

ВЛАДИМИР ПЕТРОВ

Структурный анализ систем

ВЕПОЛЬНЫЙ АНАЛИЗ. ТРИЗ



Владимир Петров

**Структурный анализ систем.
Вепольный анализ. ТРИЗ**

«Издательские решения»

Петров В.

Структурный анализ систем. Вепольный анализ. ТРИЗ /
В. Петров — «Издательские решения»,

ISBN 978-5-44-939970-0

Эта книга представляет собой впервые созданный учебник по вепольному анализу. Материал легко и быстро усваивается. В книге приводится около 250 примеров и более 60 задач (из них 102 примера и 42 задачи для самостоятельного разбора), более 100 иллюстраций, более 100 физических эффектов. Книга рассчитана на широкий круг читателей и будет особенно полезна тем, кто хочет быстро получать новые идеи.

ISBN 978-5-44-939970-0

© Петров В.
© Издательские решения

Содержание

Посвящение	6
Благодарности	7
Вепольный анализ	8
Введение	9
Глава 1. Понятия вепольного анализа	10
Глава.2. Основные обозначения	13
Глава 3. Виды вепольных систем	17
3.1. Вепольные модели для полей	17
3.2. Виды вепольных систем для измерения и обнаружения	20
3.3. Виды вепольных структур	24
Глава 4. Устранение вредных связей	41
4.1. Тенденции устранения вредных связей	41
4.2. Устранение вредных связей введением ВЗ	43
4.3. Устранение вредных связей введением $V3=B1, B2$ или их видоизменений	47
Конец ознакомительного фрагмента.	50

Структурный анализ систем Вепольный анализ. ТРИЗ

Владимир Петров

© Владимир Петров, 2019

ISBN 978-5-4493-9970-0

Создано в интеллектуальной издательской системе Ridero

Владимир Петров

Структурный анализ систем: Вепольный анализ. Учебник. ТРИЗ.

Это книга представляет собой впервые созданный учебник по вепольному анализу.

Материал легко и быстро усваивается.

В книге приводится около 250 примеров и более 60 задач (из них 102 примера и 42 задачи для самостоятельного разбора), более 100 иллюстраций, более 100 физических эффектов.

Книга рассчитана на широкий круг читателей и будет особенно полезна тем, кто хочет быстро получать новые идеи.

Посвящение

*Работа посвящается светлой памяти
учителя, коллеги и друга **Генриха Альтшуллера***

*Владимир Петров
vladpetr@013net.net*

Благодарности

Я премного благодарен моему учителю, коллеге и другу Генриху Альтшуллеру, прежде всего за то, что он создал основу теории развития технических систем – законы их развития, за то, что имел счастье общаться и обсуждать с ним некоторые материалы данной книги.

Хочу выразить глубокую благодарность за ценные замечания, примеры и предложения при работе над этой книгой моему коллеге и другу Борису Голдовскому, Мастеру ТРИЗ, Генеральному конструктору подводной техники, Лауреату премии Правительства РФ в области науки и техники, Почетному судостроителю, ветерану-подводнику (Нижний Новгород, Россия).

Вепольный анализ

...веполь является схемой минимальной ТС: он включает изделие, инструмент и энергию (поле), необходимую для воздействия инструмента на изделие. Любую сложную техническую систему можно свести к сумме веполей.¹

Г. С. Альтшуллер

¹ Альтшуллер Г. С. Найти идею: введение в теорию решения изобретательских задач / Г. С. Альтшуллер; Отв. ред. А. К. Дюнин. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1986. – 209 с.

Введение

Для анализа и синтеза систем используется моделирование, которое является одной из составляющих талантливости мышления². Существуют разные способы моделирования, например, вещественное, математическое, компьютерное мысленное и т. д.

В данной книге будет рассматриваться только мысленное моделирование, помогающее решать сложные (изобретательские) задачи. Напомним, что изобретательская задача – это задача содержащая противоречие³, являющееся одним из важных понятий теории решения изобретательских задач (ТРИЗ).

Моделированием структуры системы в ТРИЗ занимаются функциональный и **вепольный анализ**.

Вепольный анализ предназначен для представления исходной системы в виде определенной (структурной) модели и преобразования ее для получения структурного решения, устраняющего недостатки.

² Петров Владимир. Талантливое мышление: ТРИЗ/ Владимир Петров. [б. м.]: Издательские решения, 2018. – 280 с. – ISBN 978-5-4493-5785-4

³ Петров Владимир. Решение нестандартных задач: ТРИЗ / Владимир Петров. [б. м.]: Издательские решения, 2018. – 218 с. – ISBN 978-5-4493-6332-9

Глава 1. Понятия вепольного анализа

Структурный вещественно-полевой (вепольный) анализ – раздел ТРИЗ, изучающий и преобразующий структуру систем. Вепольный анализ разработан Г. С. Альтшуллером.

Вепольный анализ – это язык схем, позволяющий представить исходную систему в виде определенной (структурной) модели. С помощью специальных правил выявляются свойства этой системы. Затем по конкретным закономерностям преобразовывают исходную модель задачи и получают структуру решения, которое устраняет недостатки исходной системы.

Статистический анализ решений показал, что для повышения эффективности систем их структура должна быть определенной. Модель такой структуры называется **веполем**.

Веполь – модель минимально управляемой системы, состоящей из двух взаимодействующих объектов и их взаимодействия.

Взаимодействующие объекты условно названы **веществами** и обозначаются **V₁** и **V₂**, а само взаимодействие называется **полем** и обозначается **П**.

Под «**веществом**» будем понимать любой объект, начиная с материала, его структуры, молекул, атомов, до самых сложных систем, например, космическая станция. В информационных системах это может быть *элемент* или *данные*.

Поле может представлять собой любое **действие** или **взаимодействие**, например, *энергию*, *силу* или *информацию*. В информационных системах это может быть *алгоритм*.

Веполь изображается схемой (1.1).



Термин **ВеПолю** произошел от слов «**Вещество**» и «**Поле**».

Вепольный анализ включает в себя определенные правила и тенденции. Эти тенденции подчиняются **закону увеличения степени вепольности**, который будет описан ниже.

Вепольный анализ предназначен для:

- представления исходной структуры задачи (системы);
- определения структурного решения задачи;
- выявления перспективы развития структуры системы.

Если **V₁** – изделие, **V₂** – инструмент, «обрабатывающий» изделие **V₁**, а **П** – поле (энергия, сообщаемая инструменту), то веполь будет иметь вид (1.2).



Пример 1.1. Разрезание хлеба

Продemonстрируем веполь на примере нарезки хлеба.

Хлеб B_1 разрезают ножом B_2 , прикладывая силу руки P_1 (поле механических сил). В данном случае P_1 – линейное перемещение ножа и давление.

Этот же пример можно представить и другой вепольной схемой (1.3): нож B_2 действует на хлеб B_1 через механическое поле P_2 , представляющее собой давление ножа на хлеб или трение между ножом и хлебом.



Пример 1.2. Информационная система

Если B_1 – элемент (программа) 1, B_2 – элемент (программа) 2, а P_1 – поле (сигнал – информация), то вепольную модель можно представить схемой (1.4). Эту же формулу можно представить и так: B_1 – данные (информация) 1, B_2 – данные (информация) 2, а P_1 – алгоритм.



Введем понятие «отзывчивости».

Отзывчивость в вепольном анализе – это свойство *вещества В* реагировать (отзываться) на воздействие *поля П*, т. е. выполнять необходимое (заданное) действие или *вещества В* генерировать необходимое *поле П*.

Приведем примеры «отзывчивых» веществ и полей:

1. **Ферромагнитное вещество** отзывчиво на **магнитное поле**.
2. **Тензорезистор** отзывчив на *деформацию, давление, напряжение, перемещение* (механическое поле).
3. **Материал с памятью формы** отзывчив на **тепловое поле**.

4. **Флуоресцентные и фоточувствительные вещества** отзывчивы на **рентгеновское излучение**.
5. **Поляризационная пластина** отзывчива на **оптическое поле**.
6. **Фотодиод** отзывчив на **оптическое поле**.
7. **Жидкие кристаллы** отзывчивы на **тепловое и электрическое поле**.
8. И т. д.

Глава.2. Основные обозначения

В данном разделе представлены основные обозначения вепольного анализа.

Связь между элементами обозначается *линией*.

На схеме (2.1) изображены вещества **V₁**, **V₂** связанные между собой каким-то образом (не всегда известным), а на схеме (2.2) показана связь **П₁** и **V₁**.



Действие (воздействие) обозначается *стрелкой*.

Воздействие инструмента **V₁** на изделие **V₂** может быть изображено схемой (2.3). Стрелка указывает направление действия **V₁** на **V₂**



Схема (2.4) показывает действие поля **П₁** на вещество **V₁**.



