $M(\Delta\tilde{v}(t))$ ,  $M(\tilde{v}(t))$  и  $M(V(t))$  вычислялись после приведения НСП  $V(t)$ ,  $T^\circ(t)$ ,  $P(t)$ ,  $W(t)$  к эквивалентным стационарным процессам в соответствии с разработанными алгоритмами.

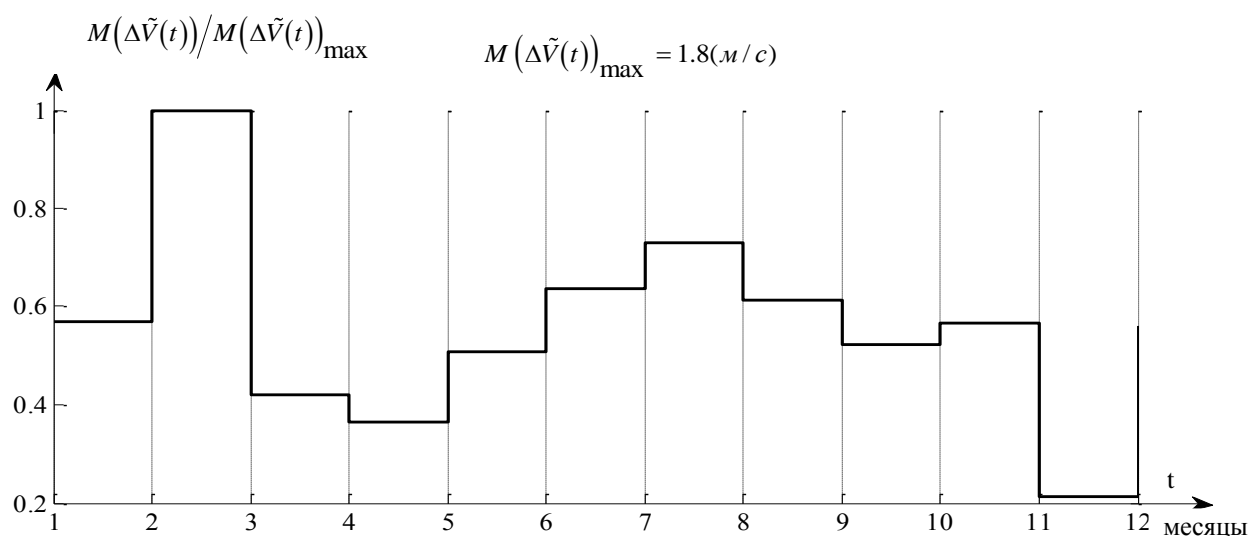


Рис 8. Функция  $M(\Delta\tilde{v}(t))$

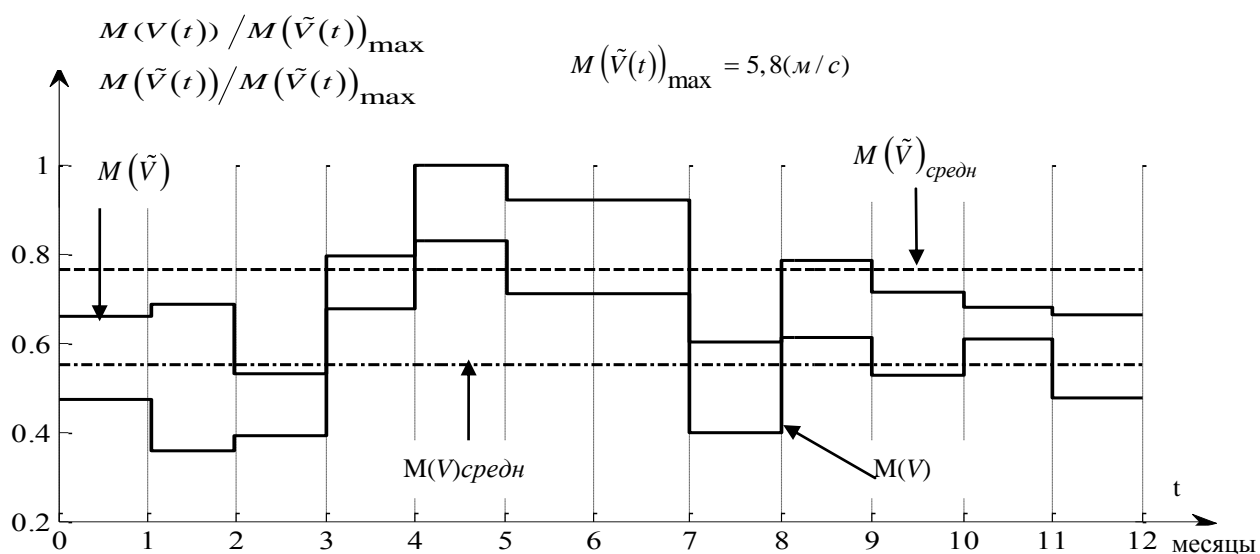


Рис 9. Функции  $M(\tilde{v}(t))$  и  $M(V(t))$

В блоке «Программатор» формируются законы управления автоподстройкой ПИД - регулятора в ЗСУ ПТ как временные процессы с выпуском соответствующей проектной документации.

В блоке «Преобразование» осуществляется ввод сигналов управления автоподстройкой в контроллер ПИД – регулятора.

