

**САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА**

КАДИС

Комплексы Автоматизированных Дидактических Средств

ДВУТАВР

**Комплекс по изучению закономерностей
силовой работы тонкостенных конструкций**

Методические указания

Самара 1994

Авторы-составители : **А.В. Соловов**
В.В. Горбатенко

УДК 681.3:539.3

Двухавт. Комплекс по изучению закономерностей силовой работы тонкостенных конструкций: Методические указания / Самарский аэрокосмический университет; *А.В.Соловов, В.В.Горбатенко.* Самара, 1994. 16 с.

В работе рассмотрен комплекс ДВУТАВР системы Комплексов Автоматизированных Дидактических Средств (системы КАДИС), предназначенный для компьютерной поддержки процесса изучения закономерностей силовой работы тонкостенных конструкций. Описаны компоненты комплекса, даны рекомендации по его применению, поддержанию и эксплуатации программно-информационного обеспечения, изложен теоретический материал по теме.

Методические указания предназначены для студентов машиностроительных специальностей, изучающих курсы по сопротивлению материалов и проектированию механических конструкций, а также могут быть использованы на факультете повышения квалификации ИТР. Подготовлены в центре новых информационных технологий.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П.Королёва

Рецензент *Б.Л. Шадрин*

1. ОПИСАНИЕ КОМПЛЕКСА

1.1. Назначение и состав

Значительная часть работы конструкторов в авиа- и судостроении связана с проектированием многочисленных фрагментов (узлов) тонкостенных конструкций планера самолета или корпуса судна. Прежде чем проводить расчет или проектирование узла, конструктор должен "вырезать" его из всей конструкции и решить задачу силового взаимодействия - нагрузить узел силами от отсеченных частей конструкции. Задачи такого типа обычно нестандартны, всегда имеют какие-либо отличительные особенности, поэтому от конструктора требуется неформальное применение знаний закономерностей силового взаимодействия элементов тонкостенных конструкций.

Внедрение мощных вычислительных систем в практику инженерных расчетов не освободило конструктора от решения подобных задач. Даже при использовании подробных конечно-элементных моделей всегда остаются зоны конструкции (лючки, стыковые узлы, элементы крепежа и т.п.), для проектирования которых необходимо вырезать узлы конструкции и нагружать их силами, полученными из расчета по методу конечных элементов.

Тестирование практических умений студентов-дипломников, будущих инженеров-механиков по самолетостроению, опросы молодых специалистов, работающих в конструкторских бюро, показывают, что они нередко испытывают затруднения при решении задач силового взаимодействия элементов тонкостенных конструкций. И это несмотря на довольно обширную вузовскую подготовку по механике конструкций, включающую курсы по сопротивлению материалов, деталям машин, строительной механике, расчету на прочность, проектированию конструкций.

Такую парадоксальную ситуацию можно объяснить тем, что подготовка по дисциплинам механического цикла предусматривает в большинстве случаев лишь развитие умений в сфере применения расчетных алгоритмов. Анализ внутренних усилий если и проводится, то в основном на занятиях типа лекционных с редким включением

полученных знаний в индивидуальную самостоятельную учебную деятельность. К тому же традиционные формы учебного процесса при большом количестве студентов, приходящихся на одного преподавателя, не позволяют доводить знания в области силового анализа до уровня применения в нестандартных ситуациях.

Учебный комплекс, рассматриваемый ниже, как раз и предназначен для ликвидации указанных недостатков в подготовке инженеров-конструкторов в авиа- и судостроении. Он состоит из методических указаний, автоматизированного учебного курса (АУК) и тренажера.

Работа над комплексом была начата в межфакультетской лаборатории компьютеризации общинженерных дисциплин механического цикла (ОДМЦ) в секторе учебных САПР при кафедре конструкции и проектирования летательных аппаратов. Здесь были разработаны две версии тренажера: для ЭВМ СМ-2 и ДВК-3. В написании программ для ЭВМ на этом этапе принимали участие студенты И.Н. Белых и А.А. Абрамов. В дальнейшем после реорганизации лаборатории компьютеризации ОДМЦ и открытия центра новых информационных технологий (ЦНИТ) эта работа была продолжена в ЦНИТе: в соответствии с концептуальной схемой системы КАДИС определен состав комплекса, разработана новая версия тренажера для ЭВМ типа IBM PC, подготовлен АУК, написаны методические указания.