Может быть и **обратное действие V₂ на V₁**, показано на схеме (2.5).

$$\mathbf{B}_1 \longleftarrow \mathbf{B}_2 \quad (2.5)$$

или $\mathbf{B}_1$ на Π_1 – схема (2.6).

$$\begin{array}{c} \Pi_1 \\ \swarrow \\ \mathbf{B}_1 \end{array} \quad (2.6)$$

Взаимодействие обозначается двухсторонней стрелкой.

$$\mathbf{B}_1 \longleftrightarrow \mathbf{B}_2 \quad (2.7)$$

Схема (2.8) описывает **взаимодействие** поля и вещества Π_1 и $\mathbf{B}_1$.

$$\begin{array}{c} \Pi_1 \\ \swarrow \\ \mathbf{B}_1 \end{array} \quad (2.8)$$

Действия могут быть **неэффективными** или **недостаточными**. Они обозначаются прерывистой линией, как показано на схеме (2.9) и (2.10).

$$\mathbf{B}_1 - - - \mathbf{B}_2; \quad \mathbf{B}_1 - - \rightarrow \mathbf{B}_2; \quad \mathbf{B}_1 \leftarrow - \rightarrow \mathbf{B}_2 \quad (2.9)$$

$$\begin{array}{c} \Pi_1 \\ \diagdown \\ B_1 \end{array} ; \quad \begin{array}{c} \Pi_1 \\ \diagdown \\ B_1 \end{array} ; \quad \begin{array}{c} \Pi_1 \\ \diagdown \\ B_1 \end{array} \quad (2.10)$$

Избыточные действия обозначаются двумя параллельными линиями (стрелками). Эти действия показаны на схеме (2.11) и (2.12).

$$B_1 \Longrightarrow B_2; \quad B_1 \Longrightarrow B_2; \quad B_1 \Longleftrightarrow B_2 \quad (2.11)$$

$$\begin{array}{c} \Pi_1 \\ \parallel \\ B_1 \end{array} ; \quad \begin{array}{c} \Pi_1 \\ \parallel \\ B_1 \end{array} ; \quad \begin{array}{c} \Pi_1 \\ \parallel \\ B_1 \end{array} \quad (2.12)$$

Вредные, нежелательные действия обозначаются волнистой линией. Эти действия показаны на схеме (2.13) и (2.14).

$$B_1 \sim B_2; \quad B_1 \sim B_2; \quad B_1 \sim B_2 \quad (2.13)$$

$$\begin{array}{c} \Pi_1 \\ \sim \\ B_1 \end{array} ; \quad \begin{array}{c} \Pi_1 \\ \sim \\ B_1 \end{array} ; \quad \begin{array}{c} \Pi_1 \\ \sim \\ B_1 \end{array} \quad (2.14)$$

Знак **перехода** от *исходной вепольной модели* к *необходимой* обозначается двойной стрелкой, например как показано в (2.15).

$$B_1 \Rightarrow \begin{array}{c} \text{II} \\ \diagup \quad \diagdown \\ B_1 \text{ --- } B_2 \end{array} \quad (2.15)$$

Глава 3. Виды вепольных систем

3.1. Вепольные модели для полей

Можно представить три вида вепольных моделей:

- генерирование поля;
- преобразование поля;
- видоизменения поля.

Генерирование поля

Генерирование поля веществом представлено схемой (3.1). При помощи этой схемы могут быть описаны явления, происходящие, например, в: *магните, радиоактивном веществе, радио, электрете* (электрический аналог постоянного магнита), *электрической батарее, веществе с запахом* и т. п.



Вместо цифр у веществ и полей могут быть буквенные обозначения или смешанные, например, *магнит* в схеме (3.1) можно обозначить, как $\text{В}_{\text{маг}}$, $\text{П}_{\text{маг}}$ или В_1 , $\text{П}_{\text{маг}}$ ($\text{В}_{\text{маг}}$, П_1); *радиоактивное вещество* – $\text{В}_{\text{р. а.}}$, $\text{П}_{\text{р. а.}}$; *радио* – $\text{В}_{\text{рад}}$, $\text{П}_{\text{рад}}$; *электрет* – $\text{В}_{\text{эл}}$, $\text{П}_{\text{эл}}$ и т. д.

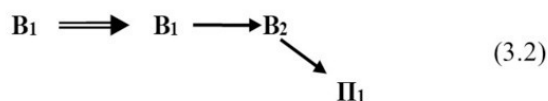
Приведем пример из области информационных систем.

Пример 3.1. Корректирующие коды

При записи, воспроизведении или передаче данных возникают ошибки под влиянием помех. Для обнаружения и исправления ошибок используют **корректирующие коды**.

При записи или передаче в полезные данные добавляют избыточную информацию (**контрольное число**), а при чтении или приеме контрольное число используют для обнаружения и исправления ошибок. При проверке определяют **контрольную сумму**. Она может использоваться, например, для детектирования компьютерных вирусов.

Необходимо проверить данные В_1 – левая часть схемы (3.2). При записи добавляют контрольное число В_2 . По контрольной сумме П_1 определяют правильность данных В_1 (нет ли ошибки или вируса).



Где:

V_1 — данные 1;

V_2 – данные 2 (избыточная информация – контрольное число);

Π_1 – контрольная сумма.

Преобразование поля

Преобразование поля веществом представлено на схеме (3.3). Вещество **преобразует один вид поля** (энергии или информации) Π_1 в **другой Π_2** вид. Это два качественно разных поля.

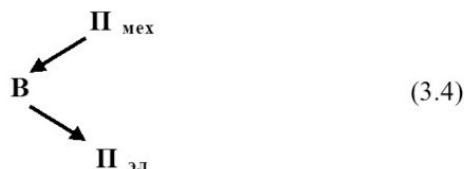


Примечание. Принято *входное поле* (в данном случае Π_1) располагать над веществом V , а *выходное Π_2* ниже вещества V .

Преобразование энергии могут осуществлять, например: генератор, двигатель, электродвигатель, измерительный элемент (датчик) и т. п.

Пример 3.2. Генератор

Генератор электрического тока V преобразует *вращательное поле Π_1* (*полемеханических сил*), которое может быть изображено и как $\Pi_{\text{мех}}$, в *электрическое поле Π_2* или $\Pi_{\text{эл}}$. Веполь будет иметь вид (3.4).



Пример 3.3. Электродвигатель

У *электродвигателя V* – обратное преобразование – *электрическое поле $\Pi_{\text{эл}}$* превращается в *механическое $\Pi_{\text{мех}}$ поле вращения*. Веполь будет иметь вид (3.5).



Преобразование информации.

Пример 3.4. Телефон

В телефоне – звуковая информация (акустическое поле $\Pi_{\text{ак}}$) преобразуется в электрическую $\Pi_{\text{эл}}$, и обратное преобразование – акустического поля $\Pi_{\text{ак}}$ в электрическую $\Pi_{\text{эл}}$, эти преобразования осуществляют микрофон и наушник, соответственно; радио преобразует электромагнитные волны (электромагнитное поле $\Pi_{\text{эл. м.}}$) в звуковые (акустическое поле $\Pi_{\text{ак}}$).

Видоизменение поля

Видоизменение поля веществом представлено схемой (3.6). Вещество изменяет характеристики одного и того же поля (энергии или информации) из Π_1 в Π_2 . Вид поля качественно не меняется, поэтому поля можно изобразить как Π^* , Π^{**} , тогда схему веполья (3.3) можно представить в виде (3.6).



Видоизменение энергии могут осуществлять, например, *трансформатор, транзистор, усилитель, выпрямитель, преобразователь частоты, аналого-цифровой преобразователь (преобразователь аналог-код), призма, линза* и т. п.

Видоизменение информации могут осуществлять, например, *преобразователи кодов, преобразователь информации (например, десятичной в двоичную и обратно), компьютер* и т. п.

3.2. Виды вепольных систем для измерения и обнаружения

Существует класс задач, в которых необходимо **измерять** какие-то параметры систем или **обнаруживать** какие-то объекты или их части. Условно такие системы будем называть – **измерительными**. Модели таких систем могут иметь вепольные структуры, рассмотренные ранее (3.2), (3.3) или (3.6).

Для **измерения** параметров вещества **V₁** или его **обнаружения** к нему *присоединяют* вещество **V₂**, которое может:

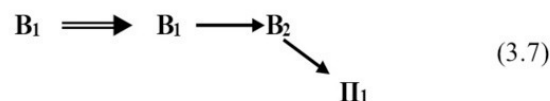
- генерировать поле **П₁** (3.7);
- преобразовывать поле **П₁** в поле **П₂** (3.9);
- видоизменять поле **П^{*}** в поле **П[»]** (3.10).

Генерирование поля

Необходимо **измерить** или **обнаружить** объект, который обозначим как вещество **V₁**. Для этого к нему присоединяют вещество **V₂**, которое **генерирует** поле **П₁**.