На рис 10 приведен пример применения подсистемы САПР УМП ЗСУ ПТ для формирования законов управления автоподстройкой коэффициента  $K_{и}(t)$  ПИД – регулятора с усреднением по месяцам при оценке среднего значения  $\overline{K_{и}(t)} = K_{иср}$  в течение года.

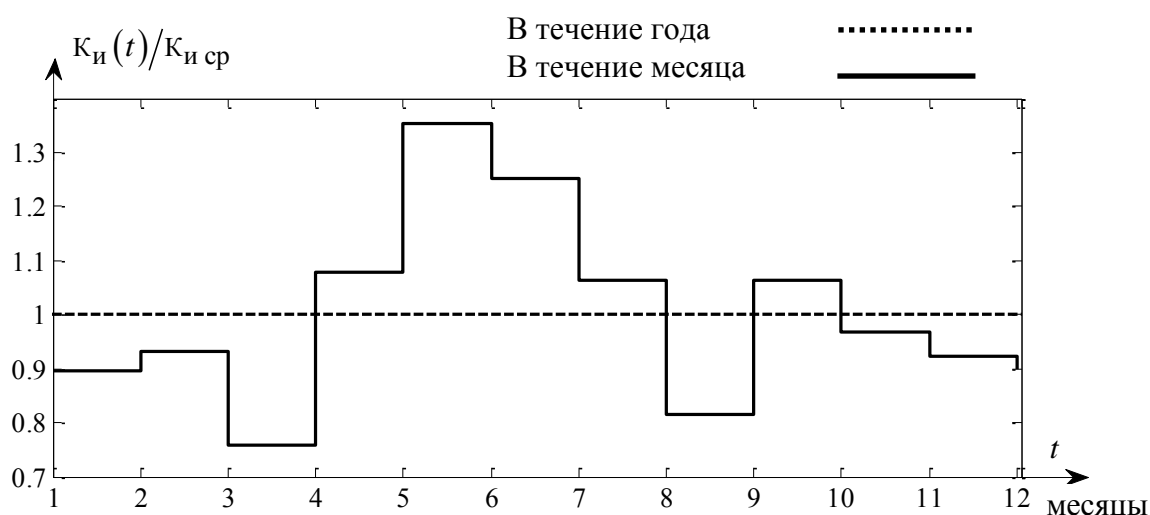


Рис. 10. Закон управления автоподстройкой ПИД – регулятора.

В диссертации также показано применение подсистемы САПР УМП ЗСУ ПТ для вычисления оценок точности обработки метеорологических данных.

Результаты, полученные в блоках “обработка” и “программатор”, сохраняются в БД УМП ЗСУ ПТ как проектная документация.

