

## **ЗАКОН ВЗАИМНОГО ПЕРЕХОДА КОЛИЧЕСТВЕННЫХ И КАЧЕСТВЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ТЕОРИИ СООРУЖЕНИЙ**

Рассмотрим соотношение в характеристике сооружений философских категорий количества и качества. Эти категории являются отображением закона взаимного перехода количественных и качественных изменений. Согласно данному закону количественные изменения при переходе определенной меры вызывают качественные изменения объекта, протекающие в форме скачков [4].

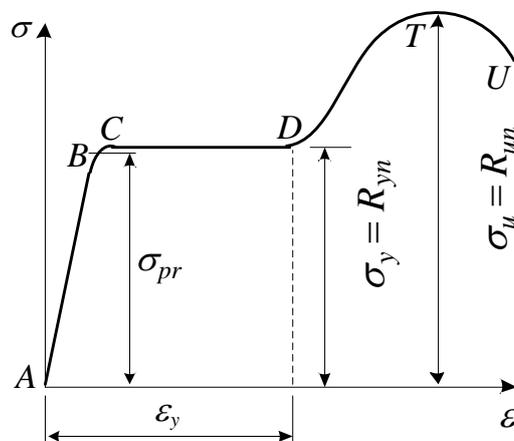
Качество – это внутренняя определенность объекта, в которой выражается его специфика, своеобразие, отличие от других предметов. Изменяя качество объекта, мы получаем другой объект, у которого уже будет иная внутренняя определенность, иное качество. Как правило, качество представляется через свойства.

Количественные изменения объекта, то есть прибавление к нему или убавление от него каких-то его свойств, непрерывны до тех пор, пока они не перейдут определенную меру объекта. Качественные изменения представляют собой коренное преобразование существенных свойств объекта. Они происходят в форме скачка. Скачок – это разрыв непрерывности количественных изменений, дающий начало новому качеству. Скачок коренным образом преобразовывает существенные свойства предмета. В процессе развития качественные изменения обусловлены количественными и наоборот.

Ярким примером этой взаимосвязи в теории сооружений является анализ структуры сооружения как системы элементов (отдельных частей). Важнейшей функцией сооружения в целом является способность нести нагрузку, не изменяясь, сохраняя свою функциональную форму. Уже говорилось об одном из вариантов анализа структуры сооружения, когда оно представляется в виде совокупности (системы) неизменяемых элементов (называемых дисками), связей между ними – стержней, шарниров (в которых выделяются простые кинематические связи, основным свойством которых является то, что каждая из них отнимает у системы одну степень свободы) и опор (важной характеристикой которых является также количество в них простых кинематических связей). В зависимости от количества дисков, связей между ними, связей в опорах сооружения и структуры его, то есть системы соединения и взаимодействия всех этих элементов в общей системе, сооружения могут вести себя по разному. Важным свойством сооружения является степень свободы системы сооружения  $W$ , в зависимости от величины которой сооружения могут и будут качественно отличаться друг от друга – могут быть, с одной стороны, изменяемыми и мгновенно изменяемыми или неизменяемыми, с другой стороны, статически определимыми и статически неопределимыми. И здесь как раз и проявляется закон перехода количественных изменений в качественные. Если степень свободы системы сооружения  $W > 0$ , то система изменяема, является механизмом, не может нести нагрузки и соответственно вообще не может быть строительным сооружением. В случае  $W = 0$ , система уже может быть неизменяемой и будет статически определимой – количественное изменение

степени свободы системы привело к новому качеству ее, она уже может выполнять свои функции, может быть строительным сооружением. При этом для расчета такого сооружения достаточно применения обычных уравнений равновесия (уравнений статики) системы в целом либо ее частей. С дальнейшим уменьшением величины степени свободы системы сооружения и переходом в область  $W < 0$  сооружение будет неизменяемым и статически неопределимым, в нем появляются так называемые «лишние» связи – система переходит в новое качество, характеризующееся более надежной работой, сооружения будут более жесткими (при одной и той же нагрузке в них в сравнении со статически определимыми системами будут меньше прогибы и перемещения), при проектировании такие сооружения будут получаться более экономичными. При этом для расчета таких сооружений уже недостаточно обычных уравнений равновесия, необходимо составление дополнительных уравнений, например уравнений совместности деформаций, или могут применяться другие подходы. Так, количественная величина степени свободы системы при ее изменении представляет три качественно отличающихся состояния строительных сооружений. При этом изменения в структуре системы в любой момент времени существования и эксплуатации сооружения могут приводить к переходу его в любое из рассмотренных состояний. Выход из строя отдельных элементов сооружения может приводить к изменению степени свободы системы и к качественному переходу ее из статически неопределимой в статически определимую, а, что еще хуже, в мгновенно изменяемую или вообще изменяемую систему, что приведет к разрушению системы (и в наше время известны случаи разрушения зданий и сооружений). Разрушение сооружения – это резкий, качественный скачок в состоянии сооружения.