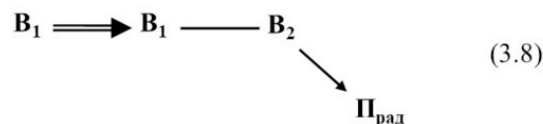
В вепольном виде генерирование поля описано схемой (3.7). Слева от двойной стрелки показано, что в системе нужно обнаружить или измерить (вещество **V₁**), а справа – *вепольная модель генерирования поля*, где **V₂** – вещество-генератор, которые мы рассмотрели выше.

По выделяемому полю можно легко обнаружить **V₁** или измерить его характеристики.



Пример 3.5. Обнаружение затонувшего объекта

Для обозначения места затонувшего объекта **V₁** к нему прикрепляют радиобуй **V₂**, дающий сигнал **П_{рад}** (3.8), который является радиомаяком для спасательных средств (рис. 3.1).



Где:

V₁ – затонувший объект;

V₂ – радиобуй;

П_{рад} – радиосигнал (радиополе – электромагнитное поле).

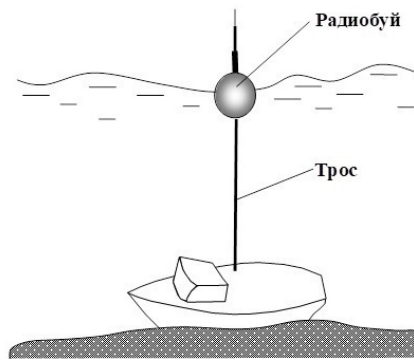
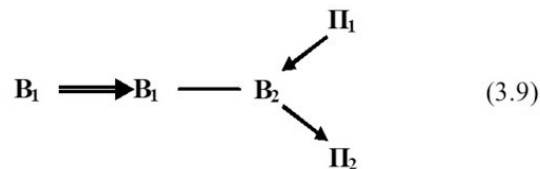


Рис. 5.1. Обнаружение затонувшего объекта

Преобразование поля

Необходимо **обнаружить** вещество V_1 . Для этого к нему присоединяют вещество V_2 , на которое воздействуют полем Π_1 и вещество V_2 преобразует его в поле Π_2 . Преобразование поля описано веполем (3.9).



Примечание. Следует отметить, что если объект измерения V_1 *отзывчив* на имеющееся в нашем распоряжении поле Π_1 и может адекватно реагировать на это поле (генерировать ответное поле Π_2), то нет необходимости добавлять другое вещество V_2 .

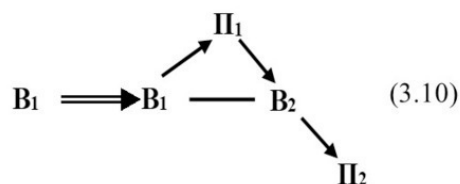
Пример 3.6. Измерение температуры

Градусник можно представить веполем (3.9).

V_1 – объект, температуру которого нужно измерить;

V_2 – градусник, «переводящий» температуру (тепловое поле Π_1 или $\Pi_{\text{тем}}$) в некоторый сигнал (поле Π_2), например, электрический сигнал $\Pi_{\text{эл}}$ или оптический $\Pi_{\text{опт}}$ – столб ртути, на который мы смотрим.

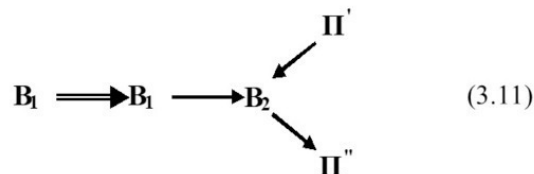
Схема (3.9) в данном примере может быть уточнена. Объект, температуру которого нужно измерить V_1 , генерирует поле (тепловое поле) Π_1 , воздействующее на вещество V_2 (градусник), показывающий температуру Π_2 . (3.10)



Схемой (3.9) можно представить любой датчик (сенсор), например, для измерения: давления, скорости, перемещения, положения, натяжения, расхода, влажности, уровня, радиоактивности и т. д.

Видоизменение поля

Необходимо **обнаружить** вещество V_1 . Для этого к нему присоединяют вещество V_2 , на которое воздействуют полем Π », и вещество V_2 **видоизменяет** его в поле Π »». Видоизменение поля описано веполем (3.11). Поля Π » и Π »» одной и той же природы, они, например, могут отличаться количественно, но могут быть и другие характеристики, например полярность, фаза, цвет и т. д.



Веполем (3.11) можно представить, например, любые электрические измерения: *напряжения, тока, мощности, частоты; измеритель информации* и т. д.

Пример 3.7. Обнаружение пешехода

Для того чтобы в темное время суток обнаружить и не сбить пешехода (V_1), к его одежде, обуви или сумке прикрепляют светоотражающий материал (V_2). Свет фар (Π ») автомобиля отражается от этого материала (V_2), и шофер видит отраженный свет (Π »»). Это можно представить веполем (3.12).

Где:

V_1 – пешеход;

V_2 – светоотражающий материал;

Π «_{опт} – свет фар (оптическое поле);

Π ««_{опт} – отраженный свет (оптическое поле).

Пример 3.8. Бактерии определяют химикат

Исследователи из Массачусетского технологического института (MIT) разработали устройство, определяющее конкретный химикат.

В качестве индикатора использовали конкретные бактерии, которые при прикосновении с определенным химическим веществом светятся⁴.

В качестве живого материала использовали конкретные бактерии, расположенные в воде, находящейся в гидрогеле.

Поддержание жизнедеятельности бактерий осуществляется с помощью жидкой питательной среды, расположенной в гидрогеле⁵.

Устройство выполнено в виде перчаток или бандажа (рис. 3.2).

⁴ Living sensors at your fingertips. URL: <http://news.mit.edu/2017/living-sensors-your-fingertips-0215>.

⁵ Xinyue Liu and others. Stretchable living materials and devices with hydrogel—elastomer hybrids hosting programmed cells. PNAS. February 15, 2017, URL: <http://www.pnas.org/content/early/2017/02/14/1618307114.full?sid=43417b52-d915-4e2a-ab1b-610afd15fe12>.



Рис. 3.2. Устройство, определяющее химикат

3.3. Виды вепольных структур

Существуют следующие виды вепольных структур:

1. **невепольная система** (3.13), (3.14), (3.15);
2. **вепольная система** – простой веполь (3.16);
3. **комплексный веполь**:
 - *внутренний комплексный веполь* (3.20), (2.21);
 - *внешний комплексный веполь* (3.24), (3.25);
 - *комплексный веполь на внешней среде* (3.28), (3.29);
 - *комплексный веполь на измененной внешней среде* (3.32), (3.33);
4. **цепной веполь** (3.36);
5. **двойной веполь** (3.40);
6. **смешанный** (3.43), (3.44).

Невепольная система

Система, состоящая из *одного элемента*: вещества $\mathbf{B}_1$ или поля $\mathbf{\Pi}_1$, описанных схемой (3.13), или *двух элементов*: двух веществ $\mathbf{B}_1$, $\mathbf{B}_2$ (3.14); вещества $\mathbf{B}_1$ и поля $\mathbf{\Pi}_1$ (3.15), называется **невепольной** или **неполной вепольной системой**.

$$\mathbf{B}_1; \mathbf{\Pi}_1 \quad (3.13)$$

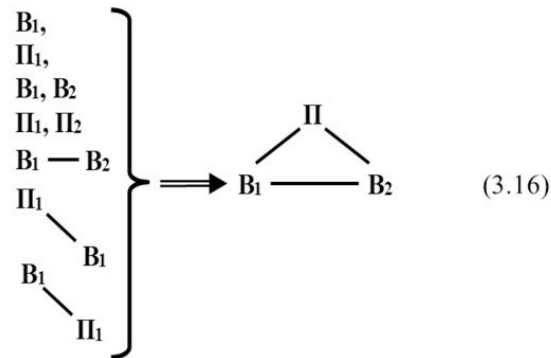
$$\mathbf{B}_1 \text{ — } \mathbf{B}_2 \quad (3.14)$$

$$\begin{array}{c} \mathbf{\Pi}_1 \\ \searrow \\ \mathbf{B}_1 \end{array} \quad (3.15)$$

Невепольные системы, как правило, неуправляемые или плохо управляемые.

Основное правило вепольного анализа

Невепольные системы для повышения управляемости необходимо сделать вепольными. Это правило можно условно представить в виде (3.16).



Задача 3.1. Снятие коры с древесины

Условия задачи

Обычно кору древесины отделяют механически в специальных корообдирочных барабанах или механическими инструментами, например топором. При этом повреждается и сама древесина.

Необходимо предложить способ отделения коры от древесины, который бы не портил древесину.

Разбор задачи

Разберем эту задачу с позиций вепольного анализа. Имеется древесина и кора. Система неведольная. Она может быть описана схемой (3.17).

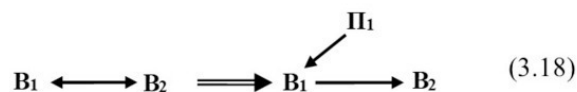


Где:

V₁ – древесина;

V₂ – кора.