**В заключении** сформулированы основные результаты, достигнутые в ходе выполнения диссертационной работы:

1. Предложена функциональная схема подсистемы САПР УМП ЗСУ ПТ, предназначенная для проектирования УМП ЗСУ ПТ.
2. Проведен анализ и адаптация алгоритмов обработки метеорологических данных как НСП.
3. Проведен анализ оценки точности обработки метеорологических данных при приведении НСП к эквивалентным стационарным случайным процессам.
4. Осуществлена алгоритмизация формирования закона автоподстройки ПИД – регулятора в ЗСУ ПТ.
5. Построена БД УМП ЗСУ ПТ для сохранения, обновления и передачи метеорологических данных в ЗСУ ПТ в режиме реального времени.
6. Разработано программное обеспечение подсистемы САПР УМП ЗСУ ПТ.



7. Предложена алгоритмическая схема применения подсистемы САПР УМП ЗСУ ПТ и приведено её тестирование. Результаты тестирования показали, что применение разработанной подсистемы САПР является эффективным инструментом проектировщика ЗСУ ПТ в части УМП.

## **ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК России:**

1. Сольнищев Р.И., До Суан Чо. Построение баз данных метеорологической информации в замкнутой системе управления «Природа – Техногеника» // Программные продукты и системы – 2013. – №1. стр. 125-129.

2. Сольнищев Р.И., До Суан Чо. Алгоритмизация обработки и передачи метеорологических данных в Замкнутой системе управления « Природа – Техногеника » // Информационно-управляющие системы – 2013 № 3. стр. 30-35.

3. Сольнищев Р.И., До Суан Чо. Программная реализация метеорологической поддержки Замкнутой системы управления «Природа – Техногеника» // Информационно-управляющие системы – 2013. № 5. стр. 50-55.

4. Сольнищев Р.И., До Суан Чо., Шапошиков.Б.И. К оценке точности обработки метеорологических данных в Замкнутой системе управления «Природа – Техногеника» // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2013.- № 7. стр. 59-62.

### **Другие статьи и материалы конференций:**

5. Сольнищев Р.И., До Суан Чо, Коршунов Г.И. Моделирование замкнутой системы управления «Природа – Техногеника» при воздействии метеорологических возмущений // Anniversary Scientific International Conference 45 years Computer Science and Engineering Department, Technical University Of Varna, 27 – 28 September 2013, Varna, Bulgaria. Том 2.- С. 20-25.

6. До Суан Чо. Вопросы информационного обеспечения замкнутой системы управления “Природа - Техногеника”. // Материалы XV межд. конференции по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2012), – Спб: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2012. С. 134-137.

7. До Суан Чо. Принципы разработки программного обеспечения САПР метеорологической поддержки Замкнутой системы управления «Природа – Техногеника». // Материалы XVI межд. конференции по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2013), – Спб: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013. С. 97-100.

8. До Суан Чо. Вопросы метеорологической поддержки в Замкнутой системе управления “ Природа – Техногеника ”. // Материалы XIX межд. конф. «Современное образование: содержание, технологии, качество». – Спб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013, Том 1.- С. 101-103.

9. R.I. Solnitsev, Do Xuan Cho. The simulation subsystem of Nature-Technogenic system // Моделирование подсистемы систем “Природа - Техногеника”// Informational Conference Southeast Asian Open and Distance Learning in the 21st Century “ISODL” 2012, p.122- 125.

10. R.I. Solnitsev, Do Xuan Cho, G.I. Korshunov. The mobile control system for the air pollutants compensation // Систем подвижного управления компенсаций загрязняющих воздух веществ // Journal of Science (Hanoi National University of

Education) – 2013.

11. Сольнищев Р.И. До Суан Чо. Замкнутая система управления Природа - Техногеника. // Доклад на Учёном Совете Института Экологических Технологий Вьетнамской Академии Наук (ИЭТ ВАН), Ханой, 24 октября 2012 г.