Закон перехода количественных изменений в качественные наглядно иллюстрирует диаграмма растяжения углеродистой стали (см. рисунок).



В начальной стадии нагружения наблюдается линейная зависимость между напряжениями  $\sigma$  и деформациями  $\varepsilon$ , то есть действует закон Гука (участок A–B). При достижении напряжениями предела пропорциональности  $\sigma_{pr}$  (точка B) линейная зависимость нарушается, в элементе вместе с упругими деформациями начинают появляться пластические деформации (участок B–C). При достижении напряжениями определенной величины  $\sigma_y$  (в точке C) материал элемента начинает вести себя особым образом – материал течет, элемент деформируется (существенно удлиняется) при постоянном напряжении, на диаграмме деформирования  $\sigma - \varepsilon$  появляется так называемая площадка текучести (участок C–D). Соответствующее напряжение  $\sigma_y$  называется пределом текучести материала –  $R_{yn}$ . Площадка текучести переходит в кривую упрочнения (участок D–T). Максимальное напряжение  $\sigma_u$ , достигаемое в элементе, называется временным сопротивлением, или пределом прочности ( $R_{un}$ ). Далее нагрузка расти не может, происходит рост деформаций при падении напряжений (участок T–U) и разрушение элемента (раз-

рыв).

Таким образом, с ростом нагрузки происходит изменение условий работы и состояний материала элемента – от работы в пределах упругости до появления пластических деформаций, достижения напряжениями предела текучести и появления площадки текучести, затем появляется участок упрочнения материала и элемента с достижением предела прочности, после чего начинается процесс разрушения элемента.

Важным понятием и явлением в теории расчета сооружений является устойчивость сооружений. Устойчивость – это способность сооружения сохранять свою форму при действии нагрузок. И здесь возникает понятие – «потеря устойчивости», когда при достижении нагрузкой определенной величины, называемой критической, сооружение теряет свою первоначальную форму, получает существенные качественно новые деформации, которые могут привести сооружение в новое равновесное деформированное состояние (потеря устойчивости первого рода) либо существенно расти до больших величин (потеря устойчивости второго рода). При этом явлению потери устойчивости подвержены только элементы сооружений, работающие на сжатие. Качественные изменения в нагрузке приводят к резкому изменению качества – формы деформирования системы. Например, при потере устойчивости первого рода до потери устойчивости прямолинейные элементы работают только на сжатие, оставаясь прямолинейными, а при достижении критической нагрузки и потере устойчивости эти элементы становятся уже криволинейными (новая форма равновесия), и наряду со сжатием в них появляется изгиб. Впервые явление потери устойчивости обнаружил Л. Эйлер. Следует сказать, что при достижении критической нагрузки в сооружении имеет место так называемая бифуркация форм равновесия, когда в сооружении возможна как исходная (прямолинейная) форма равновесия, так и криволинейная форма потери устойчивости. И в этом плане здесь мы имеем проявление закона единства и борьбы противоположностей. Теоретически каждая система имеет бесконечное число критических нагрузок, каждой из которых соответствует своя форма потери устойчивости. И если при переходе через точку бифуркации с ростом нагрузки система осталась прямолинейной, то далее с увеличением нагрузки может реализоваться новая форма потери устойчивости, отвечающая очередной более высокой критической нагрузке. На практике такое происходит при быстро возрастающих (динамических) и ударных нагрузках. Наглядно это можно увидеть на простом примере забивания гвоздя: гвоздь может быть забит в доску без его изгиба (не потеряв устойчивости); при слабом ударе может просто согнуться (первая форма потери устойчивости); при сильном ударе может искривиться более сложно, несколько раз, что будет соответствовать более высоким критическим нагрузкам и формам потери устойчивости. Здесь мы видим переход количественных изменений в качественные на все более высоком уровне нагрузки (с увеличением нагрузки).

Проиллюстрируем закон взаимного перехода количественных и качественных изменений на другом примере.

Важной характеристикой любого сооружения является частота собственных колебаний, и этих частот для одного сооружения может быть очень много, каждая из которых характеризуется своей формой колебаний (формой деформирования в процессе колебаний). С другой стороны, на сооружение может действовать внешняя нагрузка, также изменяющаяся с определенной частотой (вынуждающая нагрузка). В качестве такой нагрузки могут выступать и

ветер, и работающее оборудование (станки), и транспорт. И здесь возникает вопрос взаимоотношения частот собственных колебаний сооружения и вынуждающей нагрузки. Чем ближе частота вынуждающей нагрузки к частоте собственных колебаний сооружения, тем большие внутренние силы возникают в элементах сооружения (динамический эффект), а при приближении и равенстве частоты вынуждающей нагрузки частоте собственных колебаний происходит резкий качественный скачок в состоянии сооружения, возникает так называемый резонанс, при котором усилия в сечениях элементов сооружения могут быть очень большими (теоретически стремятся к бесконечности), что недопустимо для сооружений. Для недопущения резонанса должны быть приняты соответствующие проектные (подбор соответствующего оборудования) и конструктивные (приводящие к изменению спектра частот собственных колебаний) меры. Таким образом, количественное изменение частоты вынуждающей нагрузки может привести к резонансу (к качественному изменению в сооружении), а для недопущения этого следует количественно менять характеристики используемого оборудования либо геометрические и жесткостные параметры самого сооружения (для перемещения (сдвига) соответствующей частоты собственных колебаний в другую зону.)