Это не вепольная система ее необходимо достроить до вепольной. Достройка веполья заключается во ведении поля **П₁**, воздействующего только на кору в направлении ее отрыва от древесины. В вепольном анализе такое действие осуществляется через посредник, в данном случае через древесину **V₁**. Это показано вепольной схемой (3.18).



Необходимо подобрать поле **П₁**, которое может осуществить такое действие.

Между корой и древесиной (рис. 3.3) находится слой клеток (*камбий*), содержащий большое количество влаги, вскипание которой может оторвать кору. Вскипание можно осуществить с помощью вакуума или нагрева, например, токами высокой частоты. Таким образом, вепольный анализ рекомендует использовать *тепловое поле* $\Pi_1 = \Pi_{\text{теп}}$.

Здесь использовали ресурсы – структуру древесины – камбий, а также физические эффекты: кипение и нагрев токами высокой частоты.

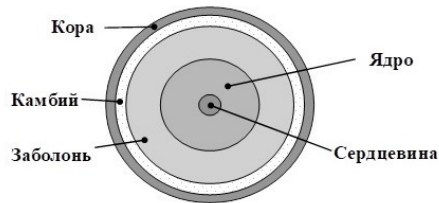


Рис. 3.3. Схема поперечного разреза ствола дерева

Задача 3.2. Слежение за объектом

Условия задачи

Необходимо следить за каким-то объектом V_1 .

Разбор задачи

Дано только одно вещество V_1 – объект слежения.

Система *невеполюная*.

Для слежения за каким-либо объектом к нему прикрепляют «жучок». С помощью специальной аппаратуры определяют место нахождения объекта слежения.

Итак, у нас имеется объект слежения V_1 . Построим вепольную схему слежения за объектом. Для этого добавим еще одно вещество V_2 («радиожук»), которое генерирует поле Π_1 (радиополе).

Веполь будет иметь вид (3.19).

$$V_1 \Rightarrow V_1 \longrightarrow V_2 \searrow \Pi_1 \quad (3.19)$$

Где:

V_1 —объект слежения;

V_2 – «радиожук»;

Π_1 – радиополе.

Дальнейшее **повышение управляемости вепольных систем** осуществляется *заменой веществ и/или полей на более управляемые и изменением структуры веполей*.

Рассмотрим виды вепольных структур.

Как мы отмечали выше, вепольные структуры могут быть **комплексные, цепные и двойные**. Рассмотрим эти структуры.

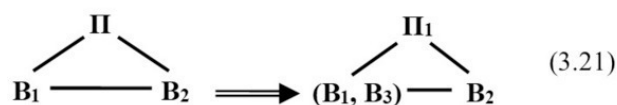
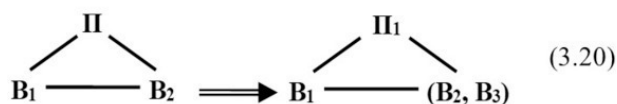
Комплексный веполь

Комплексный веполь – это веполь с дополнительным введенным веществом V_3 , которое может присоединяться к V_1 или V_2 , повышая управляемость системой или придавая ей новые свойства, тем самым, повышая эффективность технической системы.

Комплексные веполи бывают:

- внутренний комплексный веполь (3.20) и (3.21);
- внешний комплексный веполь (3.24) и (3.25);
- комплексный веполь на внешней среде (3.28) и (3.29);
- комплексный веполь на измененной внешней среде (3.32) и (3.33).

Внутренний комплексный веполь – это комплексный веполь, где добавка V_3 присоединяется внутрь веществ V_1 (3.20) или V_2 (3.21). Введение вещества *внутрь* условно показано в виде скобок.



Задача 3.3. Сбор разлитой нефти

Условия задачи

В результате аварий танкеров на поверхности моря разливается нефть (рис. 3.4).



Рис. 3.4. Крушение супертанкера «Эксон Вальдез» (Exxon Valdez)

24.03.1989 г., пролив Принца Уильяма возле Аляски (Prince William Sound, Alaska). Вылилось более 40 миллионов литров сырой нефти.

Один из методов сбора разлитой нефти на поверхности воды заключается в следующем. Пятно нефти окружают плавающими барьерами, которые предотвращают растекание нефти (рис. 3.5). Затем окруженное пространство засыпают пористыми гранулами – адсорбентами, которые впитывают нефть.



Рис. 3.5. Плавающие барьеры, ограждающие пятно нефти

Задача возникает при сборе гранул, заполненных нефтью.

Разбор задачи

Имеются гранулы **V₁**, заполненные нефтью **V₂**.

Система *невепольная*. Она представлена на схеме (3.22). Гранула **V₁** воздействует на нефть **V₂** адсорбируя ее (капиллярный эффект).

$$\mathbf{V_1} \longrightarrow \mathbf{V_2} \quad (3.22)$$

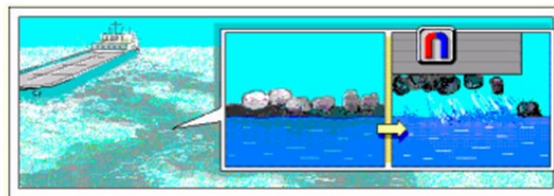
Где:

V₁ – гранула;

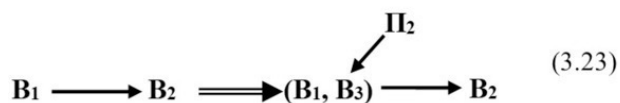
V₂ – нефть.

Для решения мы должны достроить систему до вепольной. Необходимо найти поле, *отзывчивое* на гранулу с нефтью, чтобы можно было ее легко убирать. Такое поле найти сложно, поэтому мы добавляем еще одно вещество **V₃** в гранулу **V₁**, которое будет отзываться на введенное поле **П₁**. Это поле должно поднимать гранулу, а вместе с ней и нефть.

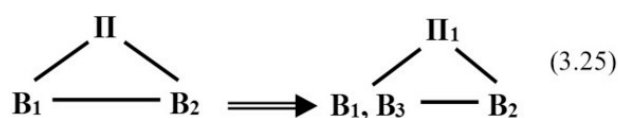
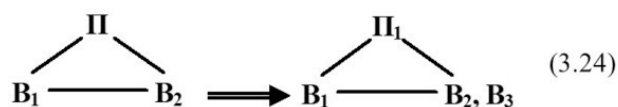
Предложено в гранулы добавить ферромагнитные частицы **V₃**, тогда их будет легко собрать магнитным полем **П₁** (рис. 3.6).

Рис. 3.6. Сбор нефти на поверхности моря⁶

Вепольная структура (3.23).



Внешний комплексный веполь – это комплексный веполь, где добавка **B₃** присоединяется внешне к **B₁** (3.24) или **B₂** (3.25). Этот вид комплексного веполя используется, когда невозможно или нежелательно вводить **B₃** внутрь имеющихся веществ.



Задача 3.4. Демонтаж радиоэлементов

Условия задачи

Демонтаж радиоэлементов производится с помощью паяльника. При этом часто перегрев (термоудар) приводит к порче радиоэлемента. Как быть?

Разбор задачи

Построим вепольную модель описанной системы. Она может быть представлена схемой (3.26).

⁶ Рисунок из компьютерной программы Innovation WorkBench компании Ideation International Inc.

$$\begin{array}{c}
 \Pi_1 \\
 \swarrow \\
 \overleftrightarrow{B_2 \text{ --- } B_1}
 \end{array}
 \quad (3.26)$$

Где:

Π_1 – температурное поле разогретого паяльника;

B_1 – олово;

B_2 – вывод (ножка) радиоэлемента.

Задача описывается веполем с полезной и вредной связью. Полезное действие (прямая стрелка от B_1 к B_2) – олово расплавляется и освобождает ножку радиоэлемента. Вредное (волнистая стрелка от B_1 к B_2) – горячее олово перегревает ножку радиоэлемента и собственно радиоэлемент.

Одно из возможных решений перейти к внешнему комплексному веполю (3.27), т. е. необходимо внешне ввести дополнительное вещество. Обозначим его как B_3 .

$$\begin{array}{c}
 \Pi_1 \quad \Pi_1 \\
 \swarrow \quad \swarrow \\
 \overleftrightarrow{B_1 \text{ --- } B_2} \quad \Longrightarrow \quad B_1 \text{ --- } B_2, B_3
 \end{array}
 \quad (3.27)$$

Чтобы радиоэлемент при демонтаже не испортился от термоудара, перед нагревом в место распайки вводят припой B_3 с температурой плавления ниже температуры плавления основного припоя (рис. 3.7). Дополнительный припой, представляющий собой сплав олово-свинец-висмут, существенно уменьшает термоудар радиоэлемента.