Комплекс разработан под руководством **А.В. Соловова**. В его создании принимали участие следующие сотрудники ЦНИТа:

Н.А. Валиулина (набор текстов методических указаний);

В.В. Горбатенко (программно-информационное обеспечение тренажера, графические иллюстрации и компьютерная верстка методических указаний);

А.Г. Колпащиков (графические иллюстрации для АУК);

Г.Ю. Пряничников (программно-информационное обеспечение САПР АУК);

А.В. Соловов (тексты и эскизы графических иллюстраций методических указаний и АУК; программно-информационное обеспечение САПР АУК и тренажера на этапах постановки задач, обсуждения сценариев и тестирования);

А.Б. Степкин (компьютерная подготовка текстов АУК).

1.2. Автоматизированный учебный курс

АУК содержит систему упражнений для осмысления и закрепления теоретического материала с помощью компьютера. АУК

подготовлен и функционирует в инструментальной среде системы КАДИС (САПР АУК). Режимы работы АУК: просмотр теории, тренаж по теории, контроль, работа со словарем.

Режим просмотра теории заключается в "перелистывании" информационных кадров (текстовых и графических), содержащих краткое изложение теоретического материала по теме.

В ходе тренажа по теории учащиеся выполняют упражнения, предназначенные для осмысления и запоминания теоретического материала. Это основной режим работы учащихся с АУК.

После выполнения каждого упражнения и получения сообщения о качестве его выполнения учащийся может посмотреть правильный ответ и (или) теоретический материал по данному вопросу. Возможны два вида тренажа: **полный** (когда учащийся выполняет все упражнения АУКа) и **выборочный** (когда учащийся выполняет заданное им самим количество упражнений, которые выбираются из базы данных АУКа случайным образом).

Режим **контроля** предназначен для текущего или итогового контроля знания теоретического материала по теме. Возможны два вида контроля: **по вопросам** (когда учащийся отвечает на заданное преподавателем количество вопросов, которые выбираются случайным образом из базы данных АУК) и **по билетам**, вопросы в которых предварительно komponуются преподавателем по каким-либо признакам из базы данных АУК.

Словарь терминов и понятий позволяет проводить выборочно (по термину) просмотр теории, тренаж и (или) контроль.

Информация о результатах тренажа и контроля (фамилии, номера групп обучаемых и полученные ими оценки) автоматически записывается в **журнальный файл**. Программы управления журналом позволяют осуществлять сортировку информации по различным признакам, а также проводить статистический анализ для выявления "трудного" и "легкого" учебного материала.

Работа на компьютере с АУКом не требует специальных компьютерных знаний. Достаточно лишь владеть клавиатурой. Более подробное, чем здесь, описание режимов работы с АУКом и ответы на возникающие при работе с ним вопросы разъясняются при нажатии на клавишу F1 (HELP).

1.3. Тренажер

Тренажер комплекса ДВУТАВР предназначен для формирования и развития с помощью компьютера практических умений по теме.

Тренаж осуществляется в ходе решения задач анализа силового взаимодействия элементов конструкции идеального двутавра (прил.

1). Параметры двутавра выбираются при этом целочисленными с помощью датчика случайных чисел так, чтобы обеспечить разнообразие числовых вариантов и простоту арифметических вычислений при уравнивании.

2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ

2.1. Сферы применения

Комплекс ДВУТАВР может применяться в учебных заведениях для компьютерной поддержки курсов по сопротивлению материалов, строительной механике, проектированию тонкостенных конструкций, а также - на предприятиях авиа- и судостроения в ходе стажировки молодых специалистов и для повышения квалификации инженеро-конструкторов.

2.2. Рекомендация для учащихся

Рациональная последовательность освоения темы предусматривает следующие этапы.

1. Внимательное чтение раздела 3 данного пособия с теоретическим материалом.

2. Работа с АУК в режиме "Просмотр теории".

3. Работа с АУК в режиме "Тренаж по теории". Возможно, что придется вновь прочитать теорию в пособии, но при этом чтение безусловно станет более осмысленным.