Задачи расчета сооружений часто решаются на основе энергетических подходов, на основе анализа полной потенциальной энергии (энергии деформирования) системы. Сооружения могут деформироваться по-разному, и каждой форме деформирования (качеству сооружения) будут соответствовать свои количественные затраты энергии. При этом для определения качественного состояния, которое будет реализовываться в системе, часто используется *принцип возможных перемещений* (принцип Лагранжа) по отношению к энергии системы [1, 2], который определяет экстремальные свойства полной потенциальной энергии системы и гласит:

для системы, находящейся в равновесии, из всех возможных перемещений, удовлетворяющих заданным граничным условиям, в действительности имеют место те, при которых полная потенциальная энергия принимает минимальное значение.

Принцип возможных перемещений, таким образом, характеризует зависимость между количественными (энергетическими) параметрами системы и качественными ее состояниями (формами деформирования), определяя то качественное состояние (форму деформирования), которое в действительности система должна принять.

Рассмотрим расчет статически неопределимых (имеющих «лишние» связи – *Л*) изгибаемых сооружений по предельным состояниям статическим методом [3]. На первом этапе система рассчитывается любым из методов расчета статически неопределимых систем (методом сил, методом перемещений и т. д.), определяются усилия и напряжения в системе. Находится наиболее напряженное сечение (в котором напряжение наибольшее), в котором с ростом нагрузки в первую очередь появится пластический шарнир (сечение, в котором все напряжения равны пределу текучести, которое воспринимает предельный для себя изгибающий момент и которое ведет себя как односторонний шарнир). С появлением этого пластического шарнира число «лишних» связей в системе уменьшается на единицу, при этом в зависимости от количества «лишних» связей система может оставаться статически неопределимой. Соответственно система опять рассчитывается любым из методов расчета статически неопределимых систем (методом сил, методом перемещений

и т. д.), определяются усилия и напряжения в системе. Находится наиболее напряженное сечение, в котором с дальнейшим ростом нагрузки во вторую очередь появится пластический шарнир. И так до тех пор, пока система не станет статически определимой, после чего выполняется еще один (последний) расчет системы, уже как статически определимой. Находится наиболее напряженное сечение, в котором с ростом нагрузки появится последний пластический шарнир, который превратит систему в механизм (в изменяемую систему), который и будет являться предельным состоянием системы. Для этого состояния составляется уравнение, описывающее его, из которого и находится предельная нагрузка для сооружения, то есть максимально возможная нагрузка, которую может выдержать сооружение. Здесь на каждом этапе расчета количественные изменения нагрузки (ее рост) приводили к новому качеству сооружения (в статически неопределимой системе уменьшалось количество «лишних» связей, затем система превращалась в статически определимую, а в конце – вообще в механизм). Закон взаимного перехода количественных изменений в качественные здесь проник в метод расчета и позволил выполнить расчет сооружения.

Из анализа приведенных примеров работы сооружений видно, что переход количества в принципиально новое качество может происходить как резко, одномоментно, так и незаметно, эволюционно.

Исходя из содержания закона перехода количественных и качественных изменений, можно назвать несколько методологических умений, которые должны быть сформированы у субъекта управления сооружением (проектировщика, конструктора):

умение оценивать качественное состояние рассчитываемой системы;  
умение запроектировать систему в необходимом качественном состоянии;  
умение преобразовывать сооружение, переводя его в новое качество, то есть создавать новое сооружение.

#### **Список цитированных источников**

1. Игнатюк, В.И. Строительная механика: пособие / В.И. Игнатюк, И.С. Сыроквашко. – Брест: БрГТУ, 2015. – 152 с.
2. Перельмутер, А.В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А.В. Перельмутер, В.И. Сливкер. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 600 с.
3. Снитко, Н.К. Строительная механика. – М.: Высшая школа, 1980. – 431 с.
4. Философия и методология науки: учебное пособие / Ч.С. Кирвель [и др.]. – Минск: Вышэйшая школа, 2012. – 639 с.

УДК 712.4(476.7)

**Бондарчук О.А.**

**Научный руководитель: Мартысюк Н.А.**

## **ВОДНО-ЗЕЛЁНЫЙ ДИАМЕТР ГОРОДА БРЕСТА**

Исторически ландшафтные и климатические условия имели исключительное значение для выбора местоположения городов, направлений их территориального развития. Во многих случаях люди устраивали свои поселения вблизи водных объектов – рек, озер, морей. При таком выгодном расположении селение обеспечивалось водой, рыбой и возможностью вести торговые отношения. Так начиналось непрерывное взаимодействие города и реки. Сна-