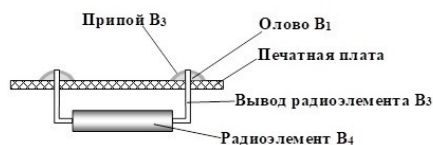
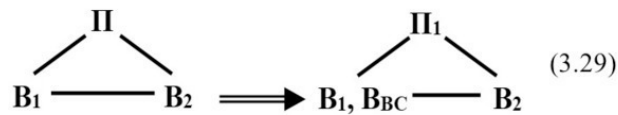
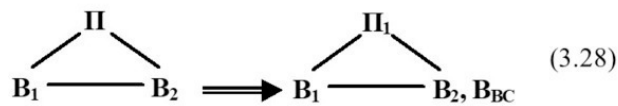


Рис. 3.7. Введение низкотемпературного припоя

Комплексный веполь на внешней среде – это внешний комплексный веполь, где в качестве B_3 используется *внешняя среда* $B_{ВС}$, которая может добавляться к B_2 (3.28) или к B_1 (3.29).

Этот вид комплексного веполя целесообразно использовать, когда невозможно или нежелательно присоединять B_3 к имеющимся в системе веществам.



$\text{В}_{\text{ВС}}$ – вещество внешней среды, $\text{В}_3 = \text{В}_{\text{ВС}}$.

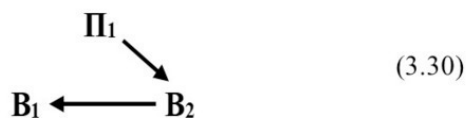
Задача 3.5. Очистка железнодорожных путей

Условия задачи

Очистку железнодорожных путей от снега или грязи осуществляют с помощью специального локомотива или навесного оборудования. Это не идеально. Необходимо приобретать специализированное оборудование, тратить лишнюю энергию, время, человеческие ресурсы на эксплуатацию и ремонт. Как избежать этого?

Разбор задачи

Вепольная схема задачи имеет вид (3.30).



Где:

В_1 – грязь или снег;

В_2 – щетка;

П_1 – вращение щетки.

Одно из возможных решений – перейти к **комплексному веполью на внешней среде** (3.31).



Где:

B_1 – грязь или снег;

B_2 – щетка;

Π_1 – вращение щетки;

B_3 – отражатель;

B_{BC} – воздух;

Π_2 – набегающий поток.

Очистку железнодорожных путей можно проводить набегающим на локомотив потоком воздуха, направляя его в нужное место с помощью специальных экранов и отверстий (рис. 3.8). Каждый локомотив может быть снабжен таким приспособлением⁷. Оно может устанавливаться при изготовлении локомотива. Тогда железнодорожные пути не нужно будет специально очищать.

В этом изобретении использовали ресурсы – набегающий поток воздуха.

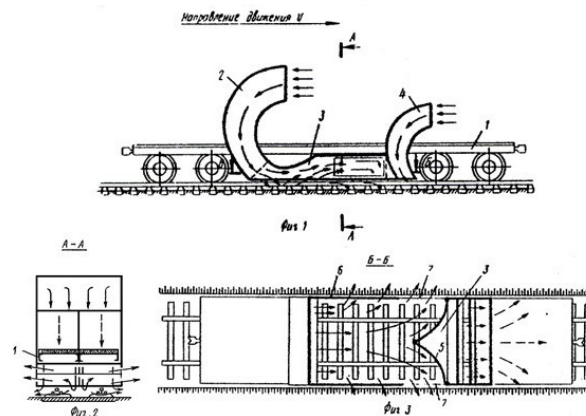


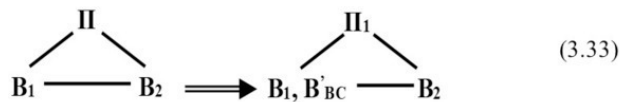
Рис. 3.8. Очистка железнодорожных путей. А. с. 1 054 483

1 – шасси; 2–4 – воздухопроводы; 2 – заборный воздухопровод; 3 – направляющий воздухопровод; 4 – вспомогательный воздухопровод; 5 – передние стенки воздухопровода; 6 – боковые стенки воздухопровода; 7 – выпускные окна.

Комплексный веполь на измененной внешней среде – это внешний комплексный веполь, где в качестве B_3 используется **измененная внешняя среда B'_{BC}** , которая может добавляться к B_1 (3.33) или к B_2 (3.32).

$$\begin{array}{c} \Pi \\ \swarrow \quad \searrow \\ B_1 \quad B_2 \end{array} \Rightarrow \begin{array}{c} \Pi_1 \\ \swarrow \quad \searrow \\ B_1 \quad B_2, B'_{BC} \end{array} \quad (3.32)$$

⁷ А. с. 1 054 483.



B'_{BC} – видоизмененное вещество внешней среды, $B_3 = B'_{BC}$.

Под измененной будет пониматься также разложение внешней среды на составляющие элементы и добавки во внешнюю среду.

Этот вид комплексного веполя целесообразно использовать, когда невозможно или нежелательно присоединять B_3 к имеющимся в системе веществам или внешнюю среду.

Задача 3.6. Измерение глубины реки

Условия задачи

При измерении глубины реки через ледяную поверхность необходимо обеспечить надежный контакт ультразвукового (УЗ) излучателя со льдом. На поверхности льда имеется снег, который предварительно расчищают. Лед имеет неровную поверхность и поэтому контакт излучателя со льдом получается в отдельных местах. Для улучшения контакта излучателя со льдом его выравнивают (рис. 3.9). Это трудоемко и требует значительных временных затрат. Как быть?



Рис. 3.9. Измерение глубины реки

Разбор задачи

Вепольную модель задачи можно представить в виде схемы (3.34).



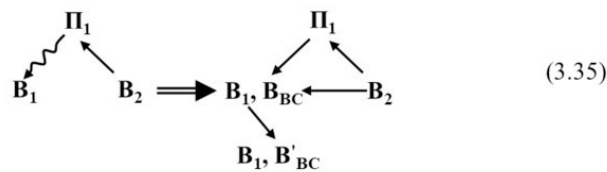
Где:

B_1 – лед;

B_2 – ультразвуковой (УЗ) излучатель;

Π_1 – ультразвуковое поле.

Одно из возможных решений – перейти к **комплексному веполю на видоизмененной внешней среде** (3.35).



Где:

B_1 – лед;

B_2 – излучатель;

P_1 – ультразвук;

B_{BC} – снег;

B'_{BC} – уплотненный снег.

Плотный контакт излучателя со льдом можно обеспечить, если утрамбовать снег при помощи самого излучателя (а. с. 900 233).

Мы использовали ресурсы – снег и ультразвуковой излучатель, т. е. ресурсы вещества и поля (рис. 3.10).

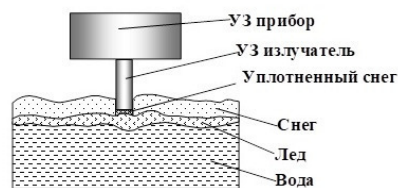
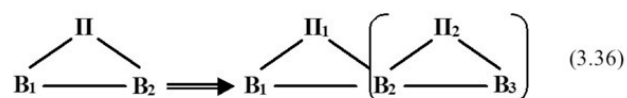


Рис. 3.10. Уплотнение снега

Цепной веполь

Цепной веполь образуется соединением простых веполей. Схема цепного веполя представлена (3.36).

Цепной веполь – это комплексный веполь, в котором вещество B_2 развернуто в самостоятельный веполь, включающий P_2 , B_3 и связи между ними.



В схеме 3.36 в скобках показан новый веполь, развернутый из вещества B_2 .

Задача 3.7. Определение скрытых дефектов

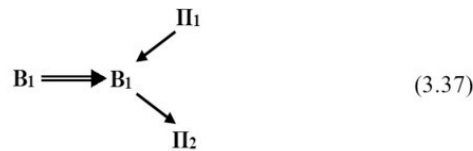
Условия задачи

Как определить скрытые дефекты, например усталостные трещины в лопатках турбины авиадвигателя?

Разбор задачи

Необходимо выявить дефекты турбинной лопатки V_1 . Можно подобрать поле Π_1 , на которое будет отзываться V_1 .

Вепольная схема для поиска решения будет иметь вид (3.37).



К лопатке подводят источник, возбуждающий механические колебания (катушка индуктивности). Катушка через усилитель мощности соединена с генератором электрических колебаний. Меняя частоту колебаний генератора, доводят ее до резонансной частоты. Рядом с лопаткой ставят микрофон, передающий эти колебания в электрическом виде на осциллограф (рис. 3.11). По изменению формы колебаний судят о наличии усталостной трещины.