4. Работа со словарем АУКа. Просматривая основные термины и понятия темы, Вы сможете выборочно посмотреть теорию или пройти тренаж по фрагментам темы, в которых чувствуете "слабину" в знаниях.

5. Решение задач на тренажере. В ходе работы с тренажером обучаемому сообщается интегральная оценка успешности решения задач.

Оценка формируется на основе показателя качества решения

$K = \bar{P}/P$, где \bar{P} - количество существенных операций, выполненных для данного типа задач правильно; P - общее количество существенных операций, выполненных при решении данной задачи. K

существенным операциям относятся выбор из меню комбинации внутренних усилий, определение направления каждого усилия и вычисление его величины. При повторном решении задач одного типа в счетчиках \bar{P} и P суммируются и результаты предыдущих попыток.

Если показатель качества решения $K < 0,7$, то решение задачи считается неудовлетворительным, при $0,7 \leq K < 0,8$ - удовлетворительным, при $0,8 \leq K < 0,9$ - хорошим, при $K \geq 0,9$ - отличным.

Кроме интегральной оценки обучаемому сообщается количество правильно выполненных и общее количество существенных операций и дается рекомендация о ходе дальнейшей работы. При удовлетворительной или неудовлетворительной оценках рекомендуется продолжить решение задач данного типа, при хорошей или отличной оценках дается рекомендация перейти к другим видам сечений (см. прил. 1).

2.3. Рекомендации для преподавателей

При изучении возможностей комплекса обратите внимание не только на режимы работы обучаемых, но и на другие функции, предназначенные прежде всего для преподавателей.

В АУКе - это режим работы с журналом, который позволяет вести не только учет, но и анализ степени усвоения различных разделов учебного материала. В режиме подготовки АУКа Вы сможете скомпоновать билеты для итогового контроля, изменить критерии оценки учебной работы для режимов контроля и тренажа, изменить ограничения по времени ответов на вопросы и внести ряд других корректив в настройку АУКа.

В тренажере обратите внимание на статистику по учебной работе. В каждую строку таблицы статистики входят фамилия и номер группы обучаемого, тип задачи (см. прил. 1) и величины K , \bar{P} и P . Если для одного обучаемого от записи к записи происходит нарастание показателя качества решения задач K , то можно считать, что процесс обучения на тренажере проходил нормально. Если же монотонного нарастания показателя K не наблюдается, имеются перепады в его величине, то это сигнал преподавателю о необходимости помочь обучаемому разобраться и понять закономерности силовой работы идеального двутасра.

3. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1. Типовые модели элементов тонкостенных конструкций

Наиболее распространенными типовыми моделями элементов тонкостенных конструкций являются:

- стержень, работающий на растяжение-сжатие и моделирующий стрингеры, пояса лонжеронов, нервюр и шпангоутов;
- мембранная тонкая пластинка четырехугольной формы, работающая только на сдвиг и моделирующая стенки лонжеронов, нервюр и шпангоутов, клетки обшивки, окаймленные стержнями;
- мембранная пластинка, находящаяся в обычном плоском напряженном состоянии с тремя компонентами напряжений (σ_x , σ_y , τ_{xy}) и моделирующая преимущественно элементы обшивки конструкций самолетов и корпусов судов.

Основу третьей модели составляют обычные положения сопротивления материалов и теории упругости, которые обсуждаются в различных учебниках. Поэтому анализ силового взаимодействия элементов конструкций, основанных на третьей модели, здесь не рассматривается.

Силовое взаимодействие стержней и сдвиговых пластинок хотя и не относится к классике сопротивления материалов и теории упругости и не рассматривается в соответствующих учебниках, является одним из базовых элементов "азбуки" инженера, специализирующегося в проектировании тонкостенных конструкций. Поэтому ниже рассматриваются вопросы силового анализа именно для этих элементов тонкостенных конструкций.

3.2. Идеальный двутавр

Конструкция так называемого идеального двутавра является весьма удобной для изучения закономерностей силового взаимодействия стержней и сдвиговых пластинок.