Рис. 3.11. Определение скрытых дефектов

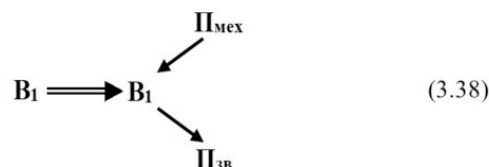
Основное в данном решении – дефект определяют «по звуку». Лопатку приводят в колебательное движение с помощью соответствующего поля Π_1 . Описанное решение соответствует веполью (3.38), где:

Π_1 – поле механических колебаний (его можно обозначить $\Pi_{\text{мех}}$ или $\Pi_{\text{кол}}$);

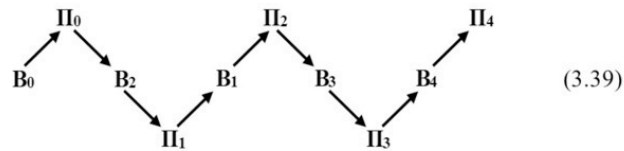
V_1 – лопатка;

Π_2 – звуковое поле – колебание воздуха ($\Pi_{\text{зв}}$).

Тогда этот веполь можно изобразить (3.37).



Это же решение можно представить более сложным веполем, описанным схемой (3.39).



Где:

V_0 – генератор электрических колебаний;

P_0 – поле электрических колебаний;

B_2 – катушка индуктивности;

P_1 – переменное магнитное поле (генератор механических колебаний);

B_1 – лопатка;

P_2 – звуковое поле;

B_3 – микрофон;

P_3 – электрический сигнал;

B_4 – осциллограф;

P_4 – световой сигнал (изображение колебаний на экране осциллографа).

Такой веполь называется **цепным**.

При желании эту модель можно усложнить еще больше.

В веполе (3.39) представлено несколько различных систем:

V_0, P_0 – генератор электрических колебаний;

B_2, P_1 – электрическая катушка;

B_3, P_3 – микрофон;

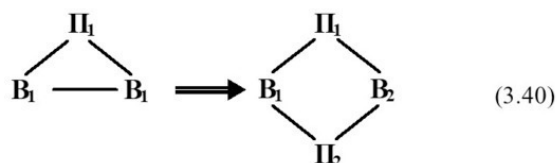
B_4, P_4 – осциллограф.

Все эти системы вспомогательные. Главная идея – измерение «тона звука» P_2 , которое получается в результате возбуждения полем P_1 лопатки B_2 . Данное решение может быть осуществлено и другим образом, например, возбуждать и снимать колебания можно с помощью пьезопреобразователей.

Как было написано раньше – это задача на *обнаружение* (дефекта в лопатке), которое осуществляется измерением сигнала P_2 , поэтому задача и на *измерение* тоже.

Двойной веполь

Двойной веполь образуется соединением простых веполей. Схема двойного веполя представлена схемой (3.40)



Задача 3.8. Разлив жидкого металла

Условия задачи

Разлив жидкого металла B_1 из ковша B_2 осуществляется из донного отверстия (рис. 3.12) под действием гравитации Π_1 . Вепольная структура данной системы представлена в виде (3.40).

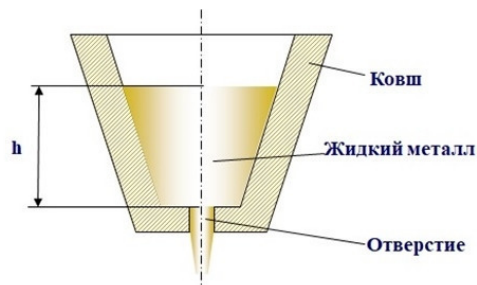


Рис. 3.12. Разлив жидкого металла



(3.41)

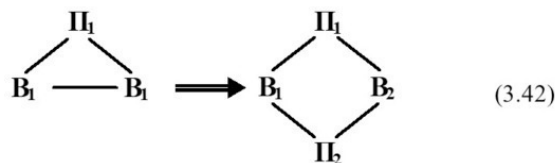
Такой разлив осуществляется неравномерно, так как зависит от высоты h столба жидкого металла (от гидростатического напора). Как сделать разлив равномерным?

Разбор задачи

Чтобы сделать разлив равномерным, необходимо компенсировать действие силы гравитации, т. е. воздействовать еще одним полем Π_2 – перейти к двойному веполу (3.42).

Гидростатический напор регулируют высотой h столба жидкого металла над отверстием разливочного ковша, вращая Π_2 металл в ковше (рис. 3.13), например, электромагнитным полем⁸.

При вращении металла в ковше в зависимости от скорости вращения образуются параболы различной формы (пунктирные линии на рис. 3.13). Максимальная высота $h_{\max}$, когда нет вращения (скорость вращения $V_0 = 0$). Максимальной скорости вращения ($V_{\max}$) должна соответствовать усеченная парабола, когда над отверстием отсутствует металл ($h_{\min} = 0$) и, следовательно, он не выливается. Таким образом, можно регулировать расход металла через донное отверстие разливочного ковша.



(3.42)

⁸ А. с. 275 331.

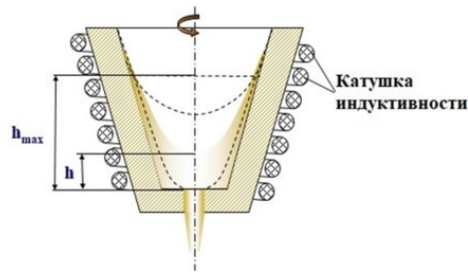
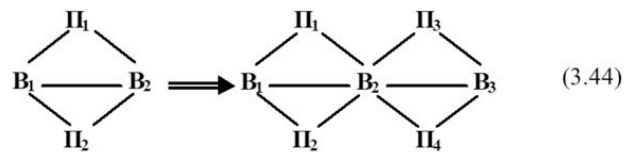
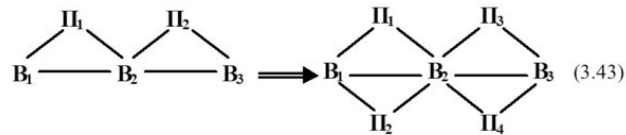


Рис. 3.13. Вращение жидкого металла

Смешанный веполь

Смешанный веполь представляет собой сочетание *цепного* (3.36) и *двойного* (3.40) веполей или соединение *двух двойных веполей* (3.40).

Переход от цепного веполя к смешанному показан на схеме (3.43), а переход от двойного к смешанному – на схеме (3.44).



Пример 3.9. Фильтр

Для очистки воздуха в производственных помещениях используют громоздкие фильтры. В вепольном виде это можно представить (3.45).



Где:

V₁ – воздух;

V₂ – пыль;

П₁ – воздушный поток;

V₃ – фильтр.

Это модель внутреннего комплексного веполя.

Следующий шаг в развитии систем очистки воздуха – это использование циклона (рис. 3.14). В циклоне загрязненный воздух раскручивается с большой скоростью, частички пыли,

висящие в воздухе, отбрасываются к стенкам за счет *центробежных сил*, ударяются о них и падают в пылесборник.

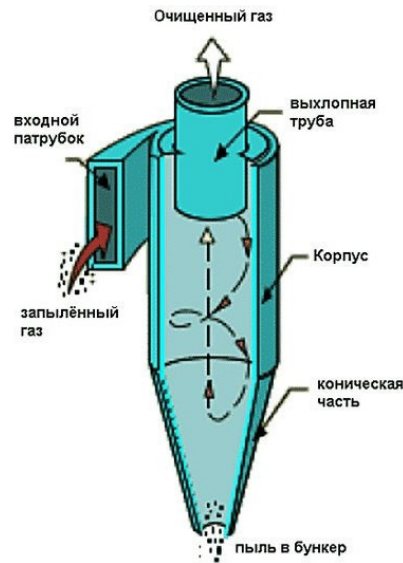


Рис. 5.10. Циклон

В этом решении использован *двойной веполь*, по схеме (3.40).

$$\begin{array}{c} \Pi_1 \\ \swarrow \searrow \\ (B_1 B_2) \end{array} \longrightarrow B_3 \quad \Longrightarrow \quad \begin{array}{c} \Pi_1 \\ \swarrow \searrow \\ B_1 \quad B_2 \\ \nwarrow \nearrow \\ \Pi_2 \end{array} \quad (3.46)$$

Где:

B_1 – воздух;

B_2 – пыль;

Π_1 – воздушный поток;

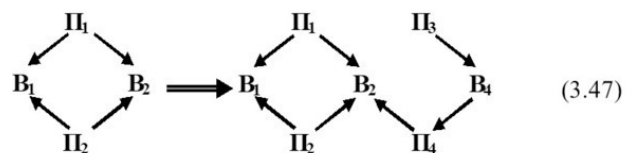
Π_2 – центробежные силы.

Можно усовершенствовать это решение.

Недостаток рассмотренного циклона состоит в том, что мелкая пыль не долетает до пылесборника, а оседает на стенках вытяжной трубы (вытяжки). Поэтому приходится циклон время от времени останавливать и чистить трубу.

Попробуем перейти к смешанному веполью (3.43), т. е. добавим Π_3 , воздействующее на B_2 , генерирующее поле Π_4 , которое действует на пыль B_2 (3.47).

Чтобы пыль не засоряла вытяжку, всю трубу превратили в электрод – полый цилиндр из металла, утыканный иголками, располагающимися на выходе трубы. На электрод подается *электрическое поле*, которое отталкивает пыль от вытяжной трубы (рис. 3.15). Таким образом, пыль оказывается в пылесборнике.



Где:

B_1 – воздух;

B_2 – пыль;

Π_1 – воздушный поток;

Π_2 – центробежные силы;

Π_3 – электрическое поле;

B_4 – иголки на трубе;

Π_4 – статическое электричество (электрическое поле).

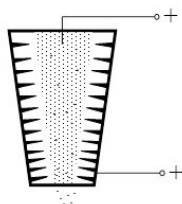


Рис. 3.15. Электрофильтр (коническая часть циклона – рис. 3.14)

Глава 4. Устранение вредных связей

4.1. Тенденции устранения вредных связей

Довольно значительный класс задач связан с нежелательным эффектом, представляющим собой **вредную связь вещества с веществом, поля с веществом** или **вредное воздействие полей**.

Устранение вредных связей осуществляется с помощью определенных закономерностей (см. рис. 4.1 – 4.3):

1. Вредная связь между **веществами** (рис. 4.1):
 - введением третьего вещества V_3 – схема (4.1);
 - введением третьего вещества V_3 , которое является видоизменением имеющихся веществ V_1 и V_2 ($V_3=V_1, V_2$) или самими веществами ($V_3=V_1, V_2$) – схема (4.4);
 - введением третьего вещества $V_3=V_1, V_2$ ($V_3=V_1, V_2$) и поля Π_2 , которое воздействуя на V_1 или V_2 видоизменяет его V_1^* или V_2^* – схема (4.5);
2. Вредная связь между **полем и веществом** (рис. 4.2):
 - «оттягивание» вредного действия – схема (4.7);
 - введением второго поля Π_2 – схема (4.8);
 - введением третьего вещества V_3 , которое генерирует Π_2 – схема (4.11);
 - введением третьего вещества V_3 , которое генерирует Π_2 под воздействием Π_3 – схема (4.13).
3. Вредная связь между **веществом и полем** (рис. 4.3). Управление выходным полем:
 - введением дополнительных вещества V_2 и поля Π_2 – схемы (4.16) – (4.18);
 - заменой имеющегося вещества V_1 на V_2 и введением дополнительного поля Π_3 , которое управляет выходным полем Π_2 – схемы (4.20) – (4.21);

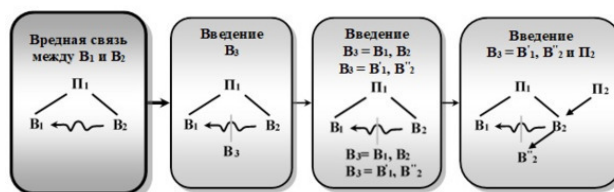


Рис. 4.1. Тенденция устранения вредных связей между веществами

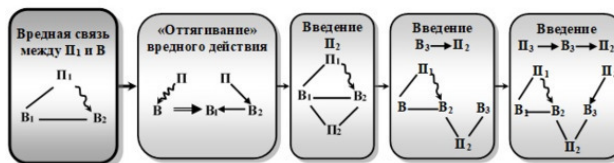


Рис. 4.2. Тенденция устранения вредных связей полем и веществом

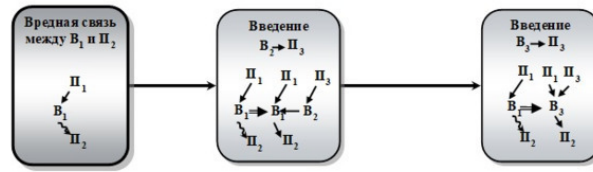


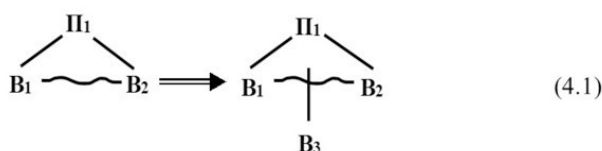
Рис. 4.3. Тенденция устранения вредных связей полем и веществом

Цель третьей группы управлять выходным полем Π_2 .

4.2. Устранение вредных связей введением V_3

Устранение вредных связей в системе производится введением между веществами V_1 и V_2 постороннего третьего вещества V_3 .

Это описывается схемой (4.1):



Вводимое вещество V_3 может быть на макро- и микроуровне.

Задача 4.9. Подводные крылья

Условия задачи

При движении судна на подводных крыльях, на крыле, вследствие *кавитации*⁹, происходит эрозия (разъедание материала), образуются каверны и крыло теряет свою эффективность (рис. 4.4).

Явление кавитации на крыле возникает из-за его взаимодействия с водой, создающее подъемную силу, но при этом возникает гидродинамическое сопротивление; а при увеличении скорости появляются кавитационные пузырьки.

В целом ставится задача уменьшения гидродинамического сопротивления и, в частности, не допустить вредных последствий кавитации.

Как быть?

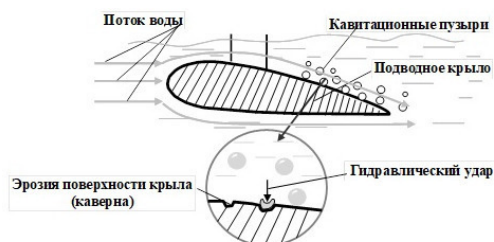


Рис. 4.4. Подводное крыло

Разбор задачи

Представим задачу в вепольном виде (4.2).

⁹ **Кавита́ция** (от лат. *Cavita* – пустота) – процесс парообразования и последующего схлопывания пузырьков пара с одновременным конденсированием пара в потоке жидкости, сопровождающийся шумом и гидравлическими ударами, образование в жидкости полостей (кавитационных пузырьков, или каверн), заполненных паром самой жидкости. – Материал из Википедии.



Где:

V_1 – вода;

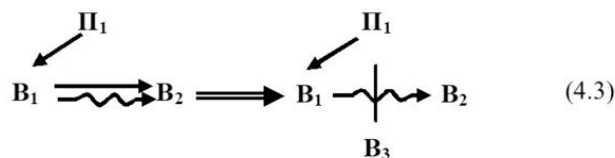
V_2 – крыло;

Π_1 – поток воды.

Поток воды действует на крыло, создает подъемную силу (прямая стрелка) и поток воды действует на крыло, образуя гидродинамическое сопротивление или кавитационные пузырьки, создающие каверны (волнистая стрелка – плохое действие).

Это веполь с вредной связью.

Вредная связь может быть устранена введением V_3 в соответствии со схемой (4.1). Тогда для данной задачи структурное решение можно представить схемой (4.3).



Для снижения сопротивления в качестве V_3 можно использовать:

1. Волоски (рис. 4.5) – **макроуровень** V_3 . Они превращают *турбулентный* поток (поток с вихрями) в *ламинарный* (ровный – без вихрей).

2. Вещества с **длинными молекулами** (волоски V_3 на *микроуровне*). В качестве этих веществ могут использоваться *гели*, *полимеры* и т. п. Такое явление называется **эффектом Томса**.

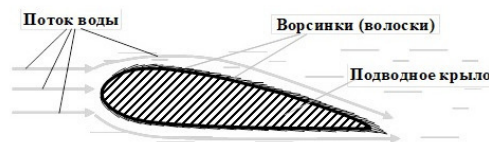


Рис. 4.5. Подводное крыло, покрытое волосками

На рис. 4.5 V_3 – это волоски.

Подобные решения можно использовать и на других объектах, обтекаемых водой.

Пример 4.11. Подводный аппарат

В устройстве, уменьшающем сопротивление подводного аппарата, используется слабый раствор полимера (**В₃** на микроуровне), образующийся в пограничном слое забортной воды при смешении подогретой жидкой смеси либо гранулированного или порошкообразного полимера с морской водой. Подогретая жидкая смесь представляет собой дисперсию макромолекул полимера, растворимую в морской воде при температуре окружающей среды, но нерастворимую в воде при температуре выше 70° С. Когда подогретая жидкая смесь попадает в холодную воду при соответствующих условиях окружающей среды, частицы набухают и растворяются, образуя клейкую массу. В пограничном слое обтекающего потока они образуют молекулярный раствор макромолекул, препятствуя образованию турбулентного потока (рис. 4.6). В этом изобретении использован **эффект Томса**.

В вепольной схеме по схеме (4.1) в данном изобретении:

В₁ – морская вода;

В₂ – подводный аппарат;

П₁ – поток воды;

В₃ – клейкая смесь.

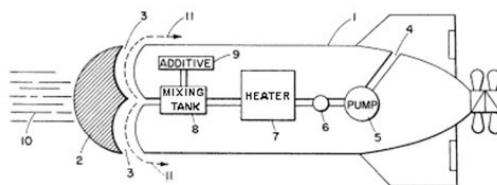


Рис. 4.6. Подводный аппарат с клейкой массой.