Обычно **идеальным двутавром** называют двухпоясную балку постоянного сечения по длине, для которой вводят следующие допущения:

- поперечное сечение каждого пояса балки условно сосредоточено в точке;
- крепление поясов к стенке непрерывно по всей длине балки;

- пояса воспринимают только растягивающие или сжимающие силы, а стенка - только сдвиговые усилия;
- касательные напряжения по высоте стенки распределяются равномерно.

В дальнейшем будем рассматривать двутавр, который с одной стороны закреплен, а с другой - нагружен перерезывающей силой Q (рис. 1).



Рис. 1

С двух сторон (слева и справа) стенку двутавра окаймляют абсолютно жесткие стержни, позволяющие равномерно распределять внешнюю нагрузку Q и реакции опор по высоте стенки. Такая модель характерна для фрагментов конструкции шпангоута фюзеляжа, лонжерона или нервюры крыла, для клеток обшивки фюзеляжа или крыла самолета.

3.3. Анализ силового взаимодействия элементов идеального двутавра

Сделаем поперечное сечение двутавра на расстоянии l от его свободного конца. В отсеченной части сделаем еще два сечения, но не поперечные, а продольные - по линиям крепления поясов к стенке. Рассмотрим равновесие стенки и поясов в отсеченной части двутавра (рис. 2).

Внешняя сила Q , приложенная на свободном конце стенки двутавра, уравновешивается в сечении перерезывающей силой, равной по величине Q , но противоположно направленной и получающейся в результате суммирования внутренних погонных касательных усилий $T = Q/l$, действующих на отсеченную часть стенки двутавра со стороны ее оставшейся части.

Для того, чтобы уравновесить момент $M = Ql$ от пары поперечных сил Q со стороны поясов стенка нагружается такими же

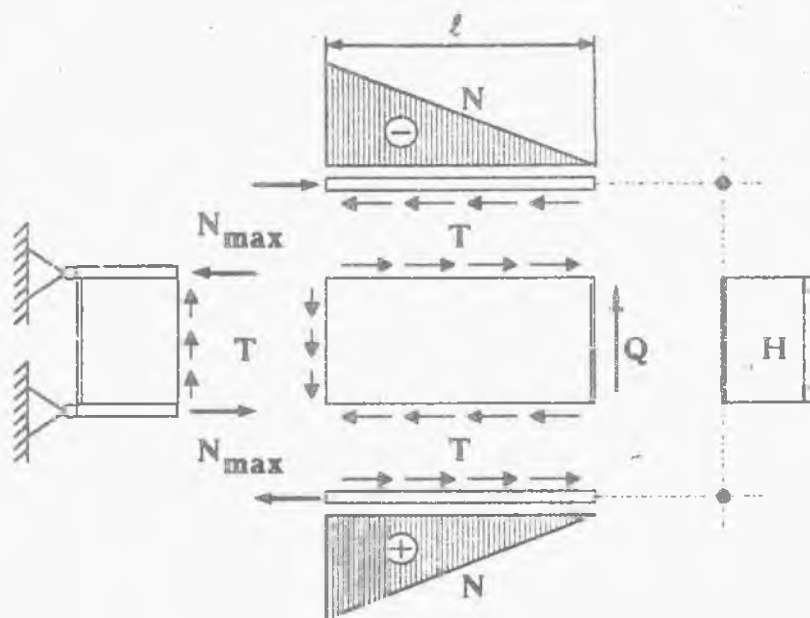


Рис. 2

погонными касательными силами T , которые создают момент такой же величины $M = T \ell H = Q \ell$, но противоположный по направлению.

Тот же результат можно получить, если исходить из известного в сопротивлении материалов закона парности касательных напряжений, в соответствии с которым касательные напряжения, действующие в каком-либо сечении, вызывают в ортогональном ему сечении такие же по величине касательные напряжения, но вращающие рассматриваемый элемент конструкции в другом направлении.

Пояса в двутавре нагружаются со стороны стенки потоками касательных сил T . Это следует из очевидного правила, по которому силы взаимодействия в сечении между двумя элементами конструкции равны по величине, но противоположны по направлению.