Патент США 3 435 796

1 – подводный аппарат, 2 – формирующая насадка (головка), 3 – радиальный канал, 4 – входное отверстие, 5 – насос, 6 – клапан, 7 – нагреватель, 8 – смесительный бак, 9 – добавка, 10 – поток воды, 11 – клейкая масса – дисперсия полимера (пунктирная линия).

Пример 4.12. Трубопровод

Для снижения потерь напора при перемещении жидкости по трубопроводу и достижения жидкостью свойства псевдопластичности в нее вводят длинноцепочный полимер, например полиакриламид, в количестве 0,01–0,2% по весу (рис. 4.7). В этом изобретении (а. с. 244 032) использован **эффект Томса**.

В вепольной схеме по схеме (4.1) в данном изобретении:

В₁ – жидкость;

В₂ – трубопровод;

П₁ – поток жидкости;

В₃ – длинноцепочный полимер.

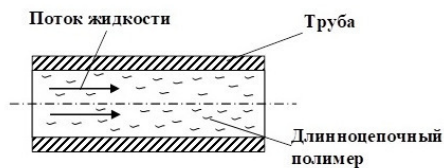


Рис. 4.7. Трубопровод

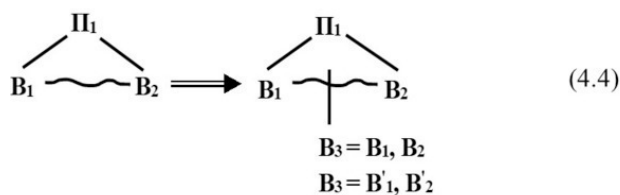
Пример 2.13. Снижение гидродинамического сопротивления

Снижение гидродинамического сопротивления может быть достигнуто за счет образования присадок под воздействием какого-либо поля из молекул самой жидкости, аналогичных по свойствам полимерным молекулам. В данном примере **В₃** – присадки.

4.3. Устранение вредных связей введением $V_3=V_1, V_2$ или их видоизменений

Устранение вредных связей в системе производится введением между веществами V_1 и V_2 третьего вещества V_3 , являющегося веществом V_1 или V_2 , или их видоизменением (они обозначаются V'_1, V'_2).

В отличие от схемы (4.1) в данном случае V_3 вводится и не водится. Используются ресурсы системы – берутся имеющиеся в системе вещества V_1 или V_2 или их видоизменения V'_1, V'_2 . Это описано схемой (4.4).



Это более идеальная схема, так как мы не вводим дополнительных веществ, а используем только имеющиеся.

Продолжим рассмотрение задачи 4.9 (подводные крылья).

Согласно схеме (4.4), в качестве V_3 может быть использованы *крыло, вода* или *их видоизменения*.

Сначала продемонстрируем примеры устранения вредных связей использованием самих веществ (крыла и воды).

Пример 4.14. Дополнительное крыло

Для недопущения вредного действия кавитации можно использовать в качестве V_3 дополнительное крыло (рис. 4.8). Это крыло создает поток, который уносит кavitационные пузыри за крыло. Таким образом, крыло не разрушается.

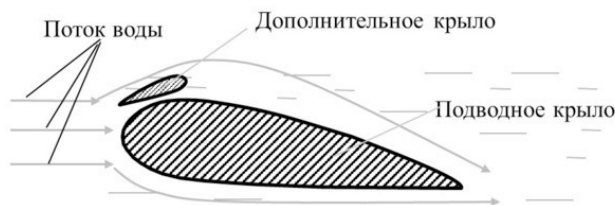


Рис. 4.8. Подводное крыло с дополнительным крылом

Пример 4.15. Поток воды над крылом

Для недопущения кавитации можно использовать в качестве V_3 *воду*.

Дополнительный поток жидкости над крылом можно создать, сделав в крыле тонкие сквозные отверстия (рис. 4.9). Тогда за счет разницы давлений (P_1 и P_2) вода с нижней части крыла будет «подсасываться» на верхнюю поверхность крыла. Напомним, что разность давлений над крылом и под крылом создается за счет формы крыла. Длина периметра верхней части больше нижней, поэтому сверху скорость прохождения потока больше, чем внизу, а следова-

тельно, в соответствии с законом Бернулли давление будет меньше, там, где скорость потока выше.

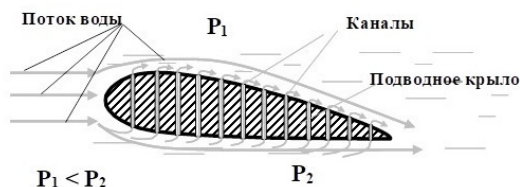


Рис. 4.9. Подводное крыло с дополнительным потоком воды

Где: P_1 – давление над крылом; P_2 – давление под крылом.

Подобная подача воды в зону засасывания крыла повышает в ней давление и отдаляет возникновение кавитации при данной скорости обтекания крыла.

Чтобы подача жидкости в верхнюю часть крыла меньше сказывалась на снижении подъемной силы крыла, осуществляют отсос воды из среднего продольного канала за счет набегающего потока (рис. 4.9). Отсос создается за счет разряжения, получаемого путем потока жидкости, проходящего перпендикулярно вертикальным каналам, используя явление эжекции.

Скорость протекания воды в среднем продольном канале будет меньше, чем в верхней части крыла, а давление, соответственно, больше. При этом давление нагнетания на нижней поверхности крыла, в отличие от варианта на рис. 4.10, будет сохранено.

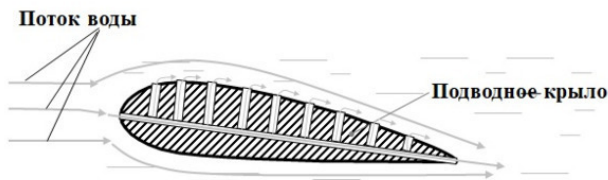


Рис. 4.10. Подводное крыло с дополнительным потоком воды

В крыле делают канавки (рис. 4.11), в которых закручивается поток воды, создавая около поверхности крыла приторможенный слой воды, отдаляющий появления кавитации.

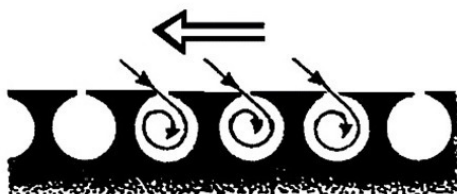


Рис. 4.11. Подводное крыло с канавками

Теперь продемонстрируем примеры устранения вредных связей использованием **видоизменение веществ** (крыла и воды).

Пример 4.16. Паровая каверна

Вредное действие кавитации можно предотвратить, если на верхней поверхности крыла создать искусственную газовую каверну (газовый пузырь вокруг крыла), которая поглотит кавитационные пузырьки.

Кавитацию можно предотвратить, если крыло будет двигаться в газовой среде – в газовой каверне (газовый пузырь вокруг крыла). Газовую каверну можно получить путем:

Видоизменение воды

Превратим воду в газ – пар (фазовый переход первого рода). Если нагреть крыло, то вокруг него образуется паровой пузырь (паровая каверна). Каверна (рис. 4.12) позволит не только предохранить крыло от эрозии, но и уменьшить сопротивление движению крыла в воде.

$V_3 = V'_1$ – пар.

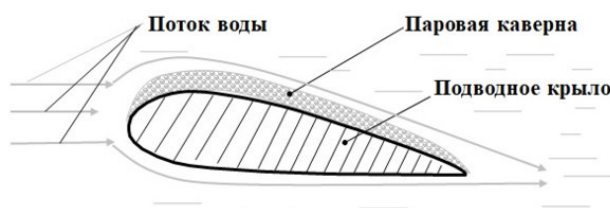


Рис. 5.25. Подводное крыло с паровой каверной

Разложить воду на *кислород и водород*.

$V_3 = V'_1$ – кислород и водород.

Пример 4.17. Ледяной покров

Для предупреждения кавитационной эрозии гидродинамических профилей, например подводных крыльев, используется защитный слой, представляющий собой корку льда (а. с. 412 062), постоянно намораживаемого на поверхность крыльев (фазовый переход первого рода) (рис. 4.13).

$V_3 = V_2^>$ – лед.

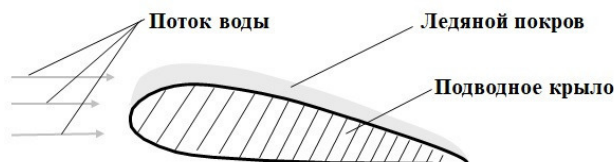


Рис. 4.13. Подводное крыло, покрытое коркой льда

Пример 4.18. Видоизменение крыла

Можно изменить форму крыла, так чтобы кавитационные пузыри образовывались только ближе к задней кромке крыла и потоком воды выносились за его пределы (геометрический эффект). Таким образом, схлопывание пузырей будет происходить не на крыле. Видоизменение профиля (формы) крыла представляет собой как бы переворачивание его на 180°

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.