Потоки касательных сил T , действующие на пояса со стороны стенки, сжимают верхний пояс и растягивают нижний. При этом нормальная внутренняя сила N в поясе изменяется за счет догрузки (подпитки) пояса потоками касательных сил со стороны стенки по

линейному закону: от нуля - на свободном конце двутавра до $N = T \ell$ в сделанном сечении.

Для того, чтобы уравновесить поток касательных сил, действующий на пояс со стороны стенки, пояс нагружается нормальной силой N_{\max} , действующей со стороны оставшейся части двутавра.

Внутренние силы в поясах создают изгибающий момент в поперечном сечении двутавра $M = N_{\max} H = T \ell H$. Легко проверить, что он равен величине момента, подсчитываемой в сечении через параметры внешнего нагружения $M = Q \ell$.

3.4. Примеры анализа силового взаимодействия

Пример 1. Сделаем в двутавре два поперечных сечения и уравновесим вырезанную часть двутавра силами от оставшихся частей (рис. 3).

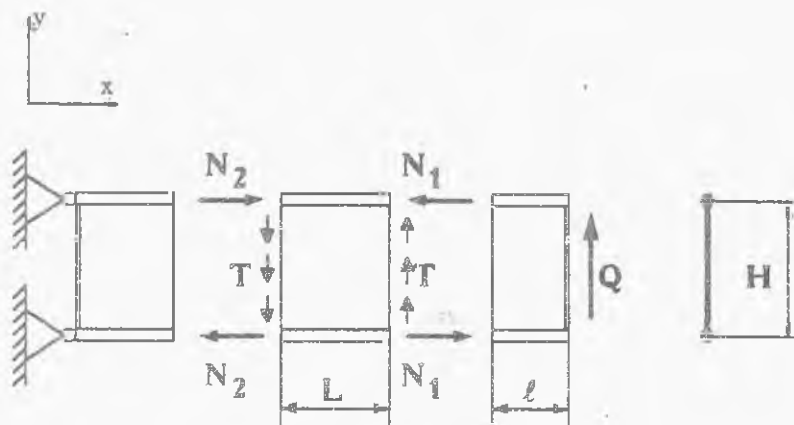


Рис. 3

Поперечная сила Q передается по стенке в виде внутренних погонных касательных сил $T = Q/H$. С правой стороны вырезанной части эти силы будут совпадать с направлением действия внешней силы Q и действовать вверх, а с левой стороны эти силы будут действовать вниз, так как оставшаяся часть двутавра, сопротивляясь

действию внешней силы Q , сдвигает стенку в противоположном направлении.

Нормальные усилия N_1 , действующие на пояса вырезанной части двутавра со стороны оставшейся части в правом сечении, можно определить через момент внешней силы Q относительно этого сечения:

$$N_1 = \frac{M_1}{H} = \frac{Ql}{H}.$$

Нормальные усилия в поясах N_2 в левом сечении определяются аналогично:

$$N_2 = \frac{M_2}{H} = \frac{Q(l+L)}{H}.$$

Чтобы убедиться в правильности полученных результатов, проверим равновесие вырезанной части двутавра:

$$\sum X = -N_2 + N_1 - N_1 + N_2 = 0;$$

$$\sum Y = -TH + TH = 0;$$

$$\sum M_A = -THL - N_1H + N_2H =$$

$$= -\frac{Q}{H}HL - \frac{Ql}{H}H + \frac{Q(l+L)}{H}H = 0.$$

Пример 2. Вырежем в двутавре часть конструкции двумя сечениями: поперечным и продольным (рис. 4). Уравновесим вырезанную часть двутавра внутренними силами, действующими со стороны оставшейся части. Поток касательных сил, действующий в поперечном сечении, будет направлен вниз и равен по величине $T = Q/H$.

По закону парности касательных напряжений в продольном сечении будет действовать поток касательных сил такой же величины T , но вращающий рассматриваемую часть двутавра в противоположном направлении.

В поперечном сечении пояса будет действовать нормальное усилие

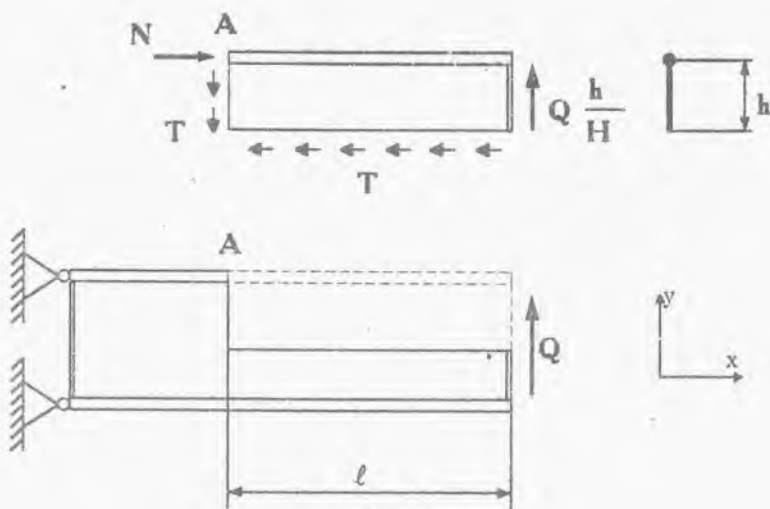


Рис. 4

$$N = \frac{M}{H} = \frac{Ql}{H}$$

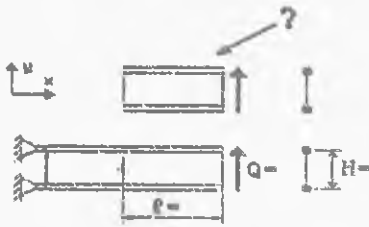
Проверим равновесие приложенных сил:

$$\sum X = N - Tl = \frac{Ql}{H} - \frac{Q}{H}l = 0;$$

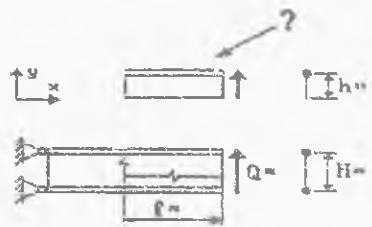
$$\sum Y = -Th + Q \frac{h}{H} = -Q \frac{h}{H} + Q \frac{h}{H} = 0;$$

$$\sum M_A = Tlh - Q \frac{h}{H}l = \frac{Q}{H}lh - Q \frac{h}{H}l = 0.$$

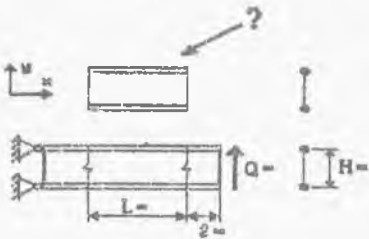
Типы сечений идеального двутавра (типы задач),
рассматриваемых в тренажере



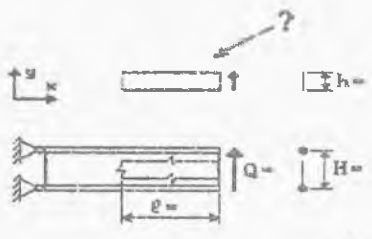
Тип 1



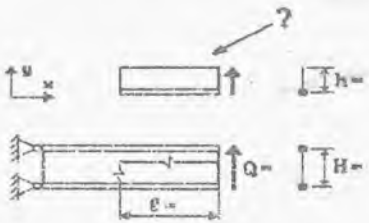
Тип 2



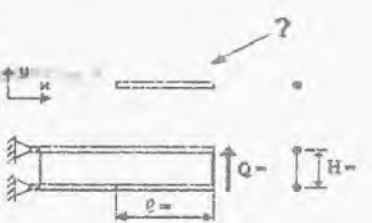
Тип 3



Тип 4



Тип 5



Тип 6

Рекомендации по поддержанию и эксплуатации программно-информационного обеспечения

1. Установка

Устанавливается на жесткий диск, кроме утилит JOU_SAVE.EXE, JOU_ANAL.EXE, JOU_UTIL.DOC, которые в большинстве случаев используются с ГМД. Потребный объем памяти на жестком диске - 550Кб. Возможны два варианта установки:

- 1) все компоненты (инструментальная среда, АУК, тренажер) размещаются в одной директории;
- 2) для каждой компоненты выделена своя директория.

В последнем случае необходимо описать путь в файле AUTOEXEC.BAT. Например, если инструментальная среда с АУК помещена в директорию C:\COURSE, тренажер - в C:\COURSE\DVUTAVR, то в переменную PATH в файле AUTOEXEC.BAT необходимо внести следующее дополнение:

```
PATH=.....;C:\COURSE;C:\COURSE\DVUTAVR;
```

2. Запуск

Стартовый файл- CQB_PLAY.EXE. Локальный запуск тренажера - DT.EXE.

3. Особенности работы с журналом

Следует иметь в виду:

- 1) журнальный файл COURSE.JOU образуется в той директории, из которой стартует пользователь;
- 2) есть возможность собирать журнал с разных машин и дисков.

Описание этих особенностей см. в JOU_UTIL.DOC (клавиша F3 в Norton Commander).

Примечание. При запуске программы она сообщает, что не найден файл COURSE.CFG. В обычном режиме он не нужен. Но его можно создать любым текстовым редактором и поместить в одну директорию с программой CQB_PLAY.EXE.

Например:

```
SET COURSE_HLP=C:\DOC\MELPS  
SET COURSE_JOU=D:\STUD\JOURNAL.
```

В этом случае Вы можете стартовать из любой директории, вызывая CQB_PLAY.EXE, например, с защищенного диска. Первая строка в файле

COURSE.CFG указывает, где находится файл контекстной помощи (обычно там же, где и CQB_PLAY.EXE); вторая - там, где хранится журнал.

4. Состав

4.1. Инструментальная среда

CQB_PLAY.EXE (249 Кб) - исполняющая подсистема (плеер).
COURSE.HLP (61 Кб) - файл с текстами помощи.
JOU_SAVE.EXE (24 Кб) - утилита для сбора журнала.
JOU_ANAL.EXE (24 Кб) - утилита для анализа журнала.
JOU_UTIL.DOC (4 Кб) - файл с описанием утилит сбора и анализа журнала (просмотр по клавише F3 в Norton Commander).

4.2. АУК

DVUTAVR.TRM (7 Кб), DVUTAVR.CQB (23 Кб), DVUTAVR.DIC (1 Кб), DVUTAVR.FLI (47 Кб), DT_01.SQZ ... DT_03.SQZ - 3 файла с графическими комментариями, общий объем - 32 Кб, COURSE.JOU - журнал (объем изменяется динамически).

4.3. Тренажер

DT.EXE (55 Кб), DT.PCL (41 Кб) STAT.DAT - файл статистики по учебной работе (создается автоматически и объем изменяется динамически).

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОПИСАНИЕ КОМПЛЕКСА	1
1.1. Назначение и состав.....	1
1.2. Автоматизированный учебный курс.....	2
1.3. Тренажер.....	3
2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ	4
2.1. Сферы применения.....	4
2.2. Рекомендации для учащихся.....	4
2.3. Рекомендации для преподавателей.....	5
3. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	6
3.1. Типовые модели элементов тонкостенных конструкций.....	6
3.2. Идеальный двутавр.....	6
3.3. Анализ силового взаимодействия элементов идеального двутавра.....	7
3.4. Примеры анализа силового взаимодействия.....	9
Приложения	
1. Типы сечений идеального двутавра (типы задач), рассматриваемых в тренажере.....	12
2. Рекомендации по поддержанию и эксплуатации программно-информационного обеспечения.....	13

ДВУТАВР

Комплекс по изучению закономерностей силовой работы тонкостенных конструкций

Авторы-составители :

*Соловов Александр Васильевич
Горбатенко Виктор Валерьевич*

Редактор *Л.Я.Чегодаева*
Техн. редактор *Г.А.Усачева*
Корректор *Н.С.Куприянова*

Подписано в печать *6.06.94*. Формат 60x84¹/₆.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. листов 0,93. Усл. кр.-опт. 1,05. Уч.-изд. л. 0,98.
Тираж 300 экз. Заказ *213*. Арт. С — 36МР/94.

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П.Королева. 443086 Самара, Московское
шоссе, 34.

ИПО Самарского государственного аэрокосмического университета,
443001 Самара, ул. Ульяновская, 15.